

SDRUŽENÍ ENERGETICKÝCH A ELEKTROTECHNICKÝCH UČILIŠŤ A ŠKOL

DÍLENSKÁ PŘÍRUČKA

ELEKTRONIKA I

První díl

Druhé přepracované vydání

Sestavil Ondřej Weisz

Kolektiv autorů:

Václav Besta

František Paskuda

Petr Kaleta

Jan Kašpar

Petr Matyáš

Jaromír Nový

Jan Pošvář

Libor Salajka

Václav Slabihoudek

Ondřej Weisz

Toto vydání neprošlo jazykovou ani redakční úpravou.

© Sdružení energetických a elektrotechnických škol a učilišť, 2009

- SOUE Plzeň
- SOŠ a SOU Dubno
- SPŠ Sokolnice
- SŠE Ostrava
- SOŠE–COP Hluboká nad Vltavou
- SPŠ Třebíč
- SOŠ a SOU Hradec Králové

Dílenská příručka Elektronika I vznikla ve spolupráci se Sdružením energetických a elektrotechnických učilišť a škol a je určena širokému okruhu čtenářů z řad žáků středních škol a poslouží též pokročilým amatérům. V publikaci jsou uvedena typická zapojení různých obvodů s příslušnými komentáři a vysvětlením.

Dílenskou příručku Elektronika I lze využít při výuce odborného výcviku v odborných elektrotechnických dílnách slaboproudého zaměření a při instruktážích mistrů odborného výcviku.

Druhé přepracované vydání přináší inovovaný odborný obsah příručky Elektronika I. Při revizi proběhlo sjednocení témat s cílem přiblížit se jednotnějšímu způsobu výuky odborného výcviku v části obecné elektroniky. Příručka slouží i jako teoretické minimum potřebné pro úspěšné absolvování praktické části jednotného zadání závěrečné zkoušky tříletých učebních oborů se zaměřením na elektroniku.

Obsah

1 Úvod	13
I Základy	15
2 Technologické podklady	17
2.1 Katalogy	17
2.1.1 Katalogy obchodní	17
2.1.2 Katalogy přehledové	17
2.1.3 Katalogy konstrukční a katalogové listy	18
2.1.4 Katalogy „online“	19
2.2 Hledání součástek na Internetu	21
2.2.1 Příklad hledání součástky	21
2.3 Tok materiálu výrobní jednotkou	22
2.4 Podklady pro výrobu	23
2.5 Podklady pro výrobu osazené DPS	23
2.5.1 Výkresová dokumentace desky	24
2.5.2 Dokumentace pro osazení desky	25
2.5.3 Dokumentace pro kontrolu desky	27
2.6 Doporučený postup při výrobě	28
3 Elektrická měření	29
3.1 Základní měření proudu a napětí	29
3.1.1 Základy měření	29
3.1.2 Přístroje	29
3.1.3 Zapojení přístrojů	30
3.1.4 Bezpečnost práce	31
3.2 Měření osciloskopem	32
3.2.1 Princip osciloskopu	32
3.2.2 Běžné ovládací prvky a nastavení	33
3.2.3 Parametry osciloskopu	36
3.2.4 Osciloskopické měřicí sondy 1:10 (1:100)	36
3.2.5 Měření osciloskopem	38
3.2.6 Bezpečnost práce	43
3.3 Přejímové děje	43
3.3.1 Popis signálů	44

4 Plošné spoje	47
4.1 Materiály na plošné spoje	47
4.2 Práce s deskami spojů	48
4.2.1 Dělení desek	48
4.2.2 Výroba obrazce spojů	48
4.2.3 Vrtání otvorů	48
4.2.4 Prokovení otvorů	48
4.2.5 Povrchová úprava desky	49
4.3 Předloha	49
4.3.1 Metoda spojovacích čar	50
4.3.2 Metoda dělicích čar	51
4.3.3 Kombinovaný návrh	51
4.3.4 Funkční vzorek	51
4.4 Přenos předlohy na desku	52
4.4.1 Amatérsky	52
4.4.2 Profesionálně	52
4.5 Leptání	53
4.5.1 Amatérsky	53
4.5.2 Profesionálně	53
4.6 Konstrukční doporučení při návrhu spojů	53
4.6.1 Třídy spoje	54
4.6.2 Rozměry desek	55
4.6.3 Největší rozměr desky	55
4.6.4 Otvory	55
4.6.5 Šířka cest	55
4.6.6 Mezera mezi cestami	56
4.6.7 Pájecí plošky	56
4.6.8 Popis	56
4.6.9 Předloha	56
4.6.10 Kontrolní rozměrová kóta	56
4.7 Součásti výkresu DPS	56
4.8 Shrnutí	57
4.8.1 Hromadná výroba	57
4.8.2 Amatérská výroba	57
4.9 Zásady zacházení s deskami plošných spojů	58
4.10 Pájení	59
4.10.1 Pájení v elektrotechnice	59
4.10.2 Pájení v elektronice	60
4.10.3 Pájedla	61
4.10.4 Pájky	62
4.10.5 Tavidla	62
4.10.6 Vlastní pájení	62
4.11 Opravy elektrických vad DPS	64
4.11.1 Oprava spoje	65
4.11.2 Opravy odtržených pájecích plošek a prokovení	68
4.12 Výměna součástek na deskách plošných spojů	69
4.12.1 Uvolnění vývodu v jednovrstvé desce	70

4.12.2	Uvolnění vývodu ve vícevrstvé desce	71
4.12.3	Uvolnění ohnutého vývodu	71
4.12.4	Výměna RLC	71
4.12.5	Výměna součástky s použitím původních vývodů	72
4.12.6	Výměna pouzder s malým počtem vývodů	72
4.12.7	Výměna obvodů v pouzdrech DIL a podobných	72
4.12.8	Výměna součástek s pevnými vývody (pouzdro TO-3 apod.)	73
4.13	SMT technologie povrchové montáže	73
4.13.1	Přednosti SMT technologie	73
4.13.2	Zápory a omezení SMT technologie	73
4.13.3	Používané zkratky	74
4.13.4	Zkratky pro nejběžnější typy pouzder	74
4.13.5	Práce se SMD součástkami	75
4.13.6	Manipulace se SMD součástkami	75
4.13.7	Pájení SMD součástek	76
5	Základní součástky	79
5.1	Rezistory	79
5.1.1	Rozdělení podle konstrukčního provedení	79
5.1.2	Schématické značky	79
5.1.3	Charakteristické vlastnosti	79
5.1.4	Rozdělení podle technologického provedení	80
5.1.5	Měření rezistorů	83
5.2	Kondenzátory	83
5.2.1	Rozdělení podle konstrukčního provedení	83
5.2.2	Schématické značky	83
5.2.3	Charakteristické vlastnosti	83
5.2.4	Rozdělení podle typu dielektrika	84
5.2.5	Svitkové kondenzátory	84
5.2.6	Keramické kondenzátory	84
5.2.7	Elektrolytické kondenzátory	84
5.2.8	Dolaďovací kondenzátorové trimry	84
5.2.9	Měření kondenzátorů	84
5.3	Cívky a tlumivky	85
5.3.1	Rozdělení podle konstrukčního provedení	85
5.3.2	Schématické značky	85
5.3.3	Charakteristické vlastnosti	85
5.3.4	Tlumivky	86
5.3.5	Se vzduchovou mezerou s přemagnetovaným stejnosměrným proudem	87
5.4	Transformátory	87
5.4.1	Princip transformátoru	88
5.4.2	Hlavní části transformátoru	89
5.4.3	Výpočet síťového transformátoru	89
5.4.4	Měření na transformátorech	93
5.4.5	Toroidní transformátory	94
5.5	Akumulátory a baterie	100
5.5.1	Elektromotorické napětí galvanického článku	101

5.5.2	Olověný akumulátor	102
5.5.3	Ni-Cd Niklo-kadmiová baterie	103
5.5.4	Ni-MH Niklo-metal-hydridová baterie	104
5.5.5	Li-Ion Lithium-iontová baterie	104
5.5.6	Li-Pol Lithium-polymerová baterie	104
5.5.7	Olověný akumulátor	105
5.6	Spínače a relé	106
5.6.1	Mechanický spínač	106
5.6.2	Elektromagnetické relé	108
5.6.3	Jazyčkové kontakty	109
5.6.4	Polovodičové spínače – FET	110
5.6.5	Polovodičové spínače – různé	112
5.7	Diody, LED	113
5.7.1	Charakteristické vlastnosti	114
5.7.2	Druhy polovodičových diod	114
5.7.3	Označování diod	123
5.8	Transily a bleskojistky	123
5.8.1	Prvky pro hrubou přepětovou ochranu	124
5.8.2	Prvky pro jemnou přepětovou ochranu	125
5.8.3	Obvodové zapojení přepětových ochran	128
5.9	Vícevrstvé spínací obvody	129
5.9.1	Tyristor	129
5.9.2	Triak	133
5.9.3	Diak	134
5.10	Optoelektronické vazební součástky	136
5.10.1	Optokopler	136
5.11	Solid State Relay (SSR – relé v pevné fázi)	138
5.12	Zobrazovače	139
5.13	Tranzistory	140
5.14	Bipolární tranzistory	140
5.14.1	Princip činnosti tranzistoru	141
5.14.2	Mezní hodnoty tranzistoru	143
5.14.3	Způsoby zapojení tranzistoru	144
5.14.4	Použití tranzistoru	144
5.14.5	Zapouzdření tranzistorů	144
5.14.6	Označování polovodičů	145
5.14.7	Kódové značení tranzistorů	145
5.14.8	Měření tranzistorů	146
5.15	Unipolární tranzistory	146
5.15.1	Tranzistor JFET (junction FET)	147
5.15.2	Tranzistor MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor FET)	148
5.15.3	Porovnání JFET a MOSFET	150
5.15.4	Tranzistory IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	151
5.16	Integrované obvody	151
5.16.1	Zapouzdření integrovaných obvodů	153

II	Zapojování dle schémat, vlastnosti a kontrola obvodů	9
6	Základní lineární obvody	11
6.1	R–C–L aneb pasivní součástky	11
6.1.1	Rezistory	11
6.1.2	Kondenzátory	13
6.1.3	Indukčnosti	15
6.1.4	R–C články	15
6.1.5	Řazení L–C	16
6.1.6	L–C	17
6.1.7	Řazení R–C–L	17
6.2	Diodové usměrňovače a filtry	17
6.2.1	Usměrňovače	18
6.2.2	Jednopulsní jednocestný usměrňovač	18
6.2.3	Jednopulsní jednocestný usměrňovač s operačním zesilovačem	18
6.2.4	Dvoupulsní dvoucestný usměrňovač	19
6.2.5	Můstkové zapojení usměrňovače – Graetzův můstek	19
6.2.6	Dvoupulsní dvoucestný usměrňovač s operačním zesilovačem	20
6.2.7	Filtrační obvody	20
6.2.8	Informativní tabulka filtračních kondenzátorů	21
6.2.9	Měření na usměrňovačích a filtrech	22
6.3	Regulátory s tyristory a triaky	23
6.3.1	Tyristor	23
6.3.2	Triak	24
6.3.3	Diak	25
6.3.4	Řízené usměrňovače	26
6.3.5	Fázové řízení	26
6.3.6	Nabíječ akumulátorů	27
6.3.7	Řízení otáček motoru regulátorem s triakem	28
6.3.8	Regulátor s triakem	28
6.4	Stabilizátory napětí	28
6.4.1	Postup při návrhu	29
6.4.2	Měření	31
6.4.3	Cvičení	31
6.4.4	Stabilizátory napětí s diskrétními součástkami	32
6.4.5	Stabilizátory pevného napětí s integrovanými obvody	32
6.4.6	Stabilizátory nastavitelného napětí s integrovanými obvody	34
6.4.7	Nastavitelný zdroj souměrného napětí	35
6.4.8	Cvičení	35
6.5	Stejnoseměrné zesilovače	36
6.6	Operační zesilovače	37
6.6.1	Základní informace	37
6.6.2	Vlastnosti	37
6.6.3	Katalogové údaje	38
6.6.4	Konstrukční požadavky	39
6.6.5	Neinvertující zesilovač	40
6.6.6	Invertující zesilovač	40

6.6.7	Sumační (součtový) zesilovač	41
6.6.8	Diferenční (rozdílový) zesilovač	41
6.6.9	Operační zesilovač bez zpětné vazby (komparátor)	42
6.6.10	Schmittův klopný obvod s OZ	42
6.6.11	Integrátor	42
6.6.12	Generátor funkcí	43
6.6.13	Cvičení	44
6.6.14	Souhrn základních poznatků	44
6.7	Přístrojové zesilovače	44
6.7.1	Použití	45
6.7.2	Hlavní vlastnosti přístrojových zesilovačů	46
6.7.3	Poznámky k aplikacím přístrojových zesilovačů	46
6.7.4	Připojení zdroje referenčního napětí	47
6.8	Nízkofrekvenční zesilovače	47
6.8.1	Vlastnosti a parametry zesilovačů	49
6.8.2	Nízkofrekvenční zesilovače v přenosovém řetězci	51
6.8.3	Základní rozdělení zesilovačů	52
6.8.4	Nastavení a stabilizace pracovního bodu tranzistoru	52
6.8.5	Zpětná vazba v zesilovačích	54
6.8.6	Příklady jednoduchých tranzistorových zesilovačů	56
6.8.7	Operační zesilovače	61
6.8.8	Nízkofrekvenční zesilovače s OZ	63
6.8.9	Korekční předzesilovače	66
6.8.10	Výkonové zesilovače – tranzistorové, integrované	70
6.8.11	Integrované obvody pro koncové zesilovače	73
6.8.12	Použití unipolárních tranzistorů v zesilovačích	78
6.8.13	Aktivní filtry s operačními zesilovači (OZ)	79
6.8.14	Pásmové propusti	81
6.8.15	Pásmové zádrže	82
6.8.16	Dolní propust 2 a 3 řádu	83
6.9	Vysokofrekvenční oscilátory	86
6.9.1	Základní parametry vysokofrekvenčních oscilátorů	86
6.9.2	Zpětnovazební vysokofrekvenční oscilátory LC	89
6.9.3	Základní zapojení vysokofrekvenčních oscilátorů LC	90
6.9.4	Kontrolní otázky k vysokofrekvenčním oscilátorům LC	92
6.10	Krystalem řízené oscilátory	92
6.10.1	Princip krystalu	92
6.10.2	Základní zapojení oscilátoru s krystalem	93
6.10.3	Kontrolní otázky k oscilátorům s krystalem	95
6.11	Nízkofrekvenční oscilátory RC	95
6.11.1	Základní zapojení nízkofrekvenčních oscilátorů RC	95
6.11.2	Kontrolní otázky k nízkofrekvenčním oscilátorům RC	98
6.12	Praktické cvičení	98
6.12.1	Kontrolní otázky k praktickému cvičení	99

7	Spínací obvody	101
7.1	Spínací diody	101
7.2	Spínací tranzistor	102
7.2.1	Zapojení bipolárního tranzistoru ve funkci spínače	103
7.2.2	Sonda pro hlídání hladiny vody v nádrži	104
7.2.3	Hlídání hladiny vody	104
7.3	Použití unipolárních tranzistorů	105
7.4	Tyristor, triak, diak	106
7.4.1	Tyristor	106
7.4.2	Triak	106
7.4.3	Nabíječka automobilových akumulátorů	107
7.5	Klopné obvody	107
7.5.1	Bistabilní klopné obvody	107
7.5.2	Monostabilní klopné obvody	108
7.5.3	Astabilní klopné obvody	109
7.5.4	Schmittův klopný obvod	110
7.6	Spínání indukční zátěže	110
7.7	Spínané stabilizátory napětí	111
7.7.1	Srovnání sériového a spínaného stabilizátoru napětí	112
7.7.2	Princip spínaného stabilizátoru napětí	112
8	Číslicové obvody	115
8.1	Základní číslicové obvody	115
8.1.1	Porovnání číslicových IO	116
8.1.2	Pravdivostní tabulky funkcí	117
8.1.3	Zapojení některých obvodů CMOS	118
8.2	Mikrokontroléry	119
8.2.1	Úvod	119
8.2.2	MCU firmy Microchip	121
8.2.3	Instrukční soubor PIC16F628A	122
8.2.4	Běžící světlo s PIC16F628A	122
8.2.5	Programátor	123
III	Rozšíření a doplňky	125
9	Zapojení konektorů vybraných zařízení	127
9.1	PC	127
9.1.1	LPT – Tiskový kabel (centronic)	127
9.1.2	COM – Modem 9pin – 25pin	128
9.1.3	COM – Modem 25pin – 25pin	128
9.1.4	COM – Nullmodem 9pin – 9pin	128
9.1.5	COM – Nullmodem 25pin – 25pin	129
9.1.6	COM – Modem 9pin – 25pin	129
9.1.7	COM – redukce – 9pin – 25pin	130
9.1.8	COM – PS/2 redukce	130
9.1.9	Klávesnice – redukce – DIN – MiniDIN	130

9.1.10	Klávesnice – redukce – MiniDIN – DIN	130
9.1.11	Joystick – redukce – Pc – Joy1 a Joy2	131
9.1.12	Grafická karta – DVI	131
9.1.13	Grafika – Redukce 9pin – 15pin VGA	131
9.1.14	Datová síť – Ethernet 10/100Base	132
9.2	Audio – Video	133
9.2.1	HDMI	133
9.2.2	SCART TV – Video	134
9.3	Telefonní konektor	134
10	Přepěťová ochrana	137
10.1	Druhy přepěťových ochran	137
10.1.1	Polovodičové ochrany	137
10.1.2	Ochranné jiskřiště	137
10.1.3	Růžková bleskojistka	137
10.1.4	Vyfukovací trubice	137
10.1.5	Ventilová bleskojistka	138
10.1.6	Průrazka	138
10.2	Obvodové zapojení přepěťových ochran	138
11	Česká republika a elektroodpad	143
11.1	Definice elektroodpadu	143
11.1.1	Příloha č. 7 zákona	143
11.2	Financování nakládání s OEEZ z domácností	145
11.3	Financování nakládání s OEEZ jiným než elektroodpadem z domácností	145
11.4	Prováděcí vyhláška k problematice elektroodpadu	145
12	Odborné slovníčky	147
12.1	Česko–anglicko–německý odborný slovníček	147
12.2	Anglicko–česko–německý odborný slovníček	152
12.3	Německo–česko–anglický odborný slovníček	156

Kapitola 1

Úvod

Počátky elektroniky lze vysledovat do začátku 20. století, kdy byla objevena vakuová dioda. Od té doby se elektronika neobyčejně rozšířila a v současnosti budeme těžko hledat oblast lidského snažení, která by nebyla dotčena nějakým elektronickým zařízením.

Okénko do historie

Od roku 1799, kdy Alessandro Volta [49] sestrojil první zdroj elektrického proudu (galvanický článek), začala cesta využití elektrické energie. Objev Hanse Christiana Ørstedta [55] v roce 1819 (elektrický proud vytváří magnetické pole) umožnil vyrábět nejrůznější elektromechanická zařízení. Rozvoj elektrických zařízení vyžadoval matematické vyjádření nejrůznějších vztahů v obvodech, z nich nejobligátnější Ohmův zákon formuloval Georg Simon Ohm [57] v roce 1826. Významným mezníkem ve vývoji elektroniky byl objev tepelné emise elektronů Thomasem Alvou Edisonem v roce 1883. Na základě tohoto objevu zkonstruoval J. A. Fleming [53] první vakuovou diodu¹. Sériová výroba diod se rozběhla v roce 1905 ve společnosti Edison-Swan Electric Company [39]. Po objevu triody Lee De Forestem [56] v roce 1907 a jejím zdokonalení se naplno začala rozvíjet elektronika: elektronkový oscilátor (1912, F. Lowenstein [19]), zesilovač (1912, H. Arnold [39]), vysokofrekvenční přijímač (1913, E. H. Armstrong [51]). Současně s příchodem prvního rozhlasového vysílání (1907, Lee De Forest [32]) se začínají prosazovat krystalové detektory – první polovodičové hrotové diody – podle patentu Greenleafa Whittiera Pickarda z roku 1906 [6][58] a vynálezu Gen. Henryho Harrisona Chase Dunwoodyho [32]. Při zkoumání polovodičů dochází k objevu palem řízeného tranzistoru (1926, J. E. Lilienfeld²) [54] a konečně při výzkumu hrotové diody objevují v Bellových laboratořích v roce 1947 výzkumníci John Bardeen, William Bradford Shockley a Walter Houser Brattain první bipolární tranzistor [50]. Sériová výroba tranzistorů začala vzápětí a během padesátých let minulého století měla většina světových výrobců elektronických součástek tranzistory ve své nabídce. Pak stačil už jen malý krůček, kdy v roce 1958 Jack St. Clair Kilby [52] vyvíjí první integrovaný obvod, a současná elektronika je tu.

Poslání elektronika

V dnešní době nás obklopuje nespočet elektronických zařízení, která slouží nejenom k práci a zábavě, ale i k řízení a kontrole nejrůznějších funkcí potřebných pro správné fungování

¹Britský patent 24850, 16. 11. 1904

²US patent 1745175 z r. 1930

světa kolem nás. S rozvojem nových postupů, aplikací poznatků o spolehlivosti a masivní automatizací výroby jsou zařízení velmi spolehlivá a při tom dostatečně levná pro hromadná použití. Využití elektroniky rozšiřuje možnosti velké většiny zařízení a zvyšuje jejich účinnost a spolehlivost.

Práce s dnešní elektronikou vyžaduje velmi často hluboké odborné znalosti, bez kterých není možné zařízení používat. Při práci s elektronickými obvody ubývá klasických oprav – výměn jednotlivých součástek – naopak vzrostl význam měření a diagnostiky. Složitější funkce a obvody vyžadují vysoce kvalifikované a specializované pracovníky. Vzhledem k velmi rychlé inovaci výrobků je kladen důraz na ochotu pracovníků k soustavnému vzdělávání.

Členění knihy

Tato příručka obsahuje průřez učivem v rozsahu druhého ročníku odborných učilišť. Je rozdělena do několika částí. V části „Základy“ se seznámíte s vyhledáváním údajů o součástkách v katalozích, s výrobní dokumentací, se základy elektrických měření a s pájením včetně zacházení s deskami plošných spojů. Část „Základní součástky“ vás seznámí se základními součástkami, připomene vám teoretické znalosti, vysvětlí katalogové údaje o součástce, ukáže vám, jak součástku kontrolovat a vysvětlí základní pracovní postupy. Část „Zapojování obvodů“ vysvětluje základní jednoduché obvody, seznámí vás s měřením, kontrolou a vyhledáváním chyb. V části „Rozšíření a doplňky“ jsou soustředěny některé často hledané informace.

Technické informace

Při zpracování podkladů pro knihu byly použity programy Open-Office 2.4, Eagle 5.0, Proficad 3.3 a Vim 7.0. K úpravě obrázků pak programy Gimp 2.4 a Inkscape 0.45. Sazba byla provedena programem \LaTeX , fonty czech computer modern.

Část I
Základy

Kapitola 2

Technologické podklady

2.1 Katalogy

Katalogy nám slouží k základní informaci o provedení, funkcích a použití elektronických součástek. Podle použití dělíme katalogy do několika skupin. V zásadě rozlišujeme tři skupiny – katalogy obchodní, katalogy přehledové a katalogy konstrukční (občas se setkáme i s katalogovými listy). V současnosti se místo formy tištěné spíše setkáme s elektronickým provedením katalogu, které nalezneme na internetových stránkách výrobců a obchodníků.

2.1.1 Katalogy obchodní

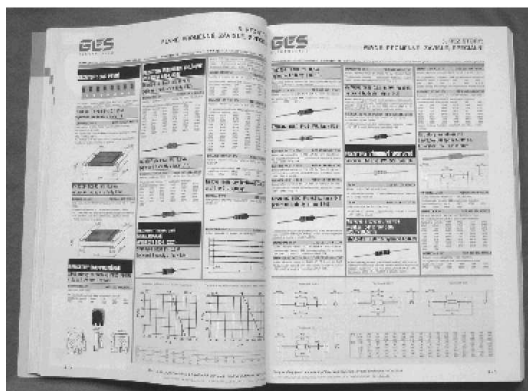
Obchodní katalogy (obrázek 2.1) vydávají obchodní organizace. Většinou obsahují pouze nejzákladnější údaje o jednotlivých součástkách a komponentech (obrázek 2.2). Můžeme je použít k rychlé základní orientaci, případně k zjištění výrobce dané součástky.



Obrázek 2.1: Příklady obchodních katalogů

2.1.2 Katalogy přehledové

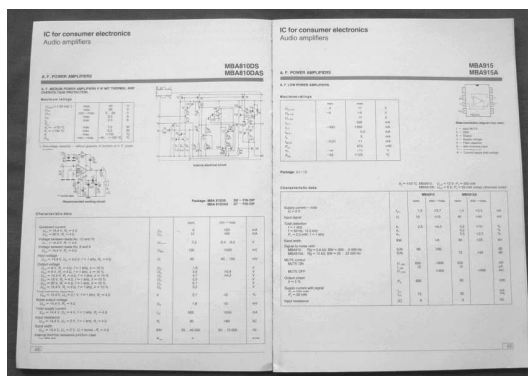
Přehledové katalogy (obrázek 2.3) vydávají výrobci součástek, obsahují základní údaje o vyráběném sortimentu a základní elektrické parametry součástek (obrázek 2.4). Tyto katalogy lze použít k běžné práci při návrhu a konstrukci zapojení, při opravách a náhradách součástek. V přehledovém katalogu nalezneme základní zapojení součástky, rozložení vývodů a základní parametry (mezní a pracovní).



Obrázek 2.2: List obchodního katalogu GES



Obrázek 2.3: Příklady přehledových katalogů



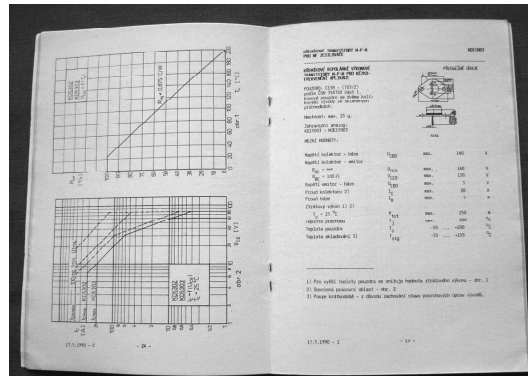
Obrázek 2.4: List z přehledového katalogu

2.1.3 Katalogy konstrukční a katalogové listy

Konstrukční katalogy (obrázek 2.5) vydávají výrobci součástek a obsahují podrobné specifikace ke každé jednotlivé součástce. Údaje o součástkách jsou velmi rozsáhlé, údaje často bývají doplněny doporučeným zapojením a příklady použití (obrázek 2.6). U složitých součástek nalezneme v katalogu popis funkce a případně vnitřní zapojení. Pro účely kontroly jsou v katalogu popsány postupy měření všech parametrů součástek uvedených v katalogu. V konstrukčním katalogu rovněž nalezneme postupy montáže, pájení a pokyny pro manipulaci a skladování součástek. Tyto katalogy se používají při návrhu a konstrukci zařízení a při přejímce součástek.



Obrázek 2.5: Příklady konstrukčních katalogů



Obrázek 2.6: List z konstrukčního katalogu

2.1.4 Katalogy „online“

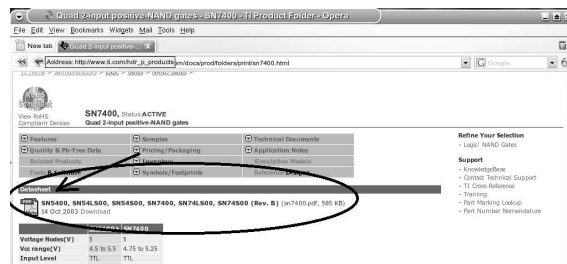
Katalogové listy většina současných výrobců zpřístupnila na svých www stránkách zdarma. Většinou se jedná o konstrukční katalogové listy ve formátu pdf – přístupné pomocí programu Adobe Reader. Tak jako většina technických informací, jsou i tyto uvedeny v angličtině, proto je znalost cizích jazyků nezbytná. Na obrázku 2.7 je uveden příklad vstupní stránky jednoho z největších světových výrobců, firmy Texas Instruments. Pole pro hledání součástek jsou obvykle součástí vstupní stránky. Pole jsou nejčastěji pojmenovány názvy „part-search“ a „key-search“ (*part* – součást, *key* – klíč). Po vyplnění vyhledávacích polí a stisku tlačítka *search* se dostaneme na stránku s detailnějším popisem součástky (obrázek 2.8). Zde už většinou máme k dispozici odkaz na katalogový list – *datasheet* (obrázek 2.9).



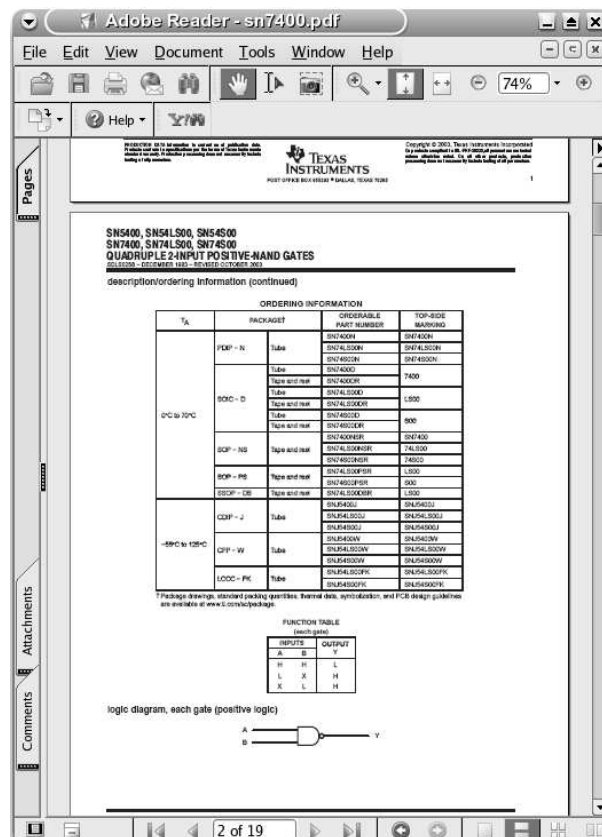
Obrázek 2.7: Vstupní stránka Texas Instruments

Stránky některých výrobců

- Texas Instruments – <http://www.ti.com>
- National Semiconductors – <http://www.national.com>
- Freescape (Motorola) – <http://www.freescale.com>
- AMD – <http://www.amd.com>



Obrázek 2.8: Výsledky hledání katalogového listu součástky



Obrázek 2.9: Náhled na stránku katalogového listu

2.2 Hledání součástek na Internetu

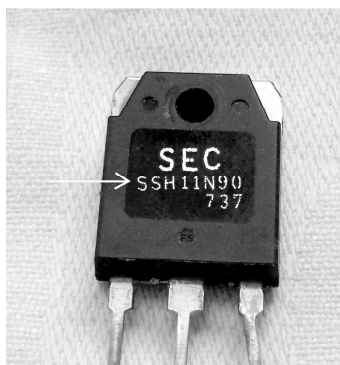
Pokud nevíme výrobce součástky, můžeme se pokusit součástku vyhledat na Internetu pomocí obecné vyhledávací služby např. <http://www.seznam.cz>, <http://www.goole.cz>, nebo můžeme použít specializovanou službu, zaměřenou přímo na hledání součástek. Použití těchto služeb je většinou vázáno na registraci uživatele, v některých případech se může jednat o služby placené. Při tomto hledání je důležitá znalost jazyků, musíme si uvědomit, že česky psané stránky jsou ve světovém Internetu zastoupeny pouze mizivým procentem (Tabulka 2.1 – výsledek hledání slova tranzistor).

Tabulka 2.1: Hledání slova

Slovo	Vyhledávač	Počet výsledků
Tranzistor (česky)	www.seznam.cz	17 276 (česky) 17 400 (svět)
Transistor (anglicky)	www.seznam.cz	3 973 (česky) 1 190 000 (svět)
Tranzistor (česky)	www.google.cz	248 000 (svět)
Transistor (anglicky)	www.google.cz	17 100 000 (svět)
Транзистор (tranzistor) (rusky)	www.google.cz	667 000 (svět)
トランジスター (toranzisutá) (japonsky)	www.google.cz	1 870 000 (svět)

2.2.1 Příklad hledání součástky

Při hledání neznámé součástky o ní musíme zjistit co nejvíce. Máme-li štěstí, nalezneme na součástce typové číslo. Příklad neznámé součástky nalezneme na obrázku 2.10.



Obrázek 2.10: Hledaná součástka

Šipkou je označeno typové číslo součástky SSH11N90. Toto číslo pak použijeme jako základ pro hledání pomocí www.google.cz. Máme štěstí, hned první odkaz vypadá slibně (obrázek 2.11). Po přechodu na nalezenou stránku zjistíme základní údaje o součástce (obrázek 2.12). Jedná se o spínací tranzistor N-FET (900 V, 11 A), s ochrannou diodou. Výrobce je firma Farchild. Druhé číslo na pouzdře je číslo šarže (udává zakódovaně datum a výrobní linku), nápis SEC označuje výrobce.



Obrázek 2.11: Výsledky hledání typového čísla

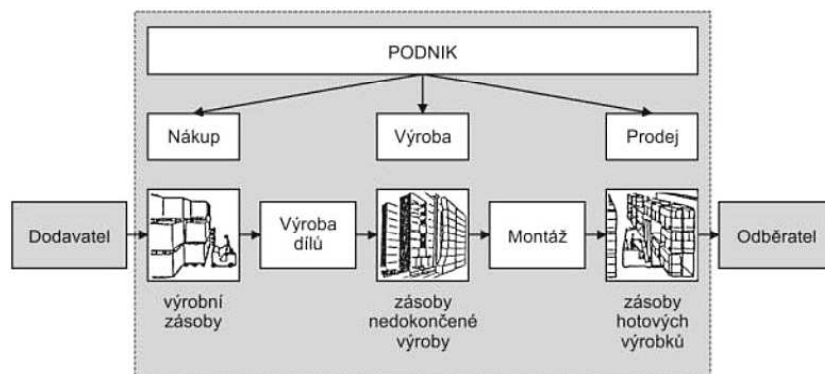


Obrázek 2.12: Základní údaje o součástce

2.3 Tok materiálu výrobní jednotkou

Na obrázku 2.13 vidíme tok materiálu a informací běžnou výrobní jednotkou s fázovou výrobou. Veškerý materiál potřebný pro výrobu zařízení prochází vstupní kontrolou a předává do skladu výrobních zásob. Při příjmu materiálu do skladu se vystavuje *příjemka*. Z tohoto skladu jsou odebírány jednotlivé položky nutné pro výrobu. Pracovníci skladu materiál roz-

třídí a připraví k výdeji pro výrobu. K napočítanému a vytříděnému materiálu jsou přiloženy (obrázek 2.14). Z výdejky je patrné, o jakou součástku či materiál se jedná a pro jakou zakázku je určen. Pohyb materiálu je dokladován *skladní kartou* (skladovou kartou, obrázek 2.15). Jednotlivé vyrobené díly mohou být před montáží soustředěny ve skladu nedokončené výroby, z něhož jsou odebírány na konečnou montáž. Hotový zkompletovaný výrobek přechází přes technickou kontrolu do skladu hotových výrobků a z něj odchází k odběratelům – při vydání odběrateli se vystavuje *dodací list*. V některých případech jednoduchých výrobků je možné sloučit dodací a kontrolní list (obrázek 2.16).



Obrázek 2.13: Tok materiálu výrobní jednotkou (obrázek převzat z [48])

Datum : 11-01-06 [08:39, Bur]		VÝDEJKA MATERIÁLU		Podnik: 155
Zakázka :	652621003	(Převodní)		
Výr. obj. :	659630028	Objednáno:	10,0000 ks	Pl.dat.ukonč.: 23-12-05
Položka/ver. :	EY32188=01	/00	Ladění kabel	
Poz. ID	E500472	Typ	Popis	Šarže: 10/
		St	Dutinka	09670008278
Požadov.množ.:	90,0000 ks		Norma:	krimpovací
Vydané množ.:	0,0000 ks		Mater.:	
Počet kusů :	0		Hmot.:	0,001
Délka x šíř.:	0,00 x	0,00	Opr/Úk:	10/Elektromontáž I.
Sklad/umíst.:	16521	/B000		
Poznámky :	Králová			

Obrázek 2.14: Výdejka

2.4 Podklady pro výrobu

Při hromadné výrobě je každý výrobek či skupina výrobků jednoznačně označen. U průmyslové výroby se používá zakázkové číslo, které pak nalezneme na všech podkladech určených pro výrobu (nápis na plošném spoji, razítka na výkresech, hlavičky technologických postupů atd.). U složitějších výrobků se každý kus označuje navíc výrobním číslem, případně i datem výroby.

2.5 Podklady pro výrobu osazené DPS

V dalším textu se seznámíme s podklady nutnými pro výrobu osazené desky. Dokumentaci můžeme obvykle rozdělit na tři celky.

1. *Podklady pro výrobu desky* – pokud desku vyrábí externí organizace, pak je k vlastní výrobě desky nepotřebujeme.

Název, druh a rozměr zásob: <i>ZD 0,5W 6V8</i>				Číslo výrobku jednotné klasifikace	
DATUM					Měrná jednotka
CENA					<i>Kč</i>
Datum	Doklad	Příjem	Výdej	Zásoba	
<i>18/4-20</i>	<i>68421</i>	<i>26</i>		<i>20</i>	
<i>18/4</i>	<i>2-5-11</i>		<i>1</i>	<i>19</i>	
<i>30/4</i>	<i>-11</i>		<i>9</i>	<i>10</i>	
<i>2/15</i>	<i>0328-11</i>		<i>10</i>	<i>0</i>	
<i>1/15</i>	<i>501</i>	<i>200</i>			
				<i>4</i>	
<i>1.2.00</i>	<i>uv</i>			<i>2</i>	
<i>4/3</i>	<i>501</i>	<i>50</i>		<i>52</i>	
<i>4/3</i>	<i>1290-20</i>		<i>6</i>	<i>46</i>	
převádí se				<i>46</i>	
SKLADOVÁ KARTA					

Obrázek 2.15: Skladní karta

PCB BENEŠOV		PCB Benešov a.s. Jana Nohy 1352 25601 Benešov Czech Republic	
OSVĚDČENÍ O JAKOSTI			
Výrobek: DESKA PLOŠNÉHO SPOJE-NEOSAZENÁ			
Odběratel:			
Název desky: <i>EL 10S3W + 1034C</i>			
Počet kusů: <i>14+14</i>	Číslo průvodky vyr. dávky: <i>7/2007</i>		
Zvláštní záznamy:			
BEZOLOVNUTÝ H-L			
Elektrický test: <input checked="" type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE			
Kontrola dle Technických podmínek PCB a.s. a ANS/IPC-A-600			
Provedl: <i>D.J.</i>	Razítko: PCB Benešov a.s. kontrola a řízení kvality		
Datum: <i>11. 2008</i>			
Systém jakosti certifikován v souladu s požadavky norem ČSN EN ISO 9001:2001 UL svazek E 194267			
Toto osvědčení slouží jako doklad o záruce Při reklamaci předložte Záruční doba 6 měsíců			

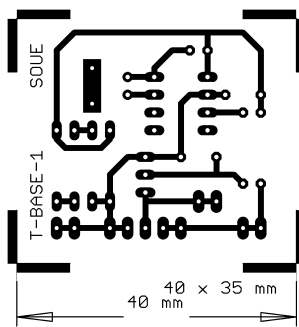
Obrázek 2.16: Osvědčení o jakosti

2. *Podklady pro osazení desky* – Jedná se o výkresy a technologický postup. Soubor všech výkresů a postupů bývá doplněn průvodkou. Průvodka provází výrobek, jsou na ní vyznačena všechna pracoviště jejich pořadí. U jednoduchých výrobků bývá součástí průvodky i technologický postup a kontrolní list.
3. *Podklady pro kontrolu desky* – Souhrn základních postupů při kontrole a zkoušení desky, včetně měření základních parametrů.

2.5.1 Výkresová dokumentace desky

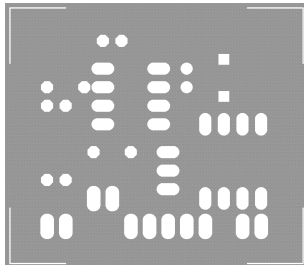
Výkresová dokumentace vychází z technologických požadavků výrobce desky. V současnosti se společně s výkresem předávají podklady v elektronické podobě, ze kterých si výrobce zhotoví potřebné šablony a matrice pro výrobu desky. Součástí elektronických podkladů je i vrtací plán ve formátu, kterému rozumí vrtací stroj.

- *Výkres spojů* (obrázek 2.17) – pohled na vodivé cesty desky. Každá vrstva musí být na samostatném výkresu. Doporučuje se do výkresů vkládat krátké texty, které desku identifikují a umožňují rychlou kontrolu orientace desky (zabrání se tak „zrcadlově“ vyrobeným spojům).



Obrázek 2.17: Výkres spojů (jedna strana desky)

- *Výkres grafitového potisku a zlacení (niklování)* – některé desky vyžadují nanesení grafitových nebo zlacených vrstev na základní měděnou fólii (kontakty, konektory). Výkresy slouží ke kontrole nanesených vrstev.
- *Výkres nepáživé masky* (obrázek 2.17) – při výrobě se na desku nanáší nepáživá maska, která kryje spoje. Maska zabraňuje vzniku zkratů cínovými můstky mezi spoji.

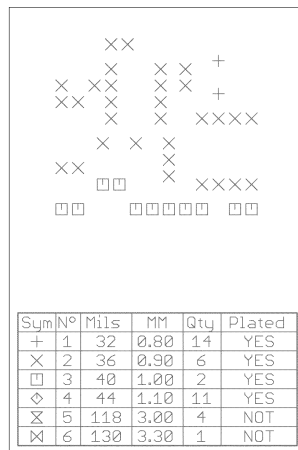


Obrázek 2.18: Výkres nepáživé masky (jedna strana desky)

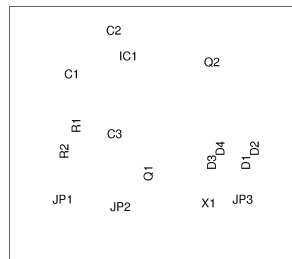
- *Výkres vrtání* (obrázek 2.17) – podle výkresu se kontroluje rozmístění a velikost otvorů v desce. Průměry otvorů nejsou kótovány, ale jsou určeny tvarem značky otvoru.
- *Výkres potisku desky* (obrázek 2.17) – na desku se mohou natisknout popisy, pozice součástek apod. Pro každou stranu desky se přikládá samostatný výkres.

2.5.2 Dokumentace pro osazení desky

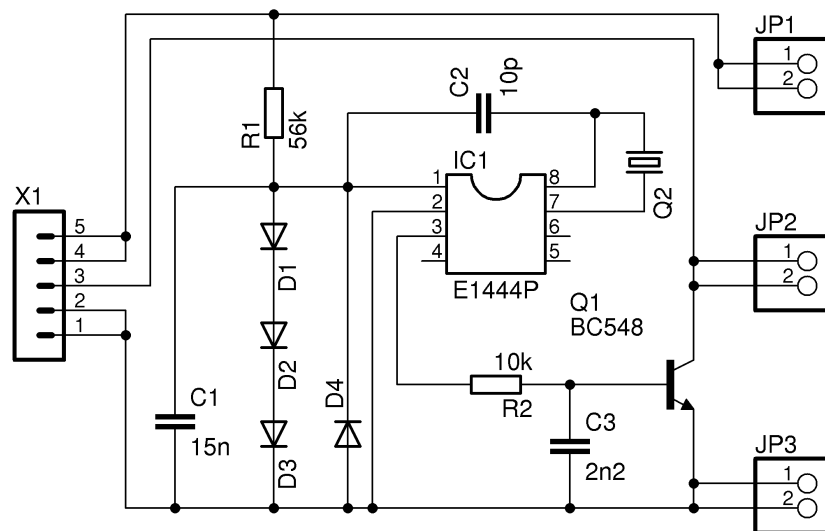
- *Schéma* (obrázek 2.17) – schéma zapojení bývá obvykle součástí podkladů pro osazení desky, ale není podmínkou.
- *Výkres osazení* (obrázek 2.22) – na výkresu je patrné rozložení součástek. Podle možnosti mohou být na výkresu zobrazeny vodivé cesty. Pokud se deska osazuje z obou stran (smíšená montáž), musí být pro každou stranu desky samostatný výkres. V případě



Obrázek 2.19: Výkres vrtání

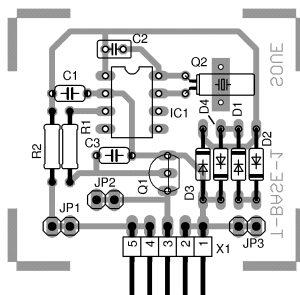


Obrázek 2.20: Výkres potisku



Obrázek 2.21: Schéma zapojení

atypických osazení součástek (například oddáleně nebo na distanční sloupky, musí být součástí výkresu i pohledy na netypickou montáž).



Obrázek 2.22: Výkres osazení

- *Kusovník (výčetka součástek)* (obrázek 2.23) – list s tabulkou, na které jsou vypsány jednotlivé pozice a jejich bližší popis. Podle kusovníku jsou součástky pro výrobu připravovány a kompletovány. Pokud se výrobek skládá z upravovaných dílů, jsou součástí kusovníku i odkazy na výkresy příslušných dílů. V případě velmi jednoduchých výrobků s malým počtem dílů, bývá kusovník součástí výkresu (schématu).

Kusů pro				Název - rozměr	Mat. konečný Mat. výchozí	Polotovary (č. modelu)	Třída odpa- du	Čistá hmotn. Hrubá hmotn.	číslo výkresu	pozice Oz. ks	Poznámka Tech. č.
IV	III	II	I								
			1	SLUČOVAC rozepsáno					SOU 4 1215/10	0	
			1	DESTIČKA 54 x 32 x 15	34 65 13				SOU 4 1215/21	1	
			3	PŘÍCHYTKA 20 x 8 x 0,5	73 53 33					2	
			2	KONDENZÁTOR TK 754 4,7pF						9	
			1	VODIČ Ø0,5 LCTA 0,3 m	34 73 33					10	
Vyhotoval				Číslo snímku		Změna		Datum		Index změny	
Prezkoušel				Číslo transp.							
Nor. referent				Schválil							
Vyr. prod.				Dne 5.9.90							
Typ EN				Skupina		Starý kusovník		Nový kusovník			
Název SLUČOVAC						SOU 4 1215/01					
						Poč. list. 1				list 1	

Obrázek 2.23: Kusovník (výčetka součástek, příklad)

- *Technologický postup* (obrázek 2.22) – pořadí operací, tak jak budou při výrobě realizovány. Složitější a méně obvyklé operace bývají v postupu rozepsány. Pokud je třeba dílčí kontrola součástek před montáží, budeme na tuto skutečnost v technologickém postupu upozornění.

2.5.3 Dokumentace pro kontrolu desky

Dokumentace pro kontrolu desky bývá v některých případech součástí dokumentace pro osazení. U složitějších zařízení je dokumentace zpracována zvlášť a často je její součástí i program pro testovací jednotku. Obvykle se dokumentace skládá ze schématu zapojení, výkresu osa-

PRŮVODKA SP				Kusů v dávce	Třídící číslo	Poč. listů
37	Zak. č. 437-865-5361	Skup. 711	Č. dávky 1	Tel. 3748	40	981-1130
Běžné č. Druh pol.	výkres - norma Název části Pozn.				Místo dodání Dodací středisko	Ks. celkem Ks. v dávce Ks. na op.
33608	CI 125587 / A B18-R9-6 TOPNE TELESO PODS.				3730	40 1
Datum 05/91				Č. výkresu/kusovníku CI 125587 +0 373		CHAR. /002
Operace 001	Pracoviště 195180 37	Střed. 37	T. tř. 454	K 1	čas výrob. 14,70 10	čas př. NC 598 Kč. 95,68
	Návinout poz. 2 na poz. 1. Upravit vyvedy dle pozn. na vykr. R=1610 AMPERU. Napsat ozn.					
002	098810 37	554	1	2,51 5	105	18,90
	Vyzkouset U=220V, N30W-					

Obrázek 2.24: Průvodka s technologickým postupem (příklad)

zení, schématu připojení desky k měřícím přístrojům, postupu kontroly a kontrolního listu. V některých případech může dodací list nahrazovat list kontrolní (obrázek 2.16). Zkontrolovaná deska se často označuje např. razítkem, nálepkou či přiloženým štítkem.

2.6 Doporučený postup při výrobě

S přiděleným úkolem dostává pracovník i veškerou dokumentaci a materiál (pokud není materiál dodáván průběžně). Prvním krokem je vždy kontrola úplnosti výrobní dokumentace – postupujeme od výkresů sestav k detailům. Po kontrole úplnosti dokumentace překontrolujeme materiál dle kusovníků. Nekontrolujeme pouze počty kusů, ale i výdejky a zakázková čísla. Pokud organizace pracuje v systému řízení jakosti (ISO 9000), nelze materiál mezi zakázkami zaměňovat a materiál bez průvodních nebo nedostatečných dokladů nelze v žádném případě použít. Po kontrole materiálu prostudujeme technologické podklady, kde zjistíme i správný postup prací (při prohození operací může dojít ke snížení spolehlivosti výrobku či nefunkčnosti). Dále pracujeme podle postupů na pracovišti obvyklých, na postupy, které nejsou obvyklé, budeme upozorněni v textu technologických postupů. Po zhotovení se obvykle výrobek předává technické kontrole, v případě jednoduchých výrobků či dílčích operací je přípustná i samokontrola, pokud ji technologický postup povoluje.

Kapitola 3

Měření elektrických veličin

3.1 Základní měření proudu a napětí

Měření proudu a napětí patří k základním a velmi často používaným pracím při výrobě a opravách elektronických zařízení. Bez měření obvykle není možné zjistit chybu v zapojení, odhalit vadnou součástku či nastavit pracovní body pro správnou činnost zařízení. Při měření je nutné postupovat s rozmyslem, nesprávný postup může nejenom způsobit poruchu zařízení, ale i ohrozit pracovníka.

3.1.1 Základy měření

Před vlastním měřením si musíme ujasnit, co a proč měříme. Musíme vědět, o jaké napětí či proud půjde (stejnoseměrné – DC – Direct Current, střídavé – AC – Alternating Current) a odhadnout maximální možnou hodnotu, která se může v měřeném obvodu vyskytnout. Podle toho volíme vhodný postup, vhodná měřidla a způsob připojení. Při měření větších proudů musíme volit měřicí šňůry vhodného průřezu, při měření větších napětí překontrolujeme maximální povolené napětí přístroje a měřících šňůr (většinou bývá 1000 V DC a 630 V AC). Rovněž musíme správně zvolit typ proudu či napětí. Při volbě stejnosměrného rozsahu při měření střídavých hodnot anebo střídavého rozsahu při měření stejnosměrných hodnot nemusí (a většinou nebude) přístroj ukazovat žádnou měřenou hodnotu. Pozor, většina běžných přístrojů změří správně efektivní hodnotu pouze u nezkreslených sinusových střídavých průběhů v rozsahu technických kmitočtů. Pro jiné průběhy než sinusové musíme použít přístroje měřící skutečnou efektivní hodnotu (označené RMS – Root-Mean-Square nebo TRMS – True Root-Mean-Square) a pro vyšší kmitočty používáme nízko či vysokofrekvenční voltmetry.

3.1.2 Přístroje

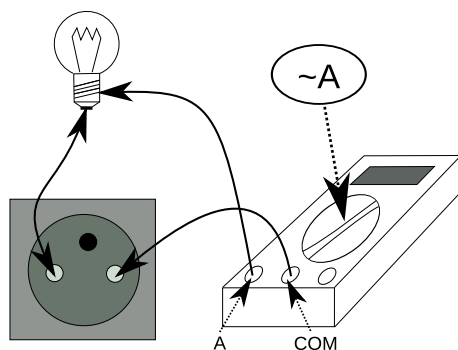
V dílenském měření používáme multimetry – kombinované přístroje pro měření napětí, proudu a dalších veličin. Před měřením se seznámíme s návodem k přístroji. Většina moderních multimetrů používá oddělené svorky pro měření napětí (V), proudu (A) a jednu svorku společnou (COM). Některé přístroje mívají pro měření větších proudů oddělenou svorku (20 A). Svorky jsou bezpečnostní, používáme šňůry s bezpečnostními banánky.

3.1.3 Zapojení přístrojů

Při měření si dáváme pozor na druh napětí či proudu. Pokud budeme měřit stejnosměrné hodnoty s přístrojem přepnutým na střídavý rozsah či střídavé hodnoty na stejnosměrném rozsahu, nemusí přístroj ukázat správnou hodnotu. Většina moderních přístrojů pak většinou měří jen stejnosměrnou či jen střídavou složku napětí či proudu. To znamená, že přístroj u chybně zvoleného rozsahu neukáže nic – bude indikovat „0“, i když bude přístrojem protékat proud anebo na něj bude přiloženo napětí. U elektronických přístrojů napájených z elektrické sítě překontrolujeme, zda některá z měřících svorek není spojena se zemí. V takovém případě pak nemůžeme jednoduše měřit v obvodech napájených přímo ze sítě, musíme použít oddělovací transformátor. Oddělovací transformátor vždy předradíme měřenému zařízení, ne měřicímu přístroji.

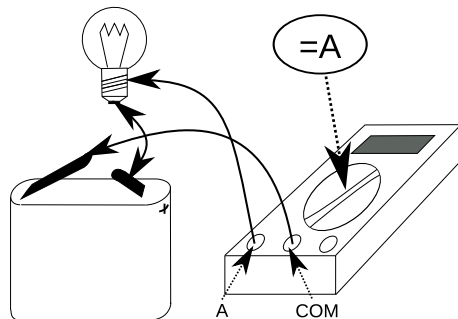
Proud

Přístroj zapojíme do série se zátěží. Nikdy ampérmetr nepřipojujme přímo na svorky zdrojů, může dojít k poškození přístroje, poškození zdroje nebo i poranění (měřící vodiče se prudce zahřejí měřeným proudem a může dojít k popálení odlétajícími žhavými částmi vodičů).



Obrázek 3.1: Měření střídavého proudu

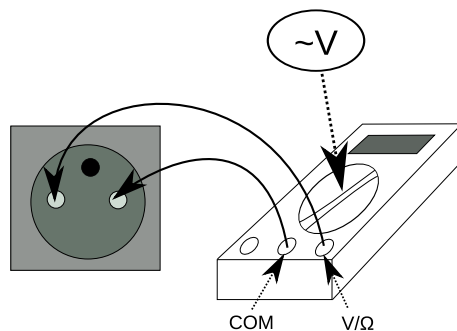
Velký pozor dáváme při měření většiny chemických zdrojů (baterie, akumulátory) a výkonových transformátorů, které jsou schopné poskytnout do zkratu velké proudy (nabitý 1,2 V NiCd článek AA dává při zkratu okolo 40 A). Při měření větších proudů používáme dostatečně dimenzované a dobře připojené vodiče. Rozsahy na přístroji nepřepínáme při zatížení.



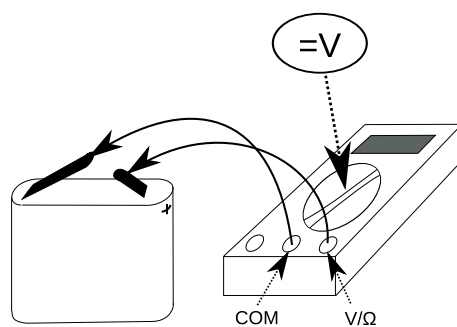
Obrázek 3.2: Měření stejnosměrného proudu

Napětí

Přístroj připojíme paralelně ke spotřebiči. Při chybné volbě rozsahu většinou u moderních přístrojů nedochází k poškození přístroje. Při měření vyšších napětí používáme měřicí šňůry zkušené na příslušné napětí.



Obrázek 3.3: Měření střídavého napětí



Obrázek 3.4: Měření stejnosměrného napětí

3.1.4 Bezpečnost práce

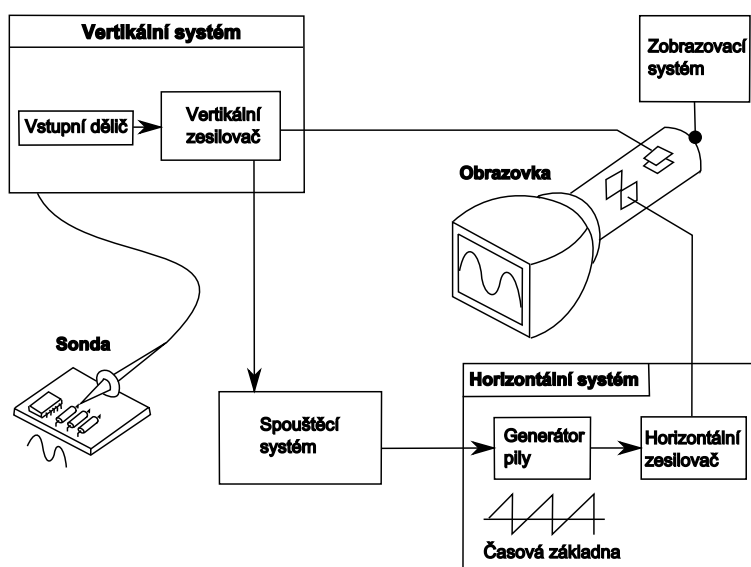
1. Na měřicím pracovišti udržujeme pořádek.
2. Používáme pouze originální zkušené měřicí šňůry.
3. Měřicí šňůry přikládáme k měřicím bodům opatrně, aby nemohlo dojít k sesmeknutí měřicího hrotu. Pokud měříme více napětí proti společné svorce (zemi), zvážíme možnost pevného připojení jednoho vodiče (svorkou nebo krokodýlkem).
4. Nepoužíváme poškozené přístroje.
5. Neměříme s odkrytým prostorem pro baterii.
6. Neměříme s poškozenými měřicími šňůrami.
7. Při měření větších napětí dodržujeme zásady pro práci pod napětím.
8. Při měření větších proudů připevňujeme měřicí šňůry k zařízení pevnými a spolehlivými svorkami.

3.2 Základní měření osciloskopem

Při měření na elektronických zařízeních často nevystačíme s multimetrem, neboť často potřebujeme kromě velikosti napětí i informaci o jeho tvaru a kmitočtu. Pro tato měření používáme osciloskop – přístroj zobrazující změny napětí v reálném čase.

3.2.1 Princip osciloskopu

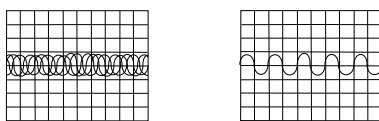
Osciloskop je zařízení, které slouží především k zviditelnění průběhu proměnného elektrického signálu v čase. Jeho nejdůležitější částí je zobrazovač (buď vakuová obrazovka nebo LCD panel). Na zobrazovači se průběh vykreslí tak, že na svislé ose (Y) je znázorněna okamžitá velikost měřeného napětí a na vodorovné ose (X) uplynulý čas od určitého okamžiku, který určují spouštěcí obvody. Vhodným nastavením ovládacích prvků lze dosáhnout klidného vykreslení určité (opakující se) části periodického průběhu.



Obrázek 3.5: Blokové schéma osciloskopu

Měřené napětí se připojuje na vstup (Y) a přes vstupní dělič a vertikální zesilovač vychyluje světelný bod na zobrazovači nahoru a dolů. Světelný bod se posouvá vodorovně, rovnoměrně s časem, pomocí pilového napětí z generátoru časové základny. Pokud světelný bod dosáhne pravého konce stínítka, pilové napětí se vrátí na původní úroveň, světelný bod se vrátí na levý kraj stínítka, a celý děj se opakuje. Ve většině případů nebude kmitočet časové základny celistvým podílem zobrazovaného kmitočtu, a v takovém případě dojde při novém přeběhu světelného bodu k posunu zobrazovaného průběhu. Proto se musí běh časové základny pozdržet (světelný bod vyčkává na levé straně stínítka), až do doby, než synchronizační obvody povolí nové spuštění časové základny.

Vzhledem k tomu, že synchronizační obvody odvozuji spouštěcí puls z měřeného průběhu, dochází ke spuštění časové základny vždy za stejných podmínek – při určité úrovni napětí měřeného průběhu. Tím je zajištěno, že u periodického průběhu každé následné zobrazení překryje předchozí průběh světelné stopy na stínítku. Obraz průběhu je zdánlivě zastaven a po stínítku se neposouvá.



Obrázek 3.6: Nezasynchronizovaný (vlevo) a zasynchronizovaný průběh

3.2.2 Běžné ovládací prvky a nastavení

Obrazovka

- *Jas* – jas stopy, nastavuje se pouze takový jas, aby bylo možné obraz pozorovat. Vysoký jas, zvláště při neměnném zobrazení, způsobí poškození obrazovky.
- *Bod* – průměr paprsku, zobrazujícího na stínítku. Nastavuje se nejostřejší stopa bez signálu.
- *Astigmatismus* – symetrie paprsku. Osciloskop přepneme do režimu zobrazení X-Y (zastaví se paprsek), rozostříme (bod) a nastavujeme tvar zobrazení paprsku na co nejvíce kruhový.
- *Osvětlení rastru* – většina osciloskopů je vybavena funkcí přisvětlení rastru pro potřeby fotografického zachycení průběhu.

Poloha na stínítku

- *Posun vodorovně* – posouvá stopu ve vodorovném směru. Před zapnutím osciloskopu posun nastavíme do střední polohy. Po spuštění dostavíme tak, aby byla stopa symetrická vůči středu obrazovky.
- *Posun svisle* – posouvá stopu ve svislém směru. Před zapnutím nastavíme posun do střední polohy. Po spuštění nastavíme paprsek na střed obrazovky.

Při zobrazování je vhodné nastavit tyto prvky tak, aby zobrazovaný děj vyplnil pokud možno celou plochu stínítka. U vícekanalových nebo vícestopých přístrojů nastavujeme polohy stop tak, aby zobrazení všech bylo zřetelné.

- *Vyhledání* – tlačítko pro vyhledání polohy stopy. Při jeho stlačení se zmenší rozměr zobrazení a zvýší jas, takže je poloha stopy dobře patrná. Tuto funkci spouštíme velmi krátce.

Časová základna

- *Čas na dílek* – určuje rychlost vykreslování stopy. Udává, za jakou dobu přeběhne paprsek mezi dílky (čtvercová síť) stínítka. Nastavuje se po přivedení signálu, většinou tak, aby byla zřetelná jedna perioda signálu.
- *Přepínač X-Y* – přepíná osciloskop do režimu zobrazení ve dvou osách. Časová základna je vypnuta a poloha bodu v ose X se nastavuje vnějším napětím.

- *Časová lupa* – po zapnutí zrychlí časovou základnu desetkrát (případně pětkrát). Oblast uprostřed stínítka je zvětšena vodorovně. Před spuštěním nastavíme požadovanou část průběhu na střed obrazovky pomocí posunu vodorovně, nebo synchronizací.
- *Dvojitá časová základna* – osciloskop vybavený dvojitou časovou základnou umožňuje přesně nastavit časovou lupu do potřebné oblasti.
- *Časová základna A* – hlavní časová základna – nastaví potřebné zobrazení, zpravidla jednu periodu signálu.
- *Přepínač časových základen* – přepnout do polohy *A-B* a na zobrazeném průběhu se označí příslušný časový úsek. Jeho velikost měníme *Časovou základnou B* – která nastavuje potřebný čas a *Zpožděním spouštění* – které posouvá start časové základny *B* o zvolený časový úsek od synchronizačního impulsu. Přepnutím přepínače časové základny do polohy *B* se celý označený úsek zvětší na celé stínítko.

Synchronizace

Obvody synchronizace zastavují běh časové základny, dokud není přivedeno vstupní napětí určitých vlastností. Poté rychle odblokují běh. Výsledkem je, že periodický signál bude spouštěn ve stále stejné části periody a na obrazovce se bude jevit jako statický.

- *Přepínač polarity* – určuje, na jakou událost bude synchronizace reagovat, pokud je nastaveno (+), spouští synchronizaci vzestup napětí, pokud (–), pak sestup.
- *Přepínač AC/DC* – v případě volby střídavý se ze signálu používá pouze střídavá složka.
- *Přepínač TV* – zařadí do cesty signálu separátor televizních synchronizačních pulsů (pro analogové vysílání).
- *Přepínač Auto/Norm* – přepíná režim zatmívání paprsku. V poloze *Norm* není bez signálu zobrazována stopa.
- *Přepínač Jednorázově* – Povolí pouze jeden přeběh časové základny. Používá se pro zachycení průběhu na fotografii.
Přepínač Ext/Int – volí zdroj signálu. V poloze *Ext* se synchronizační signál přivádí na vnější konektor, v poloze *Int* se odvozuje ze vstupního napětí.
- *Přepínač 50 Hz* – umožní synchronizaci síťovým kmitočtem z napájecích obvodů osciloskopu.
- *Přepínač vstupů* – umožní u vícekanálových osciloskopů určit, který ze vstupů bude zdrojem synchronizačního signálu. V poloze *Auto* se volí vstup s největším napětím.
- *Přepínač LF/HF* – v poloze *LF* je signál veden přes dolní propust, např. 20 MHz. V poloze *HF* (širokopásmový) prochází signál přímo, bez omezení. *LF* se volí při sledování rušených signálů nižších kmitočtů.
- *Nastavení úrovně* – nastaví úroveň vstupního napětí, při kterém bude spuštěn běh časové základny. Před zapnutím se nastavuje do střední polohy, pak podle potřeby.

- *Nastavení úrovně VF (HF)* – nastavuje citlivost spouštění pro vysoké kmitočty. Před zapnutím se nastavuje na minimum, pak podle potřeby.
- *Časové zpoždění* – prodleva od příchodu synchronizačního pulsu do spuštění časové základny. Před zapnutím se nastaví na minimum.

Vstupní zesilovač

Kvalita vstupního zesilovače určuje parametry osciloskopu – především citlivost a šířku pásma. Vícekanálové osciloskopy používají zesilovače s vyrovnanými charakteristikami, včetně zpoždění, aby nedocházelo ke zkreslení a posunům mezi signály.

- *Vstupní přepínač* – přepíná vstup osciloskopu. Umožňuje vypnout vstupní napětí (pro potřebu nastavení stopy) a přepnout vstup na stejnosměrné nebo střídavé napětí. V poloze střídavé napětí se měří střídavé napětí superponované na stejnosměrném. Nastavení tohoto přepínače nemá vliv na obvody synchronizace.
- *Přepínač citlivosti* – umožňuje měnit citlivost osciloskopu na vstupní napětí. Před přivedením signálu se nastavuje maximální možná hodnota. Výchylka se udává ve voltech na dílek (čtvercová síť). Toto nastavení platí pouze, když je *Nastavení citlivosti* v poloze *Cal.* (Kalibrováno).
- *Balance* – vyvážení vstupů – nevyváženost vstupů se projevuje uskakáním stopy při přepínání citlivosti.
- *Kalibrace* – nastavuje zesílení vstupů při kalibraci osciloskopu z kalibračního zdroje.
- *Přepínání vstupů* – u vícekanálových osciloskopů – umožňuje přepínat vstupy *jednotlivě (Single)*, vstupy *současně (Chopp)*, vstupy *střídavě (Alt)* a *součet vstupů (Sum)*. Při zobrazení dvou a více vstupů současně se za určitých podmínek může objevit parazitní modulace stop způsobená kmitočtem přepínání jednotlivých kanálů. Tato modulace se v poloze vstupy střídavě neobjevuje, protože jednotlivé kanály se zobrazují samostatně v pořadí „za sebou“. Součet vstupů provede aritmetický součet napětí na jednotlivých vstupech.
- *Polarita vstupu* – přepíná polaritu vstupního signálu (zobrazované napětí se násobí -1). Používá se ve spojení s funkcí součet kanálů pro získání rozdílu dvou napětí.
- *Vstupní sonda* – zeslabuje vstupní signál 10krát nebo 100krát. Před použitím musíme sondu kalibrovat obdélníkovým signálem, aby byl zajištěn správný přenos v kmitočtů. Používá se při měření velkých signálů nebo pro impedanční přizpůsobení (odstranění odrazů na vedení) při měření v průběhů. Pozor, přívodní kabel sondy nesnese ostré ohýbání a tah. Při poškození nejde většinou opravit.

Kalibrátor

Zdroj obdélníkových impulsů s ostrými hranami a přesně danou velikostí mezivrcholového napětí. Slouží k nastavení a kontrole dělicích sond.

Ne každý osciloskop je vybaven všemi těmito prvky. Některé osciloskopy mají složitější obvody synchronizace, jiné mají další, zvláštní funkce časové základny. Před použitím každého osciloskopu se seznamte s příslušným návodem. Při nevhodném nastavení ovládacích prvků může dojít i k poškození přístroje. Životnost obrazovek bývá maximálně stovky hodin, proto pokud neměříte, vypínejte zobrazení stop buď funkcí *normal*, nebo stažením jasu. Zvlášť nebezpečné pro obrazovku je zobrazení nepohyblivého obrazu (stopa bez signálu, synchronizovaný signál) při vyšším jasu stínítka po delší dobu.

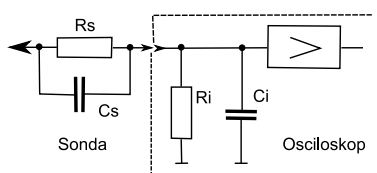
3.2.3 Parametry osciloskopu

Výrobce udává u osciloskopů několik parametrů. Nejdůležitější jsou:

- *Šířka pásma* – udává, jaké rozmezí kmitočtů osciloskop zobrazí. Udává se zvlášť pro stejnosměrné a střídavé napětí. Krajiní kmitočty jsou určeny body, kde zesílení vertikálního zesilovače poklesne o 3 dB.
- *Vstupní odpor a kapacita*.
- *Minimální napěťová citlivost na dílek*.
- *Maximální vstupní napětí* – maximální napětí, které lze přivést na osciloskop.
- *Citlivost synchronizace* – lze udávat i v minimálním rozkmitu zobrazení signálu (např. 0,5 dílku).
- *Maximální kmitočet synchronizace* – maximální kmitočet, který ještě spolehlivě spouští synchronizační obvody.
- *Časová zpoždění* – posun mezi vstupním signálem a zobrazovaným signálem.

3.2.4 Osciloskopické měřicí sondy 1 : 10 (1 : 100)

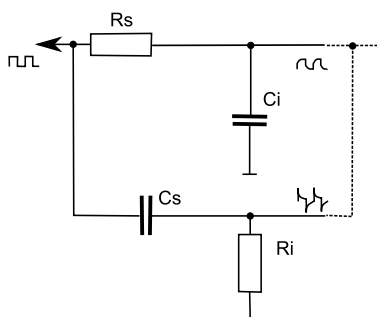
Konstrukce



Obrázek 3.7: Princip dělicí sondy

Tyto sondy jsou standardní výbavou osciloskopů. Neslouží k zeslabení vstupních signálů, ale k potlačení vlivu parazitních kapacit na měřený průběh napětí. Běžný vstup osciloskopu má vstupní odpor $1\text{ M}\Omega$ a kapacitu 20 až 30 pF . Po připojení dělicí sondy se vstupní odpor zvýší na $10\text{ M}\Omega$ a vstupní kapacita poklesne na 2 až 3 pF . Abychom zajistili nezkrácené zobrazení měřeného průběhu, musí se sonda před měřením přizpůsobit vstupní kapacitě osciloskopu, musí se kalibrovat. Dělicí sonda je složena ze vstupní hlavice, spojovacího vodiče a připojovacího konektoru. Vstupní hlavice je často vybavena výměnnými nástavci (hroty, zdírkami, háčky, konektory), které umožňují přizpůsobit připojení sondy k měřené aplikaci.

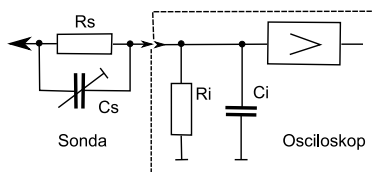
Na hlavici nalezneme také zdičku pro připojení zemního vodiče, a u některých konstrukcí sondy i kalibrační kondenzátorový trimr. Spojovací šňůra je stíněná, ale má velkou impedanci (více než 50Ω). Proto musí mít vnitřní žílu s velmi malým průměrem a velmi kvalitní dielektrikum. Šňůra je velmi citlivá na poškození, proto ji nevystavujeme tahu ani tlaku, a ani ji ostře neohýbáme. Celá sonda se k osciloskopu připojuje pomocí konektoru. Tento konektor bývá přizpůsoben použitému osciloskopu. U sond je v těle konektoru zabudován kompenzační kondenzátor. Některé typy osciloskopů používají speciální konektor s pomocnými kontakty. Tyto kontakty slouží k řízení zobrazení rozsahů podle použité dělicí sondy, nebo k napájení aktivních součástí v sondě. Sondy mají, stejně jako osciloskopy, horní mezní kmitočet (pro nezkreslené měření musí být tento kmitočet roven trojnásobku mezního kmitočtu osciloskopu) a mezní napětí. Toto napětí je běžně 250 V AC, pro měření napětí s vyšší hodnotou používáme speciální vysokonapěťové sondy. Pokud osciloskop není vybaven automatickým rozeznáním připojené sondy, musíme měřené napětí vynásobit dělicím poměrem sondy.



Obrázek 3.8: Princip kompenzace sondy

Dělicí sonda se skládá z odporu a kondenzátoru. Společně se vstupním odporem a vstupní kapacitou osciloskopu vytváří kompenzovaný dělič napětí. Pro stejnosměrný signál uvažujeme pouze odpory, pak dělicí sonda zeslabí signál 10krát. Pro střídavé průběhy si můžeme představit tento dělič jako dva obvody – integrační C_s-R_i , a derivační R_s-C_i , spojené paralelně. Průběhy obou přenosových členů se vzájemně odečítají a přesně se vykompenzují, pokud bude platit: $(C_s / C_i) = (R_i / R_s)$

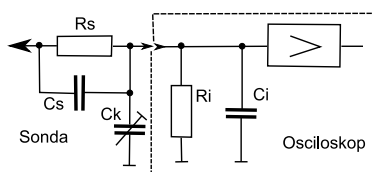
Kalibrace



Obrázek 3.9: Sonda se sériovým ladícím kondenzátorem

Vzhledem k výrobním tolerancím vstupních kapacit osciloskopů je nutné před měřením tento poměr přesně nastavit. Proto jsou sondy vybaveny kapacitním trimrem, který bývá umístěn buď v měřící hlavici, nebo u připojovacího konektoru.

V obou případech se změnou kapacitního trimru nastaví nezkreslený přenos napětí z kalibrátoru (zdroje napětí obdélníkového průběhu se zvlášť strmými náběhovými hranami).



Obrázek 3.10: Sonda s paralelním ladícím kondenzátorem

U zkresleného přenosu pak mluvíme o tom, že sonda je nedokompenzována (projevuje se prodloužením náběžné hrany) nebo překompenzována (projevuje se překmitem náběžné hrany).



Obrázek 3.11: Průběhy na překompenzované, vykompenzované a nedokompenzované sondě

Pokud není sonda správně nastavena, dojde nejenom ke zkreslení přenášených signálů, ale i nevyrovnanosti v kmitočtové charakteristice osciloskopu. Změřené napětí signálů vyšších kmitočtů bude nižší (nedokompenzovaná sonda), nebo vyšší (překompenzovaná sonda) než ve skutečnosti.

Připojení sondy

Sondu připojujeme přímo do místa s měřeným napětím. Výměnné hroty tuto operaci usnadňují. Zemní vývod sondy připojujeme co nejbližší k měřenému místu. Zemní vodič musí být co nejkratší, zvláště při měření vyšších kmitočtů.

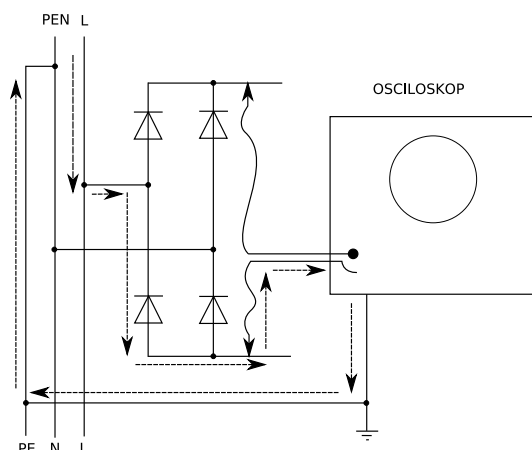
3.2.5 Měření osciloskopem

Osciloskop se běžně používá pro zobrazení časového průběhu proměnného napětí. Pokud používáme dobře zkalibrovaný osciloskop, můžeme odečíst mezivrcholovou hodnotu napětí a periodu střídavého průběhu. Pro měření zkreslení signálu se osciloskop příliš nehodí, na pozorovaném průběhu bývají odchylky patrné, až když zkreslení přesáhne přibližně 5% hranici. Pokud chceme měřit fázové posuvy, musíme použít buď dvoukanálový osciloskop, nebo osciloskop, který má vyrovnaný fázový posuv zesilovačů X a Y.

Při měření na zařízeních spojených přímo s rozvodnou sítí může dojít k poškození zařízení nebo osciloskopu. Stínění (zem) měřicí šňůry je spojena s kostrou osciloskopu, a kostra osciloskopu je spojena s ochranným vodičem sítě. V takových případech musíme měřené zařízení napájet přes oddělovací transformátor.

Připojení napětí

Osciloskopy podle typů mají různá maximální vstupní napětí (vstupní odpor $1\text{ M}\Omega$ a vstupní kapacitu 10 až 50 pF). Překročením tohoto napětí dojde k poškození vstupních obvodů. Před započetím práce si zjistěte tato maximální napětí. Pozor, jednotlivé osciloskopy mohou mít tato vstupní napětí pro různé vstupy různě velká (např. vstupy: Y – vertikální zesilovač má maximální napětí od 100 V do 250 V , X – horizontální zesilovač a SYNC EXT – externí



Obrázek 3.12: Měření na usměrňovači (šipky vyznačují zkratový proud)

synchronizace od 50 V do 200 V a vstup externího zatmívání pouze od 10 V do 50 V). U osciloskopů na vyšší kmitočty (více než 200 MHz) jsou vstupy pouze stejnosměrné a mají malou impedanci 50Ω . U těchto osciloskopů jsou maximální vstupní napětí řádově jednotky voltů.

Druhý pól vstupů (stínění) mají všechny běžné osciloskopy spojen se zemí – vodičem PE. Při měření v obvodech galvanicky spojených se síťovým rozvodem bývá toto spojení častým zdrojem zkratů. (Měřené zařízení, nikoli osciloskop, se v takovém případě musí napájet z oddělovacího transformátoru). Při měření vícekanálovými osciloskopy pak můžete poškodit měřené zařízení, pokud zemní konce měřících šňůr připojíte na různé hladiny napětí (při dostatečně výkonných napájecích zdrojích pak většinou zkratové proudy přepálí měřící šňůry). Osciloskop se obvykle připojuje stíněnou přívodní šňůrou. Na měřené napětí se připojuje živý (střední) vodič, druhý pól se obecně připojuje na zem. Tato propojka na nulový potenciál by měla být co nejkratší, neboť může svojí indukčností způsobit chyby měření, zvláště na vyšších kmitočtech. Pro signály nejvyšších kmitočtů používáme dělicí sondy, nebo měřící body upravené jako konektory. Při měření fázových posuvů vícekanálovým přístrojem, musí být všechny vstupy připojeny přes identické přívodní šňůry.

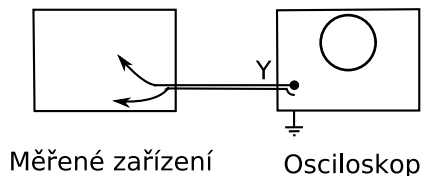
Externí synchronizace

Používá se při měření v rozsáhlých systémech, kde potřebujeme znát odezvu zapojení při určitém časovém okamžiku. Ke spouštění osciloskopu se přivádí na externí vstup synchronizace signál, odvozený z požadovaných obvodů zařízení. Pro složitější průběhy a měření se používají synchronizační generátory, které dokáží vytvořit synchronizační puls na základě vyhodnocení několika vnějších i vnitřních podmínek.

Měření napětí a kmitočtu

Měřené napětí přivádíme na vstup osciloskopu buď přímo, nebo pomocí sondy. Při měření průběhů vyšších kmitočtů může chybně připojené stínění kabelu způsobit značné zkreslení pozorovaného průběhu. Po připojení napětí nastavíme pomocí ovládacích prvků na stínítku průběh tak, aby byl klidný a dobře pozorovatelný. Přesnější odečet času periody získáme tak, že pomocí přepínání časové základny zobrazíme více (5 až 10) period signálu a změříme

čas mezi více se opakujícími vrcholy. Výsledný čas periody získáme dělením. Při měření mezivrcholové hodnoty nastavíme prvky časové základny a synchronizace tak, aby se zobrazil světelný pás. Na stínítku pak odečteme šířku tohoto pásu.



Obrázek 3.13: Měření napětí

Pokud není osciloskop kalibrovaný, může nám pomoci srovnání pozorovaného průběhu s jiným o známých parametrech (napětí a kmitočtu). Na osciloskop přivedeme nejdříve známý signál (přibližně o stejném napětí a kmitočtu jako neznámý) a odměříme zobrazenou stopu. Po přivedení měřeného signálu pak hodnoty porovnáme. Spolehlivě lze odečíst pouze špičková napětí, nebo napětí daná fázovým posunem od určitého bodu signálu. Pozor na definice efektivní, špičkové, střední hodnoty signálu. Jednoduše lze převádět pouze mezi jednoduchými průběhy, (sinus, obdélník 1:2, trojúhelník 1:2), v jiných případech je nutné použít integrální počet.

Měření kmitočtu spočívá ve změření doby uplynulé mezi periodou signálu. Tuto dobu je vhodné odečítat od nějakého význačného znaku signálu (špička, hrana). Kmitočet získáme jako převrácenou hodnotu doby jedné periody podle rovnice 3.1 (f – kmitočet, t – čas).

$$f = \frac{1}{t} \quad [\text{Hz}; \text{s}] \quad (3.1)$$

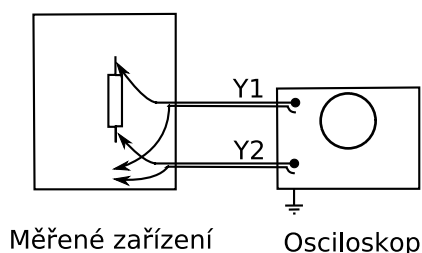
Zakreslení průběhu

Pokud nemáme možnost průběh vyfotografovat, použijeme zakreslení průběhu. Na obrázku musí být uvedeno nastavení ovládacích prvků, a je vhodné důležité hodnoty okótovat. Překreslení nám usnadní rastrová mříž před obrazovkou. Někdy stačí místo překreslení uvést hodnoty význačných bodů signálu (např. obdélník, $U_s = +10\text{V}$, -5V ; $t_{10\text{V}} = 25\text{ms}$; $t_{-5\text{V}} = 15\text{ms}$).

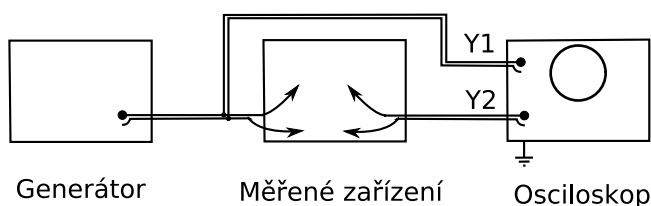
Měření proudu

Přímé měření proudu osciloskopem je možné pouze za použití proudových sond, ty nebývají běžnou součástí výbavy osciloskopu, a musí se dokoupit zvlášť. Proudové sondy pracují na principu proudového transformátoru, a jejich kmitočtový rozsah bývá omezený. V běžné praxi používáme pro změření proudu měření úbytku napětí na rezistoru o známé velikosti. Při tomto měření lze s výhodou použít dvoukanalový osciloskop v režimu diferenciálních vstupů ($Y1 - Y2$). Skutečnou hodnotu proudu pak získáme výpočtem.

Dvoukanalový osciloskop přepneme do režimu součtu vstupů a u jednoho ze vstupů obrátíme polaritu. Vstupní děliče Y přepneme na stejný rozsah. Na stínítku pozorujeme rozdíl napětí obou vstupů. Stínění měřících vodičů buď k měřenému zařízení vůbec nepřipojíme, nebo jej můžeme spojit „se zemí“ měřeného zařízení.



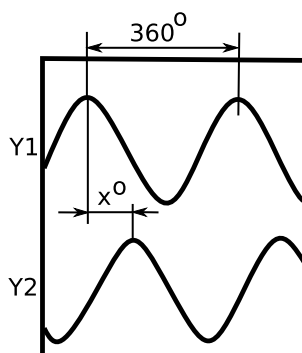
Obrázek 3.14: Měření proudu metodou úbytku napětí na známém odporu



Obrázek 3.15: Měření fázového posuvu přímo

Měření fázového posuvu

Pro toto měření je nutné aby zesilovače osciloskopu měly stejné fázové charakteristiky a stejná zpoždění, jinak dojde ke zkreslení fázového posuvu pozorovaného signálu.



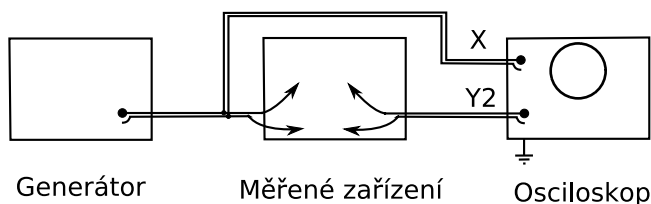
Obrázek 3.16: Vyhodnocení fázového posuvu přímým odečtem průběhu

Pro měření fázového posuvu můžeme použít dvě metody. Při první metodě použijeme přímo odečet posuvu na dvoukanálovém osciloskopu (360° – celá perioda).

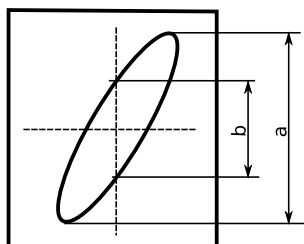
Při metodě druhé zapojíme osciloskop tak, aby zobrazoval v ose X průběh jednoho napětí a v ose Y druhého. Fázový posun pak udává šířka zobrazované uzavřené křivky

(0° – přímka se sklonem 45° , 90° – kružnice). Pro vyloučení vlivu odlišného nastavení zesílení zesilovačů X a Y se výpočet provádí pouze z hodnot odměřených na ose Y. Fázový posun se vypočítá podle rovnice 3.2, kde ϕ je fázový posun ve stupních a a , b odečteme ze zobrazené elipsy (obrázek 3.18).

$$\sin\phi = \frac{a}{b} \quad (3.2)$$



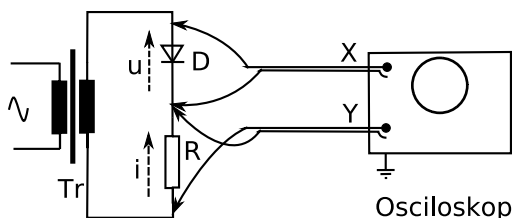
Obrázek 3.17: Měření fázového posuvu pomocí zobrazení X-Y



Obrázek 3.18: Vyhodnocení fázového posuvu měřeného metodou X-Y

Měření V-A charakteristik součástek

Vhodným zapojením můžeme dosáhnout toho, že osciloskop přímo zobrazí V-A charakteristiku požadované součásti (obrázek 3.19). Na jeden vstup (Y) přivádíme napětí měřené na součástce, na druhý (X) proud protékající součástkou. Na stínítku se zobrazí přímo V-A charakteristika.

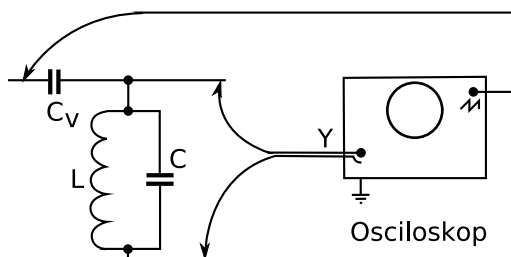


Obrázek 3.19: Měření V-A charakteristik

Transformátor Tr je zdrojem měřícího proudu, který je na měřenou součástku (dioda D) přiváděn přes snímací rezistor R . Úbytek napětí na tomto rezistoru je přiveden na horizontální zesilovač osciloskopu, a tak výchylka v ose X přímo vyjadřuje proud protékající měřenou součástkou. Napětí snímané na součástce (D) je přivedeno na vertikální zesilovač. Vzhledem k tomu, že zem osciloskopu musí být zapojena ve společném bodě měřené součástky a rezistoru pro snímání proudu, musí být zdroj měřícího napětí od země oddělen.

Měření indukčnosti

Osciloskop lze použít i k měření indukčnosti rezonanční metodou (obrázek 3.20). Principem měření je rozkmitání LC obvodu pomocí zpětných běhů časové základny (kterou mají některé osciloskopy vyvedenou) a následné měření kmitočtu vzniklých tlumených kmitů. Výsledný kmitočet se vypočítá podle vzorce pro rezonanci LC obvodu.



Obrázek 3.20: Měření indukčnosti

Vazební kondenzátor C_v odděluje výstup časové základny od LC obvodu. Měl by být nejméně desetkrát menší než kondenzátor C . Z pozorovaného průběhu tlumených kmitů můžeme určit i jakost Q laděného obvodu, protože amplituda kmitů se sníží na polovinu po určitém počtu kmitů ($0,22Q$).

3.2.6 Bezpečnost práce

- Na měřicím pracovišti udržujeme pořádek.
- Používáme pouze originální zkoušené měřicí šňůry.
- Měřicí šňůry přikládáme k měřicím bodům opatrně, aby nemohlo dojít k sesmeknutí měřícího hrotu. Pokud měříme více napětí proti společné svorce (zemi), zvážíme možnost pevného připojení jednoho vodiče (svorkou nebo krokodýlkem).
- Nepoužíváme poškozené přístroje.
- Neměříme s odkrytým prostorem pro baterii.
- Neměříme s poškozenými měřicími šňůrami.
- Při měření větších napětí dodržujeme zásady pro práci pod napětím.

3.3 Přechodové děje

Při měření přechodových dějů je třeba používat osciloskopy a dělicí sondy s co největší šířkou pásma.

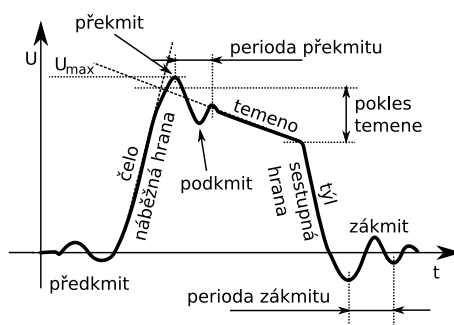
Doba náběhu je definována jako doba, za kterou se změní signál od hodnoty rovné 10 %, do hodnoty rovné 90 % maximální hodnoty signálu. Souvisí s horním mezním kmitočtem přenosu (rovnice 3.3, kde t_n je doba náběhu a f_{max} je horní mezní kmitočet osciloskopu).

$$t_n = \frac{0,35}{f_{max}} \quad [\text{s}; \text{Hz}] \quad (3.3)$$

Sklon temene pulsu – pokles pulsu před koncem signálu. Souvisí s dolním mezním kmitočtem přenosu. Pro pulsy obdélníkové, o střídě 1:2 a kmitočtu f , platí pro sklon temene a v procentech rovnice 3.4, kde a je pokles temene pulsu v procentech, f_{min} je dolní mezní kmitočet osciloskopu a f je opakovací kmitočet pulsů.

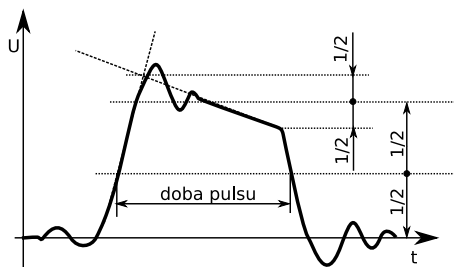
$$a = \frac{100f_{min}}{f} \quad [\%; \text{Hz}, \text{Hz}] \quad (3.4)$$

3.3.1 Popis signálů

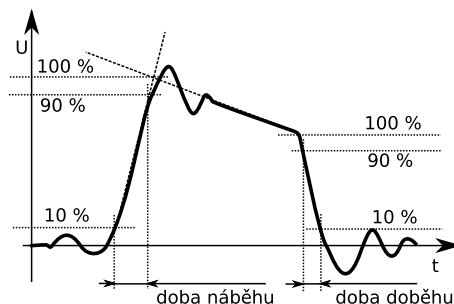


Obrázek 3.21: Popis obecného pulsu

Při měření osciloskopem nás zajímají tvary a průběhy signálů. Jednoduché průběhy můžeme popisovat slovně, složitější pak zakreslujeme, fotografujeme, či u novějších osciloskopů vytiskneme na tiskárně nebo vykreslíme zapisovačem. U signálů nás většinou zajímají pouze základní charakteristiky, perioda (kmitočet), mezivrcholové napětí a případný stejnosměrný ofset. U obdélníkových pulsů můžeme uvádět i poměr kladné části průběhu k periodě pulsu (symetrický průběh má tento poměr 1:2 – 50 %), případně strmost hran (danou dobou náběhu). Obdélníkový signál v sobě nese mnohem více informací o přenosové charakteristice zařízení, z jeho tvaru dokážeme odvodit dolní i horní mezní kmitočet, lineárnost fázové charakteristiky či případnou nestabilitu měřeného zařízení.



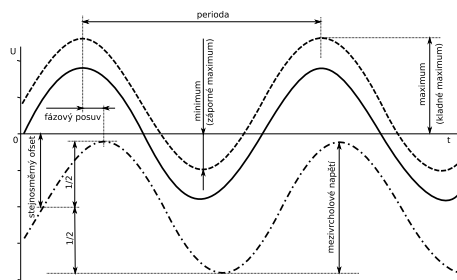
Obrázek 3.22: Určení doby pulsu



Obrázek 3.23: Určení doby náběhu a sestupu

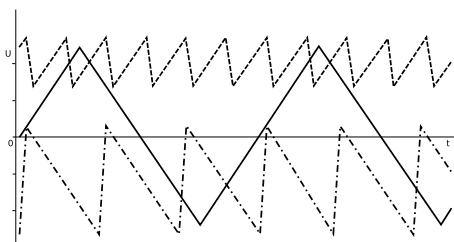
Obecně, svislé části průběhu nesou informaci o vysokofrekvenčních vlastnostech zařízení

a vodorovné části nesou informaci o přenosu nízkých kmitočtů. Přechodové jevy (předkmit, překmit, zákmit) jsou měřítkem nestability zařízení.



Obrázek 3.24: Sinusový průběh

U sinusových signálů nás zajímá hlavně perioda, mezivrcholová hodnota ($U_{\text{šš}}$ – napětí špička–špička či V_{pp} – voltage peak–peak), případně maximální hodnota U_{max} (V_{max}). U signálů posunutých od nulové hodnoty se udává ofset. Pokud sledujeme více signálů, je někdy důležité udat fázový posun. Pro měření zkreslení není porovnávání průběhů příliš vhodné, protože okem lze rozlišit odchylky od sinusového signálu přibližně od 5% zkreslení třetí harmonickou.

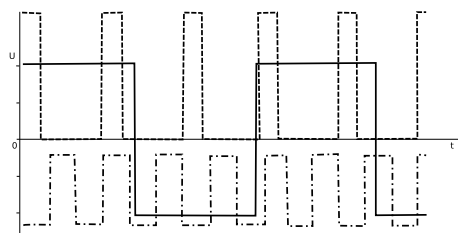


Obrázek 3.25: Trojúhelníkový průběh

Trojúhelníkový průběh se používá méně často jako náhrada sinusového. Pilové a trojúhelníkové průběhy, které vznikají průchodem obdélníkových pulsů přes RC členy nemohou mít náběhy a doběhy přímkové, ale jsou částmi exponenciální křivky. Pokud potřebujeme tento jev zdůraznit, pojmenováváme takový průběh exponenciální pilový či trojúhelníkový. U trojúhelníkových signálů běžně měříme a udáváme stejné charakteristiky jako u sinusových (perioda, mezivrcholová hodnota, ofset). Navíc u nesymetrických trojúhelníkových pulsů můžeme měřit dobu nárůstu a poklesu pulsu. Pilové pulsy jsou extrémním případem nesymetrických pulsů, v ideálním případě se blíží doba náběžné či vzestupné části průběhu nule, mluvíme pak o náběžné či sestupné hraně. Takovéto pulsy se používají pro vychylování elektronových paprsků v obrazovkách.

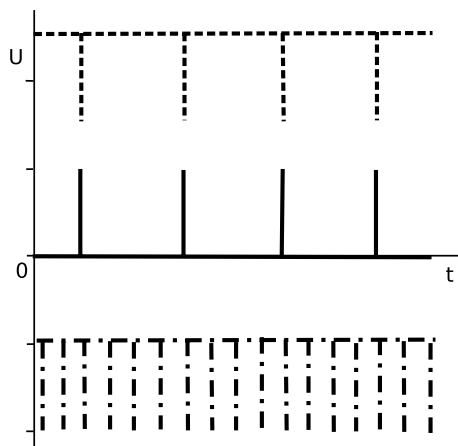
Obdélníkové pulsy pozorujeme poměrně často, vzhledem k jejich snadnému vytváření multivibrátory, či při kontrole logických obvodů. Vzhledem k tomu, že na těchto pulsech lze dobře pozorovat zkreslení vznikající v zařízení s fázovou nelinearitou, používají se i v kalibrátorech osciloskopů. Opět nás zajímá perioda, velikost napětí a ofset. U nesymetrických pulsů udáváme i nesymetrii jako poměr aktivní (kladné) části průběhu k celkové periodě (čili symetrický puls, někdy nazývaný čtvercový, má tento poměr 1:2).

Extrémním případem obdélníkového pulsu je puls jehlový, který má jednu část periody značně menší než druhou. Podle směru těchto pulsů (jehel) rozlišujeme kladné a záporné



Obrázek 3.26: Obdélníkový průběh

jehlové pulsy. Tyto pulsy často vznikají na nelineárních přechodech (PN), na komutátorech točivých strojů nebo na přerušovačích a vypínačích. Pokud mají velkou periodu, nebo jsou osamocené dají se osciloskopem pozorovat velmi obtížně, v mnohých případech jsou běžnými osciloskopy nepozorovatelné.



Obrázek 3.27: Jehlový průběh

Rozlišujeme mnoho dalších průběhů pulsů. Při jejich pojmenování se vychází z podobnosti se známými geometrickými objekty. Známe tak například pulsy lichoběžníkové, trapézové, nebo i schodové.

Kapitola 4

Plošné spoje – návrh, pájení a zásady práce

Desky plošných spojů (DPS, PCB – Printed Circuit Board) mechanicky nesou součástky a zároveň zajišťují jejich elektrické propojení. Díky použití plošných spojů se radikálně zjednodušila výroba elektronických zařízení. Pro dodržení vysoké spolehlivosti zařízení je nutné dodržovat několik zásad při výrobě a manipulaci. Desky, ať už osazené či nikoli, nesmí být vystaveny tepelným šokům a nesmí být nadměrně mechanicky namáhány, zejména na ohyb. Desky chráníme před znečištěním a korodujícími látkami. Při manipulaci se desek přímo nedotýkáme, používáme bavlněné rukavice.

4.1 Materiály na plošné spoje

Deska je složena z nosiče (izolant) a spojů (vodivá vrstva). Elektrické a mechanické vlastnosti nosiče jsou velmi důležité. V současnosti se můžeme setkat s celou škálou typů nosičů, které se liší mechanickou a elektrickou pevností, nasákavostí a permitivitou. Vodivá vrstva je dnes tvořena převážně měděnou fólií různé tloušťky ($35\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$. . .), ale experimentuje se i s vodivou vrstvou vyrobenou z hliníku anebo natištěnou z grafitu. Výrobci dodávají desky pod různými obchodními názvy, ale pro orientaci můžeme použít následující hrubé rozdělení.

- kartit – tvrzený papír s nalepenou měděnou fólií.
- cuprexit – sklolaminátová epoxidová deska s nanesenou měděnou fólií.
- pružný plošný spoj – ohebná plastická fólie s nanesenou měděnou fólií nebo měděná fólie zalísovaná mezi dvě plastové desky. Jako nosič spoje se používá polyetylén, teflon nebo tenké sklolaminátové desky.
- keramická deska – keramický nosič s galvanicky naneseným obrazcem spojů.

Pro jednotlivé účely používáme odpovídající materiál. Nejčastěji se setkáváme s kartitem u zařízení spotřební elektroniky a cuprexitem pro náročnější aplikace. Pružné spoje se používají především k propojení mezi konstrukčními díly. Keramické spoje se používají pro vysokofrekvenční obvody a pro hybridní integrované obvody.

Desky se dělí podle počtu nanesených měděných vrstev na jednovrstvé, dvouvrstvé a vícevrstvé. Vícevrstvé desky se vyrábí slepením z dvouvrstvých desek oddělených vhodným

izolačním materiálem. Vnitřní spoje jsou propojeny pomocí prokovených otvorů. Amatérsky lze běžně vyrobit pouze jedno a dvouvrstvé desky.

Mimo vlastní spoje můžeme přímo na desky natisknout rezistory (vytvořené nanesenou a vypálenou grafitovou pastou), vytvořit indukčnosti (meandrovité obrazce spojů), vinutí transformátorků, jiskřiště (většinou s profrézovanou drážkou) a kondenzátory (na dvouvrstvých deskách se vytvoří elektrody přímo z měděné fólie).

4.2 Práce s deskami spojů

4.2.1 Dělení desek

Desky se dělí řezáním rychloběžnými pilami, vystřihováním raznicemi, drážkováním pro dělení lámáním. Pro stříhání jsou nutné nůžky s tvrzeným břitem, vzhledem k velkému obsahu skla v laminátu. Kartitové desky nelze stříhat – při stříhání dochází k štípání materiálu podél stříhu.

4.2.2 Výroba obrazce spojů

Obrazec spojů se vytváří převážně leptáním. Nepotřebné části měděné fólie se odleptají ve vhodné chemikálii, potřebné části se chrání před leptací kapalinou krycí maskou (barva, světlovocitlivá fólie...). Existuje i obrácený postup, nanesení cest vyražených z fólie či galvanické pokovení izolačního materiálu, na který byl obrazec předem natištěn polovodivým lakem. Při kusové prototypové výrobě se můžeme setkat i s metodou odfrézování nepotřebné měděné fólie pomocí gravírovací NC frézy.

Při přenosu obrazce spojů z předlohy na měděnou fólii se používají nejrůznější způsoby, od jednoduchého ručního překreslení, kdy se na měděnou vrstvu nanese vrstva krycí barvy, přes potisk sítotiskem po přenos obrazce světlem. Poslední způsob je v současnosti při hromadné výrobě nejpoužívanější.

4.2.3 Vrtání otvorů

Otvory jsou vrtány pomocí souřadnicových NC vrtaček. Používají se rychloběžná vřetena a vrtáky s TK plátky. Běžné vrtáky se rychle tupí vzhledem k obsahu skla v laminátu. Kromě vrtání můžeme použít i ražení. Tento způsob výroby otvorů se používá především u kartitu. Nepravidelné otvory se vytvářejí frézováním, ražením nebo odvrtáním a odlomením části desky.

4.2.4 Prokovení otvorů

Na deskách pro průmyslové použití, se používají prokovené otvory. Stěny vyvrtaného otvoru se pokoví – nanesená vrstva kovu nejenom spojuje měděné vrstvy u vícevrstvých desek, ale i usnadňuje pájení. Prokovení provádíme buď galvanicky – elektrochemicky ještě před leptáním desky (většinou při zlacení kontaktů apod.) nebo mechanicky – v cínové lázni spolu s horkovzdušným nožem (cín je do otvoru vfouknut horkým vzduchem). U prototypové výroby a při opravách se setkáme s ručním prokovením – do otvorů pomocí nástroje vpravíme duté nůžky vhodných průměrů. Tento postup nelze použít na spoje s více než dvěma vrstvami.

4.2.5 Povrchová úprava desky

- Cínování – elektrochemicky – ještě před leptáním se pocínují části nekryté fotorezistemem, cín pak působí jako maska při leptání
- Mechanické cínování – pájecí vlna, pájedlo (tento způsob se používá méně, vzhledem k velké spotřebě pájky)
- Zlacení – méně běžné vzhledem k ceně a jedovatosti galvanického roztoku (kyanid). Používá se především na kontakty
- Uhlíkové vrstvy – používají se při galvanických úpravách jako vodivé spojení, nebo jako odkladové vrstvy pro nakontaktování LCD zobrazovačů a jako pracovní plochy tlačítek vytvářených na spoji.
- Nepájivá maska – maska z vhodného laku odolného teplotám, nanesená na vyleptanou desku tak, aby kryla vše, kromě pájecích bodů. Amatérsky se provádí buď nátěrem roztoku kalafuny v lihu nebo nanesením nepájivého laku ve spreji. Nepájivá maska snižuje vliv prostředí na desku (vlhkost, nečistoty).

4.3 Předloha

Při přípravě předlohy vycházíme ze schématu. Stanovíme rozměry součástek – rozteče vývodů a vnější obrys. U většiny součástek nelze ohýbat vývody přímo u hrany pouzdra (minimální vzdálenost ohybu obvykle bývá 2,5 mm od hrany). Údaje o součástkách získáme z katalogu. Obrisy součástek si poznačíme v takovém měřítku, v jakém budeme spoj navrhovat. Do náčrtku součástky můžeme doplnit kóty.

Na list papíru (je vhodný čtverečkovaný) rozkreslíme tužkou rozložení součástek. Pájecí body by měly ležet v příslušném rastru podle třídy spoje (nejčastěji $2,5 \times 2,5$ mm – $1/2$ čtverečku 5×5). Začínáme od součástek s největším počtem vývodů a okolo nich rozmísťujeme ostatní. Na poprvé se nám podaří rozmístit pouze součástky u nejjednodušších zapojení, u složitějších pravděpodobně budeme muset rozmístění několikrát opakovat (při návrhu spojů můžeme zjistit výhodnější polohu součástky). Pozor na zrcadlení strany spojů a strany součástek.

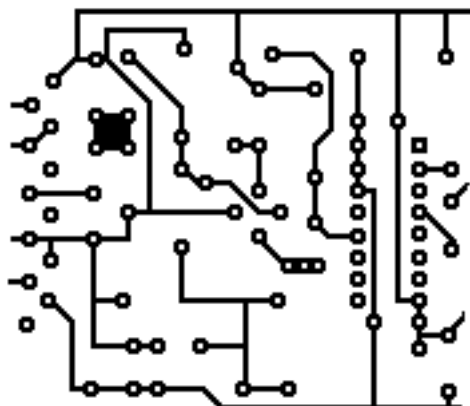
Vývody rozmístěných součástek se pokusíme propojit podle schématu – z počátku čarou od ruky. Snažíme se o co nejkratší spoje, s minimem křížování. V některých případech musíme spoje doplnit drátovou propojkou. Návrh pokud možno začínáme rozvodem země a napájení, pak doplňujeme signálové vodiče. U dvouvrstvých spojů kreslíme každou stranu jinou barvou. Stranu součástek dvouvrstvého spoje použijeme přednostně k rozvodům země a napájení.

Při návrhu spoje se řídíme určením (nf, vf, číslicová technika...) a technologií výroby (leptání, škrabání, frézování...). Podle toho zvolíme tvar spojů. Použití různých stylů návrhu na jedné desce není vhodné.

U vf techniky kontrolujeme geometrické rozměry (čtvrtvlnná a půlvlnná délka vodiče může působit pro střídavý kmitočet jako nekonečný nebo nulový vlnový odpor – ostrůvky s násobkem čtvrtvlnné délky raději úplně neuzavíráme).

Celý tento návrh nám v současnosti velmi usnadňují návrhové EDA systémy. Počítačem řízený návrhový systém velmi usnadňuje práci, ale i přesto je úloha konstruktéra nezastupitelná. Plně automatizovaný návrh desky je nemožný vzhledem k mnoha navzájem neslučitelným požadavkům. Rozmístění součástek, vedení cest a zemních vodičů se často řídí citem a zkušenostmi návrháře. Před vlastním návrhem si zjistíme požadavky výrobce spoje.

4.3.1 Metoda spojovacích čar



Obrázek 4.1: Metoda spojovacích cest – automatizovaný návrh

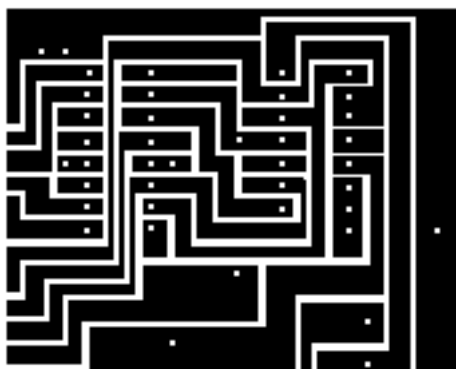
Tato metoda je vhodná pro přímé kreslení spojů. Lze ji použít i pro větší napětí díky velkým vzdálenostem spojů. Větší část mědi přejde do roztoku a lze ji vytěžit zpět. Lomení spojů v diagonálách zmenší elektromagnetické vyzařování ze spoje, pravoúhlý spoj vyzařuje více než spoj pod úhlem 135° . Navíc v zalomeních 90° dochází často k podleptání spoje. I pokud kreslíme spoje „od ruky“, snažíme se o stálý rozestup spojů a celkovou úpravu spoje. U vysokofrekvenční techniky se často setkáme s „rozlitou zemí“. Takto vytvořený spoj působí částečně jako elektromagnetické stínění a vzhledem k malé impedanci potlačuje zakmitávání zesilovačů.



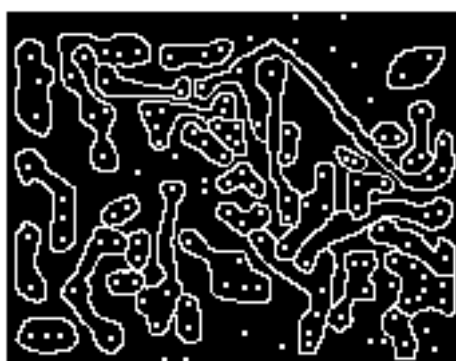
Obrázek 4.2: Metoda spojovacích cest – spoje „od ruky“



Obrázek 4.3: Rozlité země



Obrázek 4.4: Metoda dělicích čar – pravoúhlé vedení dělicích čar



Obrázek 4.5: Metoda dělicích čar – dělicí čáry „od ruky“

4.3.2 Metoda dělicích čar

Tato metoda (zejména při kolmém vedení dělicích čar) je vhodná pro škrabané nebo frézované spoje a pro větší proudy (napájecí zdroje). Metoda dělicích čar je méně vhodná pro vysokofrekvenční obvody, protože vzájemná kapacita spojů je větší. Pro větší napětí se tato metoda nedoporučuje, vzhledem k malé povrchové vzdálenosti spojů. Navíc je i méně ekonomická pro leptané spoje, z použité leptací lázně je možné měď znovu získat.

4.3.3 Kombinovaný návrh

S tímto způsobem se můžeme setkat, pokud jsou na jedné desce kombinovány různé funkce zařízení. Metoda dělicích čar je vhodná pro větší proudová zatížení.

4.3.4 Funkční vzorek

U plošných spojů, zejména u vf techniky, ale i u nf zesilovačů s velkým zesílením může nevhodné rozmístění součástek a vodičů způsobit různé poruchy. Rušivě působí zejména vazby mezi vstupními a výstupními vodiči a nevhodné vedení zemního vodiče. Můžeme se setkat i s rušivou vazbou přes rozvody napájení. Proto je vhodné navržený spoj nanečisto vyzkoušet. Pro tento účel můžeme použít desku z lepenky, do které vyrazíme otvory podle návrhu plošného spoje. Do otvorů vložíme vývody součástek a propojíme je pomocí drátů. Dráty vedeme podle návrhu spoje – tak aby geometrie spoje zůstala zachována. Pokud se v zapojení objeví



Obrázek 4.6: Kombinovaný návrh

rušivé vlivy, máme možnost úpravy vedení spoje nebo polohy součástek – přesuneme drátovou propojku. Tyto změny pak přeneseme na předlohu spoje. Po odladění můžeme zhotovit konečný návrh předlohy.

4.4 Přenos předlohy na desku

4.4.1 Amatérsky

Desku zastříhneme na rozměr a začistíme (co nejméně odpadu – obsahuje epoxid a skelnou tkaninu). Zastřiženou desku odmastíme (tekutý písek na nádobí není vhodný, pokud obsahuje hliník – působí negativně na leptací lázeň). Voda rozlitá na desce musí tvořit jednolitou vrstvu bez ostrůvků. Odmaštěné strany se už pokud možno rukou nedotýkáme. Po očištění přiložíme na stranu spojů desky zastřiženou předlohu 1:1 (pozor na orientaci – zrcadlení) a zajistíme ji proti posunutí například lepící páskou. Na desku přeneseme polohu pájecích bodů – buď vyvrtáním otvorů podle předlohy nebo přeznačením ostrou jehlou. Při použití jehly příliš netlačíme, abychom nenarušili spojení mezi laminátem a měděnou fólií. Z tohoto důvodu je méně vhodné použití důlčičku a kladívka – fólie se v místě důlčičku deformuje, a pájecí bod se snadno oddělí od nosného laminátu. Po přeznačení nakreslíme masku spoje. Ta kryje měď před působením leptacího roztoku. Pokud používáme metodu spojů, můžeme s výhodou na kresbu použít permanentní (vodostálým) fixem (označen F, nebo PERMANENT, CENTROPEN 1911, CENTROFIX). Existují i fixy vyráběné přímo pro retuše plošných spojů (Print Board Pen). V některých případech používají pájitelnou náplň. U soustavy dělicích čar je možný i postup opačný – na desku nanese vrstvu barvy (spray) a cesty odškrábeme vhodným nástrojem (nůž, škrabka). U velmi jednoduchých spojů je možné přímé i přímé odškrábnutí mědi vhodným nástrojem (nůž, pilový list apod.).

4.4.2 Profesionálně

Před zpracováním musíme měděnou vrstvu desky očistit. Používáme leštící brusky, ultrazvukové čistící stanice apod. Při velkosériové výrobě se zpracovává celá plocha desky najednou, teprve po vyleptání a vyvrtání se rozdělí na jednotlivé desky. Při výrobě přesných spojů většinou slouží předloha pro výrobu krycí masky před elektrochemickým cínováním a maska se

před leptáním odstraní. Měděnou vrstvu kryje při leptání vrstva cínu. Desky se zásadně vrtají před leptáním, otvory se prokovují.

- Sítotisk – nanesení masky z krycí barvy přes předlohu pomocí sítotiskového válce. Tento postup se používá u jednodušších desek ve velkosériové výrobě.
- Fotocesta – na desku je nanesená vrstva fotorezistu – emulze, která reaguje na světlo. U pozitivní vrstvy osvětlené části změknou a odplaví se při vyvolání desky. U negativní vrstvy osvětlené části vytvrdnou a ostatní se odplaví při vyvolání. Fotovrstvu aktivujeme ultrafialovým zářením ($\lambda = 360 \text{ nm}$), zdrojem může být zářivka, výbojka či UV LED dioda. Při jednoduché výrobě můžeme použít kontaktní masku – film 1:1 s nanesenou předlohou – neprůsvitné části filmu brání průchodu UV světla a osvit provádíme v UV expoziční jednotce. V průmyslu se většinou používá osvětlení pomocí projektoru (pak může být maska v libovolném měřítku, doporučená zvětšení jsou: 2:1, 4:1, 6:1, 10:1, maximální rozměr desky $1200 \times 1500 \text{ mm}$). V malosériové a prototypové výrobě použijeme přímé osvětlení desky v souřadnicovém zapisovači pomocí osvitové hlavy. Předlohy (filmy) vyrábíme pomocí osvitové jednotky – zařízení, které přenesení motiv z návrhového programu přímo na film.
- Frézování - odstranění měděné fólie CNC frézou. Tento postup se používá především při kusové nebo prototypové výrobě.

4.5 Leptání

4.5.1 Amatérsky

Pro kusovou výrobu je nejvhodnější roztok chloridu železitého. Desku položíme opatrně na hladinu tak, aby odleptaná měď odpadávala na dno nádoby. Spoj plave na hladině díky povrchovému napětí. Zahřátím roztoku lze velmi výrazně zkrátit dobu leptání. Pozor – výpary leptací lázně způsobují značnou korozi železných předmětů.

Po vyleptání spoj vyvrtáme (pokud už není), smyjeme krycí masku, a očištěný spoj potřeme roztokem kalafuny v lihu. Pokud je spoj kreslen pájitelnou maskou (většinou kalafuna v lihu s příměsí vhodného barviva), nemusíme spoj čistit.

4.5.2 Profesionálně

Používáme průmyslové leptací jednotky, a to buď probublávací (leptací roztok se čerá pomocí vzduchových bublin), sprejové (leptání postřikem jemnou mlhou) nebo pěnové (leptání v pěně z leptacího roztoku). Všechny jednotky jsou vybaveny ohřevem. Pro leptání se většinou používá kyselina dusičná, roztok thiosíranu sodného nebo chlorid železitý. Tyto průmyslové jednotky se vyrábí rovněž v laboratorním provedení, pak je můžeme použít i při kusové výrobě.

4.6 Konstrukční doporučení při návrhu spojů

Konstrukční návrh musí vycházet z možností výrobce spoje. Před návrhem je vhodné se seznámit s podmínkami pro výrobu spoje. Nevhodně zvolený postup nebo návrh, kdy musí být

spoj zařazen do vyšší třídy přesnosti zbytečně podražují výrobu a zvyšují pravděpodobnost chyb na spoji.

4.6.1 Třídy spoje

Spoje se podle rozteče děr dělí do několika konstrukčních tříd. Pokud vývody součástek nezapadají do rastru spoje, lze rozteče rastru u příslušné třídy zvětšit (nikdy zmenšit). Základní modul vychází z palcové míry $1/10$ palce – 2,54 mm a je uzpůsoben na metrický systém (2,5 mm). To může někdy činit potíže, zvláště při montáži dlouhých integrovaných obvodů vyráběných v palcovém systému do desek navržených podle systému metrického. U pouzder DIL40 činí rozdíl $(20 \cdot 2,54) - (20 \cdot 2,5) = 0,8$ mm. Kromě tohoto základního rastru byly vytvořeny i menší, zejména pro SMT součástky ($1/20$ palce – 1,27 mm (1,3 mm), $1/40$ palce – 0,635 mm (0,6 mm)).

Třída I

Rozteč sítě 5 mm, nejmenší vzdálenost pájecích bodů 5 mm. Tolerance $\pm 0,2$ mm. Mezi pájecími body nesmí procházet vodič. Průchod vodiče pouze mezi úhlopříčně umístěnými body. Izolační vzdálenost nejméně 0,9 mm. Šířka spoje nejméně 0,5 mm, průměr pájecí plošky nejméně 1,9 mm.

Třída II

Rozteč sítě 2,5 mm, nejmenší vzdálenost pájecích bodů 3,53 mm (úhlopříčka čtverce $2,5 \times 2,5$ mm). Tolerance $\pm 0,2$ mm. Izolační vzdálenost nejméně 0,7 mm. Šířka spoje nejméně 0,4 mm, průměr pájecí plošky nejméně 1,45 mm.

Třída III

Rozteč sítě 2,5 mm, pájecí body v průsečících sítě (vzdálenost 2,5 mm). Mezi pájecími body vzdálenými 2,5 mm nesmí procházet vodič. Tolerance $\pm 0,1$ mm. Izolační vzdálenost nejméně 0,45 mm. Šířka spoje nejméně 0,35 mm, průměr pájecí plošky nejméně 1,5 mm.

Třída IV

Rozteč sítě 2,5 mm, pájecí body v průsečících sítě (vzdálenost 2,5 mm). Mezi pájecími body vzdálenými 2,5 mm smí procházet jeden vodič. Tolerance $\pm 0,05$ mm. Izolační vzdálenost nejméně 0,35 mm. Šířka spoje nejméně 0,3 mm, průměr pájecí plošky nejméně 0,7 mm.

Třída V

Rozteč sítě 2,5 mm, pájecí body v průsečících sítě (vzdálenost 2,5 mm). Mezi pájecími body vzdálenými 2,5 mm smí procházet dva vodiče. Tolerance $\pm 0,05$ mm. Izolační vzdálenost nejméně 0,25 mm. Šířka spoje nejméně 0,2 mm, průměr pájecí plošky nejméně 0,5 mm.

Třída VI

Rozteč sítě 2,5 mm, pájecí body v průsečících sítě (vzdálenost 2,5 mm). Mezi pájecími body vzdálenými 2,5 mm smí procházet tři vodiče. Tolerance $\pm 0,05$ mm. Izolační vzdálenost nejméně 0,20 mm. Šířka spoje nejméně 0,15 mm, průměr pájecí plošky nejméně 0,5 mm.

4.6.2 Rozměry desek**Kratší strana**

- 10 až 100 mm – v přirozených násobcích 2,5 mm

Delší strana

- 10 až 100 mm – v přirozených násobcích 2,5 mm
- 100 až 250 mm – v přirozených násobcích 5 mm
- 250 až 500 mm – v přirozených násobcích 10 mm

4.6.3 Největší rozměr desky

- Přenos sítotiskem: 550×750 mm
- Přenos fotocestou: 450×500 mm

4.6.4 Otvory

Otvory volíme v řadě: 0,8 – 1,0 – 1,3 – 1,6 – 2,0 – 2,2 mm (0,8 – 1,0 – 1,3 mm přednostně), oválné a obdélníkové otvory nemají omezení.

4.6.5 Šířka cest

Šířku cest volíme v řadě: 0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6 – 0,8 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 4,0 – 5,0 – 10,0 mm (1,0 mm – přednostně) Pro sítotisk je nejmenší šířka spoje 0,4 mm (max. 40 mm dlouhá) a pro přenos fotocestou 0,3 mm (max. 40 mm dlouhá).

Doporučené šířky pro zatížení 2 A mm^{-2} (tloušťka vrstvy $35 \mu\text{m}$) nalezneme v tabulce 4.1

Tabulka 4.1: Proudové zatížení spoje

Šířka [mm]	Proud [A]
0,4	1,3
0,72	2,7
1,14	3,8
1,8	5,2
2,5	6,8
3,5	8,3
4,5	9,7
5,0	11,2
7,1	13,0

4.6.6 Mezera mezi cestami

Z hlediska bezpečnosti zařízení

Řídí se pracovním napětím a zařazením zařízení (pracovním prostředím, použitím apod). Obzvláště důležité je dodržení povrchových vzdáleností u zařízení, která obsahují na jedné desce části napájené nebezpečným napětím a s malým napětím přístupné dotyku (zařízení s vestavěným transformátorkem na spoji apod.). Minimální povrchové vzdálenosti nalezneme v následujících normách:

- ČSN EN 609 50-1 Zařízení informační technologie
- ČSN EN 606 64-1 Koordinace izolace nízkého napětí
- ČSN EN 610 10-1 Elektrická měřicí, řídicí a zabezpečovací zařízení

Nedodržení předepsané vzdálenosti může způsobit ohrožení zdraví či majetku nebo poškození zařízení!

Z hlediska návrhu

Minimální rozestup spojů je 0,5 mm pro sítotisk a 0,3 mm pro fotocestu. Při ručním návrhu uvažujeme mezeru nejvýše 0,6 mm.

4.6.7 Pájecí plošky

Průměry kruhového tvaru volíme z rozměrů 1,5 – 1,6 – 1,7 – 2,0 – 2,1 – 2,5 – 2,8 – 3,0 – 4,2 mm podle třídy přesnosti). Připouští se i tvary oválné nebo čtvercové. Střed y pájecích plošek kvůli odleptání musí mít 0,4 mm menší průměr než vrtaný otvor.

4.6.8 Popis

Nejmenší výška musí být písma 2,5 mm, nejmenší vzdálenost písma od otvoru 0,5 mm, od kraje desky 2,5 mm.

4.6.9 Předloha

Obrys desky je vyznačen čárkovanou čarou 0,3 mm, kolem obrysu volný pruh 20 mm (na předloze).

4.6.10 Kontrolní rozměrová kóta

U předlohy doplníme dvě navzájem kolmé úsečky vyznačující délku 50 až 300 mm s nepřesností $\pm 0,05$ mm. U vícevrstvých desek musíme doplnit středící značky (roh y, středy).

4.7 Součásti výkresu DPS

- Výkres strany spojů
- Výkres strany součástek

- Obrazec nepájivé masky
- Obrazec uhlíkové vrstvy (pokud je třeba)
- Obrazec potisku
- Vrtací výkres a výkres otvorů v desce

4.8 Shrnutí

4.8.1 Hromadná výroba

- Vyčištění a odmaštění desky: Brusky, leštičky, ultrazvukové vany
- Vyvrtání nebo ražení děr: Vysokorychlostní automatické vrtačky, TK vrtáky, raznice
- Nanesení negativní masky obrazce spojů: Fotocesta, sítotisk
- Galvanické cínování a prokovení otvorů
- Odstranění masky: Osvit a opláchnutí ve vývojce
- Leptání: Pěnové, postříkové, probublávací lázně, řízená teplota, kyselina dusičná, thio-síran...
- Očištění: Opláchnutí DEMI vodou, ultrazvukové pračky
- Nanesení grafitových vrstev
- Nanesení nepájivé masky: Sítotisk
- Potisk: Sítotisk
- Rozřezání na jednotlivé destičky (předchozí operace se dělají na co největší desce): Rychlořezné pily, raznice, padací nůžky, drážkování
- Kontrola: Kamery, testovací systémy
- Osazení součástek: Osazovací automaty, případně ručně
- Zapájení: Pájecí lázně, přetavovací pece
- Kontrola: Kamery, testovací systémy

4.8.2 Amatérská výroba

- Nastříhání na rozměr, začištění: Tabulové nůžky, rýhovačka, pila
- Vyčištění a odmaštění desky: Odmašťovací přípravky (bez hliníku)
- Nanesení masky spojů (fix, barva, fotocesta...)
- Leptání: Chlorid (probublávání, ohřev)
- Vrtání: Vrtačka, vrtáky na kov

- Kontrola: Ohmmetr, vizuální kontrola
- Cínování spojů: Pájedlo
- Zapájení propojek (zejména u dvouvrstvých desek)
- Osazení a zapájení součástek: ručně
- Očištění desky, krycí lak
- Kontrola: Vizuální kontrola

4.9 Zásady zacházení s deskami plošných spojů

Zařízení nezapouzdřená jsou většinou dodávána na deskách plošných spojů. Deska se k zařízení připojuje buď pomocí konektoru (přímý nepřímý), nebo má šroubovací svorkovnici, nebo pájecí očka (vidličky). Některé desky se mohou připojovat zapájením vývodů přímo do spoje – většinou se jedná o desky umístěné v zařízeních, kde se nepočítá s opravou (hračky apod.), při neodborné výměně velmi často dojde k poškození přípojného místa. Opravy se většinou omezují na identifikaci vadné desky či modulu a jejich výměně za nový. Skutečnou opravu desky či modulu pak provádí specializované pracoviště. Při manipulaci s deskami plošných spojů se musí dodržovat určitá pravidla. Při jejich nedodržení mohou vzniknout na deskách vady, které se mohou projevit až po delším provozu.

- Desky nikdy nepokládáme na sebe naležato. Nevystavujeme je tlakům, které způsobí kroucení či prohnutí desky. Při montáži desku neprohýbáme.
- Při pájení na deskách a v okolí desek nepoužíváme žádná tavidla, která uvolňují agresivní páry (elektron).
- Před manipulací s deskami citlivými na elektrostatický náboj zkratujeme jejich konektory. Zkrat odstraníme těsně před zasunutím desky do zařízení. Při manipulaci provádíme opatření pro snížení možnosti vzniku elektrostatického náboje.
- Konektorů desek (zvláště zlacených) se nikdy nedotýkáme přímo rukou.
- Desky chráníme před znečištěním. Nikdy je nečistíme běžnými přípravky. Zvláště nebezpečné je polítí obyčejnou vodou. Soli, které na desce zůstanou, mohou způsobit elektrické zkratky.
- Desky nikdy neskladujeme ani nemontujeme v blízkosti zařízení, která uvolňují žíravé páry (akumulátory, leptací jednotky).
- Nikdy nevystavujeme desky teplotám pod $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mohlo by dojít k rozpadu cínu v pájce.
- Při přenesení desky z chladné místnosti do teplé počkáme se zapojením až do vyrovnání teplot.
- Desky nevystavujeme teplotním šokům (rychlým přechodům z tepla do zimy a obráceně).
- Opravy na deskách provádí pouze pracovníci, kteří jsou na takové práci školeni. Při neodborné opravě velmi často dojde k neopravitelným poškozením desky.

4.10 Pájení naměkko

4.10.1 Pájení v elektrotechnice

Pájení v elektrotechnice a v elektronice se používá pro připojování a spojování vodičů, pro úpravy konců vodičů a pro úpravu povrchů připojovaných míst. Pro dobře provedený pájený spoj musíme mít náležité vybavení:

- *Pájedlo* – nástroj pro pájení, podle velikosti pájených předmětů musíme použít odpovídající výkon pájedla.
- *Tavidlo* – slouží k očištění pájené plochy a k zamezení oxidace při pájení. Rovněž po roztavení vytváří povrchový film, který zvýší přilnavost pájky k povrchu materiálu. Podle typu pájeného předmětu a pájky musíme použít vhodné tavidlo.
- *Pájka* – slitina cínu s příměsí jiných kovů. Rozlišujeme dvě hlavní skupiny, pájky olovnaté a bezolovnaté. Vzhledem k ochraně životního prostředí se olovnaté pájky nepoužívají v nových výrobcích. Podle použití musíme mít vhodný typ pájky.

Pájedla známe transformátorová, odporová, plynová. Důležitý je topný výkon pájedla a možnost regulace teploty hrotu. Příliš malý výkon nestačí k prohřátí pájené plochy, příliš velký vede k přehřátí pájky a její předčasné oxidaci. Teplota hrotu se řídí podle použité pájky (pro běžnou olovnatou pájku musí být 210 až 350 °C). U odporových pájek lze hrubě teplotu řídit vysunutím hrotu (čím je hrot více vysunut, tím je jeho teplota menší), u transformátorových pájek řídíme teplotu délkou pájecí smyčky (kratší smyčka – vyšší teplota). Plynové zdroje se používají jen vyjíměčně (jejich teplota se nedá přesně řídit). Před započatím práce pájedlo zkontrolujeme. Znečištěné hroty je nutné očistit (pilníkem, nožem, smirkem), tak aby byl povrch hrotu lesklý (měď nebo cín). Vrstva okují totiž zabraňuje přestupu tepla na pájený předmět. Po zapnutí do sítě počkáme u odporových pájedel na dosažení potřebné teploty, transformátorovou pájku můžeme použít okamžitě.

Pájené předměty před zahájením pájení očistíme od zbytků rzi, oxidů a mastnot. Po očištění nanese na pájený povrch tavidlo a přiložíme pájedlo. Teprve po rozehrátí předmětu přiložíme pájku, a to do místa, kde se hrot pájedla dotýká pájeného předmětu. Pájka přestupuje na ohřátý povrch a roztéká se. Teprve nyní, pokud potřebujeme zapájet větší plochu, začneme pomalu pohybovat hrotem pájedla po povrchu předmětu. Hrot musíme posouvat tak pomalu, aby s ním tekutá pájka neztratila kontakt.

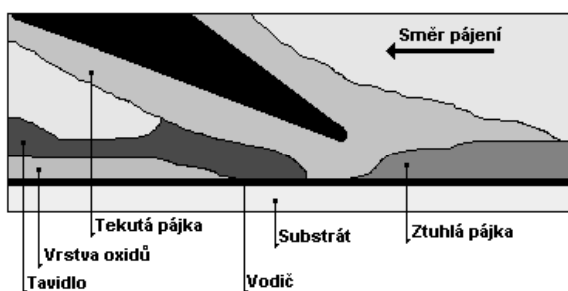
Teprve, když máme všechny plochy, které budeme spojovat opájené, položíme předměty na sebe do potřebné polohy. Pájedlo přemístíme tak, aby spolehlivě ohřívalo celou plochu spoje. Po zahřátí přidáme do spoje pájku. Když je spoj dobře prohřátý a pájka zatekla do mezery mezi spojovanými kovy, pájedlo oddálíme. Po dobu chladnutí pájky nesmíme spojem pohnout, ani nesmíme spoj prudce ochlazovat. Cín obsažený v pájce by krystalizoval a ztratil pevnost. Spoj by nebyl pevný.

Po vychladnutí pájené místo dobře očistíme od zbytků tavidla. Můžeme také odstranit přebytky pájky. Pájka ve spoji musí být lesklá, bez kráterků a děr se zbytky tavidla. Z povrchu pájky nesmí vyčnívat žádné hroty ani výstupky. Vrstva pájky musí být co nejtenčí. Přílišná tloušťka nemá dostatečnou pevnost. Pájka musí pokrýt celé spojované místo.

Spojování pájkou často nezaručuje požadovanou pevnost. Spájené spoje nejsou odolné proti vibracím a výkyvům teplot. Při mrazech pod 40 °C cín přechází samovolně do práškové

formy a rozpadá se. Pokud potřebujeme mechanickou pevnost, je vhodné pájený spoj kombinovat například s nýtováním. Při připojování vodičů pájením musíme konce vodičů zajišťovat proti mechanickému uvolnění (omotáním, ohnutím). Pokud počítáme s pohybem vodiče, musí být upraven tak, aby se pohyb nepřenášel na pájený spoj.

Při pájení větších počtů vodičů nebo menších předmětů používáme cínové lázně. Jsou to vyhřívané nádoby, v kterých je roztavená pájka. Pájený předmět očistíme, nanese na něj tavidlo a ponoříme do roztavené pájky. Ihned po vyjmutí přebytečnou pájku z předmětu setřeme (bavlněným hadrem) a necháme pomalu vychladnout. Předmět prudce nezchladíme. Po vychladnutí odstraníme zbytky tavidla.



Obrázek 4.7: Pohled na pájecí hrot

4.10.2 Pájení v elektronice

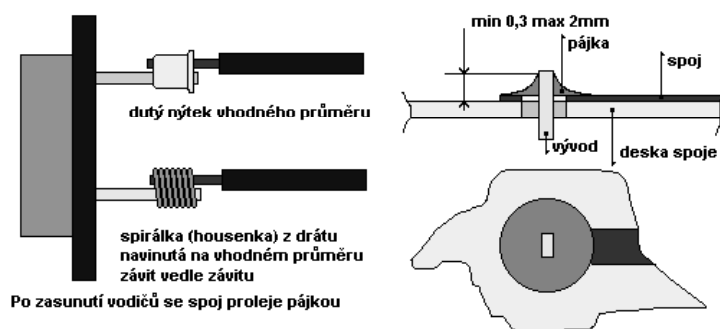
Ruční pájení se v elektronice používá už pouze u kusové amatérské výroby, u oprav elektronických zařízení a při pájení takových součástek, které nelze pájet strojně. Uvědomme si, že ručně pájený spoj má mnohem menší kvalitu a životnost než spoj zapájený strojově. Při výstupních kontrolách spojů se musí umět pracovník dobře orientovat v určování vad pájených míst. Také zacházení s deskami plošných spojů vyžaduje určité postupy a zkušenosti. Opravují se pouze vady označené v popisech jako hrubé. Oprava vady drobné by snížila spolehlivost pájeného místa, a proto se neprovádí. Klasifikaci vad a postupy při strojním pájení se řídí normami (lze je nalézt např. v [23]).

V současnosti už nelze používat pouze jeden druh pájedla na všechny práce při osazování, opravách či výměně součástek na deskách plošných spojů (DPS). Klasické transformátorové pájedlo je na větší část oprav v moderních zařízeních příliš hrubé, a nehodí se pro pájení součástek citlivých na elektrostatický náboj. Proto se používají různé druhy odporových pájedel s různými provedeními hrotů, pokud možno s regulací teploty. Při práci a opravách nejnovějších zařízení už ani klasická regulovaná mikropájedla nestačí. Používají se „pájecí stanice“.

Pájecí stanice obsahuje několik nástrojů. Je to mikropájedlo s hrotem vyhřívaným většinou vysokofrekvenční keramikou (na principu mikrovlnné trouby), s teplotou udržovanou na desetiny stupně Celsia. Velmi často se používá metoda měření spádu teploty na hrotu. Tato metoda dokáže nastavenou teplotu udržet přímo v pájeném místě (na konci hrotu). Obvyklejší pájedla dosahují rozdílu teplot mezi hrotem a pájeným místem od 20 do 30 °C a u levnějších pájedel může tento rozdíl dosáhnout až 100 °C. To je důvodem, proč u levnějších pájedel nastavujeme teplotu na 300 °C a více, protože při nižší nastavené teplotě pájka ve spoji často tuhne. Dalším obvyklým vybavením pájecích stanic je vakuová pumpa s vyhřívanou odsá-

vačkou a horkovzdušná jehla – proud vzduchu o teplotě od 180 do 350 °C – ta se používá pro pájení součástek přetavením, odfukování cínu z vývodů, profukování otvorů apod. Luxusnější stanice jsou vybaveny vakuovými pinzetami pro práci se součástkami SMT a tvarovanými vytápěnými kleštěmi, které dokáží zahřát všechny vývody součástek najednou, uchopit je a vyjmout.

Bez pájecích stanic není možné v současnosti kvalitně opravovat a vyměňovat součástky v nejnovějších zařízeních, kde jsou vývody součástek vzdáleny 0,3 mm od sebe a spoje na deskách mají rozteče 0,2 mm. Ceny takovýchto desek mnohonásobně převyšují ceny součástek na deskách osazených (5 až 10krát), a poškození vzniklé nesprávným pájením je většinou neopravitelné. Z důvodů ceny pájecích stanic a nedostatku odborných pracovníků, kteří dokáží desky opravovat se v poslední době desky neopravují, ale vyměňují. Opravy se vyplatí pouze u desek zvláště drahých nebo nevyměnitelných (malé prototypové série, dlouhé dodací doby, už neexistující výrobce).



Obrázek 4.8: Příklady pájení: Pájení vývodů; Pájení v desce spoje

4.10.3 Pájedla

- *Odporová pájedla* – různých výkonů (75 až 500 W) používají se na hrubé pájení větších dílů
- *Transformátorová pájedla* – „pistolová“ stále oblíbená pro svoji pohotovost. Pro pájení v elektrojice není vhodná, vzhledem k nemožnosti regulace teploty hrotu.
- *Odporová regulovaná pájedla* – pájky s regulací teploty hrotu. Vhodné pro elektronické aplikace (opravy a pájení součástek), pro součástky v klasické montáži je vhodný výkon 60 až 80 W, pro SMT aplikace 15 až 30 W.
- *Pájecí stanice* – zařízení sdružující několik funkcí. Vhodné pro elektroniku. Běžně obsahují regulovanou odporovou pájku, vyhřívanou odsávačku cínu a horkovzdušnou jehlu.
- *Cínová lázeň* – vytápěná nádoba s roztaveným cínem. Používá se při hromadném pájení a cínování menších součástí a vodičů. Vyrábí se v různých velikostech podle určení (i přenosné).

4.10.4 Pájky

Pájky se dodávají ve tvaru tyčí nebo drátů různých průměrů. Podle prováděné práce zvolíme tvar a typ pájky. Používané pájky jsou běžné slitiny cínu a jiných kovů. Podle dodatečných příměsí můžeme použít pájky s mírně odlišnými vlastnostmi. Pokud pájka působí na kov dlouho (v roztaveném stavu), kov se rozpouští v pájce a mění její vlastnosti. Zvláště nepříznivě působí zlato, které způsobuje křehnutí pájky. Proto není vhodné používat už jednou přetavenou pájku. Trubičkové pájky obsahují různá tavidla, která usnadňují pájení – nemusíme tavidlo do spoje přidávat zvlášť.

4.10.5 Tavidla

Tavidla umožňují pájení. Po zahřátí odstraňují oxidy z povrchu spojů. Nedokáží odstranit hrubé nebo mastné nečistoty. Po zapájení se musí zbytky tavidla ze spojů odstranit. Tzv. bezoplachová tavidla nechávají pouze malé elektricky nevodivé zbytky, ale i ty se musí u citlivých elektronických zařízení odstranit, neboť soli obsažené v tavidlech se mohou za určitých podmínek stát vodivými.

Spoj se opláchne buď vhodným rozpouštědlem (lihem, toluenem, trichlóretylénem), o kterém víme, že rozpustí tavidlo, ale ne okolní citlivé součástky, nebo demineralizovanou vodou (DEMI vodou). Ta neobsahuje soli, které by způsobovaly elektrickou vodivost. Pro neelektrické aplikace postačuje i voda obyčejná.

4.10.6 Vlastní pájení

První podmínkou je čistota pájených povrchů. Nelze pájet povrchy se silnou vrstvou oxidů nebo znečištění. Rovněž některé materiály jsou nepájitelné. Pájitelnost – schopnost povrchu být smáčen tekutou pájkou – můžeme hrubě určit podle úhlu, který svírá stěna kapky pájky k povrchu:

- Smáčecí úhel $< 10^\circ$ – velmi dobrá spájitelnost.
- Smáčecí úhel $> 20^\circ$ – nejistá pájitelnost.
- Smáčecí úhel $> 80^\circ$ – povrch nepájitelný.

Pájky jsou slitiny cínu, olova a dalších kovů. Velmi důležitá je čistota pájky. Už malé příměsí kovů dokáží zcela změnit vlastnosti pájky. Pro elektronické aplikace nelze použít recyklovaných surovin právě kvůli nepříznivému obsahu nežádoucích příměsí. Z tohoto důvodu se také musí při výměně součástky odsát ze spoje původní pájka, obsahuje totiž velké množství mědi (někdy i zlata) z vývodů a měděné fólie. Tím by mohla být snížena odolnost pájeného spoje. Proto je strojní pájení, které využívá velké objemy pájky s kontrolovaným složením, spolehlivější než ruční.

Na vývody součástek jsou kladeny různé požadavky. Často z důvodů malé tepelné vodivosti a roztavnosti bývají vyrobeny ze speciálních slitin, které většinou vykazují velmi malou pájitelnost. Proto jsou vývody od výrobce upraveny nanesením vrstev, které zlepšují pájitelnost. Tyto vrstvy se v tekuté pájce rozpouští, a proto není vhodné součástky po vypájení z desky dále používat. Rovněž vrstva mastných nečistot zhoršuje smáčivost povrchů, a proto bychom se neměli zbytečně dotýkat vývodů součástek. Každý kovový povrch (i pájka, s výjimkou zlata a platiny) obsahuje v normálním prostředí vrstvu oxidů. Proto je nutné používat

tavidlo, které dokáže takové vrstvy rozrušit. S vhodnými tavidly lze pájet většinu kovových povrchů, dokonce i řadu nekovů (skla, keramiky).

Nejčastěji používaným tavidlem byla kalafuna. Je to destilát z pryskyřice borovic, získávaný při výrobě buničiny. Chemicky jde o směs slabých organických kyselin, při pokojové teplotě nerozpustná ve vodě, s vysokým izolačním odporem a netečná vůči kovům. Taje mezi 60 až 80 °C, plně tekutá je při 120 °C. V horkém stavu reaguje jako silná kyselina. Má schopnost rozrušit tenké vrstvy oxidů při teplotách 200 °C za 1 až 2 sekundy. Reakční schopnost kalafuny neodpovídá moderním požadavkům. Proto se přidávají aktivátory a další přísady, které zvětšují čistící schopnost a zvyšují teplotní odolnost. Dnešní pryskyřicová tavidla snesou bez poškození teploty do 300 °C, kdy však houstnou a hnědnou. Velmi výhodné je používání pájek s jádrem z tavidla. Při dnešních nárocích používáme pájky s více jádry, aby se omezilo kolísání obsahu tavidla v pájce. Takováto pájka se nesmí dávkovat přímo na hrot pájedla – tavidlo by na hrotu bez užitku shořelo. Postupuje se tak, že se pájené místo zahřívá z jedné strany a z druhé se přidává pájka – tavidlo se může z pájky vylít a očistit pájený povrch. Moderní tavidla se vyrábějí ve formě pryskyřice, pasty, gelu, tekutiny. Novinkou je tzv. „Flux-pen“, což je fix plněný bezoplachovým tavidlem. Pájené místo se přetře hrotem fixu a je připraveno k pájení. Některá ponechávají ve spoji pouze malý zbytek – říká se jim bezoplachová. Spoj vytvořený pomocí takového tavidla není nutné pro běžné použití dále čistit.

Pájecí pasty jsou gelová tavidla plněná kuličkami pájky. Pasta se nadávkuje ve formě housenky přes všechny pájené vývody a zahřeje. Během pájení se rozdělí na jednotlivá pájená místa. Taková pasta se může zahřívát pouze horkým vzduchem, nebo infračerveným ohřevem při použití pájecího hrotu se tavidlo prudce vypařuje a rozstříkuje kuličky pájky po okolí.

Po zapájení se musí běžná tavidla opláchnout vždy, bezoplachová pouze u náročných aplikací. Na povrchu desky nesmí zůstat žádné částice, zvláště nepříznivé jsou hydrokopické soli, které jsou elektricky vodivé. K čištění se používají roztoky uhlovodíků, které dobře rozpouští kalafunu a pryskyřice. Modernější tavidla lze opláchnout vodou – musí se použít demineralizovaná voda bez obsahu solí. Po očištění se deska překryje vrstvou ochranného laku.

Nejvýhodnější (z hlediska ceny) jsou v současnosti pájedla odporová s regulací teploty. Při nenáročných operacích můžeme použít transformátorovou páječku. Velkou nevýhodou transformátorové páječky je rozdílná kvalita spojů, která silně závisí na zkušenostech pracovníka a teplotě hrotu. V hromadné výrobě se nedá tato páječka používat. Pro správně provedený spoj je důležitý pájecí hrot. Na jeho kvalitě přímo závisí kvalita spoje. Ze silně znečištěným hrotem nelze vytvořit vyhovující spoj.

V současnosti se používají tzv. „věčné hroty“. Jsou to složité výrobky. Jejich povrch obsahuje celou řadu galvanicky nanesených vrstev, které zlepšují přenos a rozdělení tepla a zabraňují nebo zpomalují rozpouštění materiálu hrotu v roztavené pájce. Takové hroty se nesmí čistit mechanicky – poškodili bychom povrchové vrstvy. Povoleno je pouze čištění vlhkým hadrem, houbou nebo mosaznou vatou s aktivátorem.

Pro silně znečištěné hroty se vyrábí aktivátory hrotu. Jsou to tablety, ze kterých se působením vyšších teplot uvolní látky, které dokáží odstranit nečistoty z hrotu. Předchůdcem aktivátorů byl salmiak, který se pro čištění odporových pájek s měděnými hroty používal dodnes.

Vlastní zhotovení spoje vyžaduje určitou zručnost. Vrstva pájky musí být přiměřená, rovná a celistvá. Pokud pájíme vodiče do pájecích ok, musí být oko zcela propájeno. Při připojení vodiče na rovný vývod součástky musíme použít trubičky zhotovené z dutého nýtku nebo spirálku z drátu (tzv. „housenku“). Při pájení součástky do spoje musí být vytvořen rovnoměrný pájecí kužel, který musí pokrýt celou plochu pájecího místa. Dutiny, kráterky

a zbytky nečistot ve spoji jsou nepřipustné. Povrch pájky musí být kovově lesklý. Krupičky na povrchu pájky svědčí o nedostatečném prohřátí spoje. Obrys vývodu součástky musí být ve spoji patrný. Při zhotovení spoje postupujeme následovně:

1. Očistíme pájený spoj. Silně zoxidované spoje předem opájíme.
2. Přiložíme součásti k sobě (zasuneme součástku do DPS).
3. Na spoj naneseeme přiměřené množství tavidla.
4. Přiložíme hrot páječky a prohříváme spoj.
5. Po ohřátí přidáme do spoje pájku.
6. Oddálíme páječku a počkáme na vychladnutí spoje.

Pokud spoj nevytvoříme obvykle do dvou, maximálně do pěti sekund, pájení přerušíme a pokusíme se nalézt příčinu špatného pájení.

Očištění spoje provádíme pomocí jemného brusného prostředku. Nepoužíváme žádné hrubé prostředky, nejvýhodnější jsou čistící prášky a saponáty. Pouze silně znečištěné spoje očistíme opatrně brusným papírem. Pájecí očka je možné opatrně oškrábnout nožem. (Pozor na kovové hoblinky). Vývody součástek vůbec neочиšťujeme.

Přiložení a zasunutí součástek se provádí podle běžných zvyklostí. Součástky se ve spoji zajišťují proti mechanickému uvolnění. Vodiče v pájecích očcích je nutné zajistit ohnutím.

Použijeme takové množství tavidla, aby bylo pájení dostatečné. Příliš velké množství překryje spoj a zabrání kontrole pájení. Tavidlo můžeme přidat i v průběhu vlastního pájení.

Doba prohřívání spoje musí být dostatečná, aby došlo k prohřátí celého spoje. Příliš dlouhá doba, nebo příliš horký hrot pájky může způsobit narušení DPS. Při příliš krátké době prohřátí se nestačí pájka spojit s vývodem nebo deskou a vznikne studený spoj.

Pájku nepřidáváme na hrot, ale na pájený spoj. Musí se přidat takové množství pájky, aby spoj byl vzhledný a vytvořil se typický kužel. Obrisy zapájeného vývodu musí být ve spoji patrné. Na povrchu spoje nesmí být žádné nerovnosti, ani hroty. Pájka musí pokrývat celé pájené místo, v případě větších otvorů musí pájka překrýt celou plochu otvoru.

Po dobu chladnutí pájky se nesmí se spojem hýbat, ani se nesmí chladnutí spoje urychlovat například ofukováním.

4.11 Opravy elektrických vad DPS

Plošné spoje se mohou poškodit nesprávnou manipulací nebo nevhodným pájením. Nejčastější závadou jsou přerušené spoje, uvolněné měděné fólie při pájení a zkraty spojů. Každý spoj se po zhotovení kontroluje, proměřuje se celistvost cest a zkraty mezi cestami. V sériové výrobě se provádí měření pomocí testovacích zařízení, které dokáží celou desku zkontrolovat v jedné operaci. Jednoduché závady se u složitějších desek opravují, jednoduché desky se vyřazují.

Před opravou je nutné okolí poškozeného místa očistit od nečistot, zuhelnatělých zbytků laminátu a krycího laku.

Elektrické propojení cest vznikne nedostatečným odleptáním nebo odfrézováním spoje. Často jsou spojky vlasové, téměř neviditelné. Takovéto spojení není vhodné odstranit přepálením velkým proudem, protože zuhelnatělý epoxid ve spoji se může stát zdrojem další poruchy. Spojky se opatrně odškrábnou vhodně zbroušeným nožem nebo škrabákem. Při této

operaci se snažíme co nejméně narušit povrch izolační podložky spoje a spoje v sousedství. Spojky, které vzniknou při pájení součástek, se odstraní přepájením nebo odsátím přebytečné pájky.

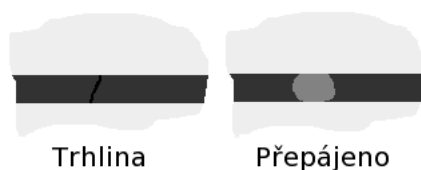
K přerušení spoje dochází z nejrůznějších příčin. Desky mohou být už od výrobce narušené, poškrábané z přepravy nebo podleptané. Při neopatrné manipulaci se často objevují vlasové trhliny, které vzniknou při prohnutí spoje, zvláště na slabých vývodech. Taková závada je velmi nebezpečná, protože trhlina se po narovnání desky elektricky spojí. Přerušené spoje se také objevují na spojích při poruchách – zkratech, kdy dojde vlivem nadměrného proudu k přepálení nebo i odpaření částí spojových obrazců. Takto poškozené desky se opravují velmi obtížně, zvláště pokud jsou na vyšší napětí. Povrch izolantu se musí očistit od všech zuhelnatělých zbytků. Pokud není izolant důkladně očištěn, dochází k elektrickým výbojům po povrchu, a závada se opakuje. V některých případech je nutné dokonce části izolantu mezi spoji úplně odstranit – odfrézovat ve spoji podélné otvory ležící mezi vodiči. Spoje se nahrazují propojkami z měděných vodičů. Opravené spoje musí mít průřez stejný nebo větší než před opravou. U krátkých přerušení nesmí oprava zabrat větší šířku, než má plošný spoj. Vodiče musí být vedeny tak, aby se kryly s původním spojem. Poškozená místa spoje musí po opravě zůstat viditelná. Delší vodič se může k desce připevnit vhodným lepidlem. Delší propojky musí být izolované.

K uvolnění pájecích plošek dochází velmi často při výměně součástek. Pokud použijeme pájedlo s vyšší teplotou, dojde k narušení epoxidového lepidla, které přidržuje měděnou fólii na laminátu a celý úsek spojového obrazce se uvolní. Při neopatrné manipulaci se pak velmi často tato část spoje odtrhne. Takováto závada je běžná při opravách méně zkušenými pracovníky, nebo při použití nevhodného pájedla. U kvalifikovaných pracovníků by k ní nemělo docházet.

4.11.1 Oprava spoje

Oprava vlasového přerušení

Vlasová trhlina na spoji se velmi často opravuje přepájením vrstvou pájky (obrázek 4.9). Takovýto způsob opravy je vhodný pouze pro nenáročná zařízení. Oprava spoje je málo spolehlivá a v průmyslové výrobě by se takto opravený spoj neměl vůbec objevit. Raději propojte dva vhodné pájecí body (vývody součástek) slabým drátem.

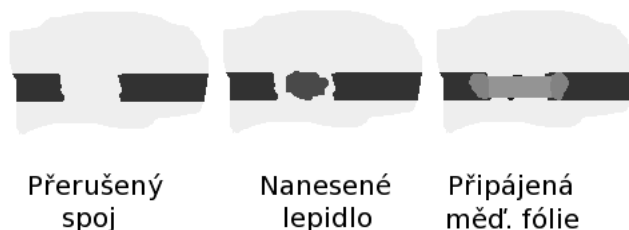


Obrázek 4.9: Oprava vlasového přerušení zapájením

Oprava delšího přerušení měděnou fólií

Delší a širší přerušený spoj můžeme opravit pomocí měděného pásku a vteřinového lepidla (obrázek 4.10). Na očištěnou desku nanese kapku vteřinového lepidla, přilepíme proužek měděné fólie a konce ke spoji připájíme. Takto opravený spoj je vhodný pouze pro nenáročná

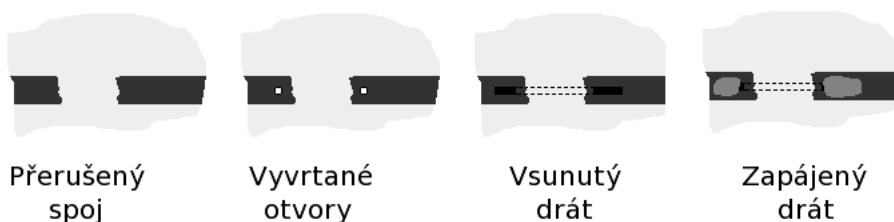
zařízení. Má malou spolehlivost a neměl by se v průmyslové výrobě objevit. Raději použijte propojení drátovou propojku vsunutou do předem vyvrtaných otvorů.



Obrázek 4.10: Oprava přerušení pomocí fólie

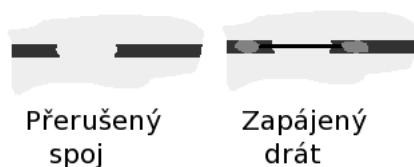
Oprava přerušení pomocí drátové propojky

Oprava širšího spoje se nejlépe provede tak, že do plochy spoje vyvrtáme díry vhodného průměru (obrázek 4.11). Do těchto děr zasuneme odizolovaný drát, zahneme a zapájíme. Takto opravený spoj má poměrně dobrou spolehlivost a je možné jej použít i v průmyslové výrobě.



Obrázek 4.11: Oprava přerušení širšího spoje pomocí drátu

Oprava přerušení úzkého spoje pomocí drátové propojky

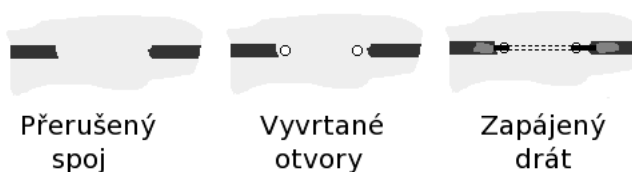


Obrázek 4.12: Oprava přerušení slabého spoje pomocí drátu

Slabý spoj se často opravuje pomocí přiloženého drátu a zapájení (obrázek 4.12). Takto opravený spoj má velmi malou spolehlivost, a neměl by se v průmyslové výrobě používat. Vhodnější je metoda s vyvrtanými otvory (obrázek 4.13). Vodič musí být na spoj připájen nejméně v délce 3,2 mm. Vodiče přímo pájené na přerušný spoj musí být připájeny nejméně 1,3 mm od vývodu součástky.

Vhodnější oprava úzkého spoje drátovou propojkou

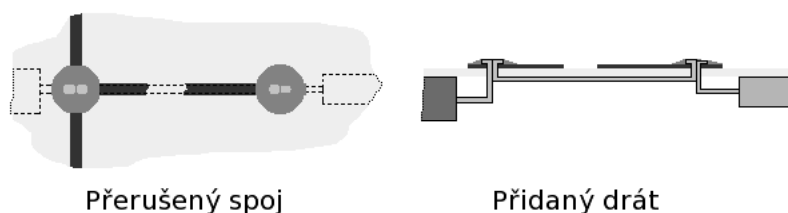
Slabý pájený spoj se nejlépe opraví tak, že se na koncích přerušení vyvrtají dva vhodné otvory, provleče se jimi drát, zahnutím zajistí a zapájí (obrázek 4.13). Tato metoda je spolehlivá a vhodná i pro průmyslovou výrobu. Jinak je možné použít metodu přidání vodiče do vhodného pájeného místa (prostrčení slabého drátu k vývodu součástky).



Obrázek 4.13: Oprava přerušení slabého spoje

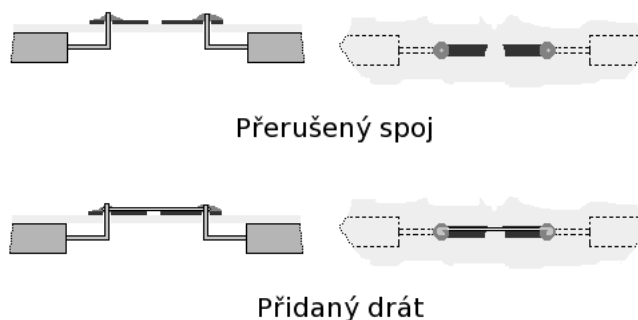
Oprava spoje pomocí propojky mezi součástkami

Oprava přerušného spoje propojkou mezi vývody součástek je velmi vhodná, ale náročnější na provedení (obrázek 4.14). Přerušení se opraví pomocí propojky, která se přidá do pájecího místa součástek. V případě nutnosti je možno otvor pro vývod součástky převrtat.



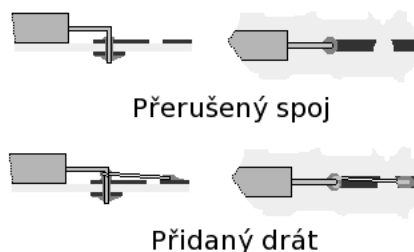
Obrázek 4.14: Oprava přerušení pomocí propojky přidané k vývodům součástek

Jiný způsob opravy využívá propojku a vývodů součástek (obrázek 4.15). Drát se ohne do háčku okolo vývodů součástek a zapájí. K pájecí plošce lze připojit dodatečně nejvýše dva vývody, ke konektorům a vývodům součástek s plošnou montáží se vodiče nesmí přidávat.



Obrázek 4.15: Oprava přerušení pomocí drátové propojky zahnuté kolem vývodů

Oprava přerušení na dvouvrstvé desce je možná s využitím vývodu součástky (obrázek 4.16). Drát se ohne do háčku okolo vývodu součástky a zapájí. K pájecí plošce lze připojit dodatečně nejvýše dva vývody, ke konektorům a vývodům součástek s plošnou montáží se vodiče nesmí přidávat. Vodič musí být na spoj připájen nejméně v délce 3,2 mm.



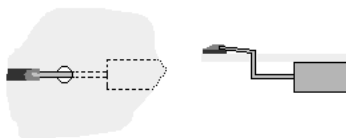
Obrázek 4.16: Oprava přerušení pomocí propojky zapájené k vývodu součástky

4.11.2 Opravy odtržených pájecích plošek a prokovení

Pokud není ploška úplně odtržena a odtržení není delší než 12,5 mm, lze plošku přilepit zpět vhodným lepidlem. Je možné nanášet lepidlo mezi spoj a desku i přes spoj. Přerušené prokovení dvouvrstevných desek se opraví vložením slabého drátku do spoje a zapájením z obou stran, přičemž z jedné strany musí být otvor viditelný (drát se připájí do vývodu z pájecí plošky). Prokovení u desek s více vrstvami se neopravuje.

Oprava u malé součástky

Úplně chybějící vývod u malé součástky se běžně opravuje tak, že se do otvoru po pájecím místě zasune delší vývod součástky, ohne se nad zbytek spoje a připájí (obrázek 4.17). Tento postup není dostatečně spolehlivý pro průmyslovou výrobu.



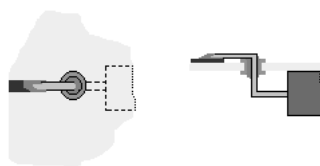
Obrázek 4.17: Oprava chybějící pájecí plošky u malé součástky

Oprava u větší součástky

Úplně chybějící vývod u větší a hmotnější součástky se opraví tak, že se otvor po pájecí plošce převrtá, vsune se do něj malý dutý nýt a roznýtuje. Do tohoto nýtu se prostrčí vývod součástky, ohne se nad zbytek spoje a zapájí jak ke spoji, tak k nýtku (obrázek 4.18). Tento způsob je spolehlivější, a v průmyslové výrobě se takto opravují i vývody menších součástek.

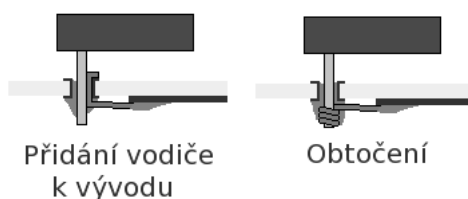
Oprava u součástky s pevným vývodem

U součástek s pevným vývodem, který nelze ohnout, se postupuje tak, že se otvor po pájecí plošce převrtá, vsune se do něj trubkový nýtek a roznýtuje (obrázek 4.19). Do nýtku se vsune



Obrázek 4.18: Oprava chybějící pájecí plošky u hmotnější součástky

drát společně s vývodem součástky. Drát se ohne nad zbytek spoje a připájí jak v očku, tak na spoji. Druhou možností je drát připájet ke spoji. Pak se natočí několik závitů na vývod součástky a zapájí.



Obrázek 4.19: Oprava chybějící pájecí plošky u rozměrné součástky

4.12 Výměna součástek na deskách plošných spojů

Součástky jsou do desek plošných spojů připojeny pájením. Pouze součástky, u nichž se předpokládá poškození nebo výměna, se umísťují do patic. Patice se používají pouze v nevyhnutelných případech, protože pérové kontakty mají mnohem menší spolehlivost než pájený spoj. Při opravách desek často potřebujeme vadné součástky vyměnit. Někdy je nutné součástku vyjmout ze spoje bez poškození, pro případnou kontrolu a zjištění druhu vady.

Při výměně součástek vycházíme ze skutečnosti, že složitější deska spoje je mnohem dražší než hodnota všech součástek, které jsou na ní osazeny. Čili prvořadým úkolem při opravě je nepoškodit obrazec spojů. K tomu potřebujeme vhodné nástroje. Dnes se dá klasické transformátorové pájedlo použít jen na desky jednoduché a málo složitě. Se vzrůstající složitostí spojového obrazce jsme nuceni používat stále dokonalejší nástroje, které nám umožní vyjmout součástku ze spoje bez poškození. Velká opatrnost je nutná zejména u dvou a vícevrstevných desek, kdy při nedbalé opravě dojde velmi snadno k poškození spojového obrazce na straně součástek.

Před jakoukoliv manipulací ze součástkou a deskou si opišeme veškeré hodnoty na součástce, zakreslíme si orientaci součástky na desce, a zapíšeme další vhodné údaje (nastavení trimru, součástky v blízkosti, u hustého spojového obrazce si nakreslíme cesty), předejdeme tak pozdějším nesrovnalostem v případě poškození součástky nebo okolí.

Nejdříve očistíme okolí pájeného místa od všech nečistot a krycího ochranného laku. Odstraňují se pouze vrstvy, které pájené místo překrývají. Pokud nečistoty neodstraníme, vytvoří tepelnou bariéru, která ztíží prohřátí spoje. Pro odstranění laku a nečistot se doporučuje:

- *Rozpouštění* – používá se xylen, trichlóretylén, metylchlorid. Místo se opakovaně potírá rozpouštědlem. Silná rozpouštědla se nedoporučují, protože mohou narušit laminát.

- *Sloupnutí* – odloupnout lze jen některé typy krycích laků např. silikonové.
- *Teplné* – zahřáním vrstvy laku nástrojem bez ostrých hran. Nedoporučují se nástavce na pájky bez regulace – vysoká teplota může poškodit laminát.
- *Broušení* – používají se malé nízko obrátkové motorové brusky s vhodnými kotoučky. Brousit se musí opatrně, aby nedošlo k místnímu přehřátí.
- *Proudem horkého vzduchu* – vrstva se naruší úzkým proudem horkého vzduchu a pak opatrně mechanicky odstraní.

Naopak se nedoporučuje odškrábnutí laku ostrým nástrojem (břitem nože), protože může dojít k poškození krytého plošného spoje.

Pak odstraníme co nejvíce pájky ze spoje (odsátím nebo pomocí kapilárního knotu, od-fukování nebo odklepávání není vhodné). Uvolníme vývody (zahnuté vývody nahřejeme a za stálého prohřívání pomocí nože narovnáme). Působení tepla na desku musí být co nejkratší. Po odsátí vývod krátce zahřejeme a snažíme se ho ve spoji vystředit, jinak nám zůstane přilepený k hraně spoje. Uvolněný vývod se ve studeném otvoru volně pohybuje. Při jakékoli manipulaci se vystříháme tlaku na součástku (vývod nesmí odtahovat zahřátý spoj od izolantu). Po vyjmutí vývodu otvor v desce očistíme od zbytků staré pájky. Prokovené otvory se nedoporučuje převrtávat, mohlo by se poškodit prokovení. Po uvolnění pájecího otvoru vložíme novou součástku a zapájíme.

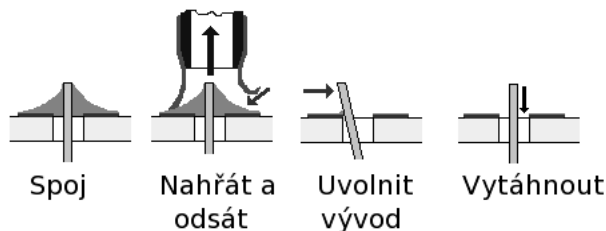
4.12.1 Uvolnění vývodu v jednovrstvé desce

Zapájený vývod uvolňované součástky očistíme od pájecího laku a nečistot (obrázek 4.20).

Prohřejeme spoj. Po roztavení pájky odsajeme pájku odsávačkou. V případě nutnosti několikrát opakujeme. V některých případech je dobré spoj znovu zapájet a opakovaně odsát (pokud už je pájecí otvor průchozí, nemusí se podařit pájku odsát). Na hrotu odsávačky je navlečena silikonová bužírka, která hrot chrání a utěsňuje k odsávanému místu.

Po odstranění pájky většinou hrot vlivem pružnosti přilehne ke stěně otvoru. Zbytky pájky vývod přidržují. Po zahřátí vývodu jej vytlačíme ke středu otvoru (tak, aby se nedotýkal stěn) a necháme vychladnout.

Uvolněný vývod musí být ve středu otvoru a mírným tlakem se volně pohybuje do stran. Musí být očištěný, bez zbytků pájky (aby prošel otvorem). Po vyjmutí vývodu pájecí místo očistíme od zbytků staré pájky.



Obrázek 4.20: Uvolnění vývodu v jednovrstvé desce

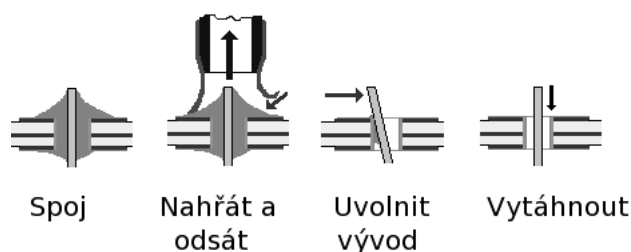
4.12.2 Uvolnění vývodu ve vícevrstvé desce

Zapájený vývod uvolňované součástky očistíme od pájecího laku a nečistot (obrázek 4.21).

Prohřejeme spoj. Dobu ohřevu prodloužíme tak, aby se mohla pájka prohřát v celém otvoru s prokovením. Po roztavení pájky odsajeme pájku odsávačkou. V případě nutnosti několikrát opakujeme. V některých případech je dobré spoj znovu zapájet a opakovaně odsát (pokud už je pájecí otvor průchozí, nemusí se podařit pájku odsát). Na hrotu odsávačky je navlečena silikonová bužírka, která hrot chrání a utěsňuje k odsávanému místu.

Po odstranění cínu většinou hrot vlivem pružnosti přilehne ke stěně otvoru. Zbytky pájky vývod přidržují. Po zahřátí vývodu jej vytlačíme ke středu otvoru (tak, aby se nedotýkal stěn) a necháme vychladnout.

Uvolněný vývod je ve středu otvoru. Volně se mírným tlakem pohybuje do stran. Pokud není uvolněný na straně součástek, dojde při vytažení vývodu k odtržení pájecí plošky! Vývod musí být očištěný, bez zbytků pájky (aby prošel otvorem). Po vyjmutí vývodu pájecí místo očistíme od zbytků staré pájky.



Obrázek 4.21: Uvolnění vývodu ve vícevrstvé desce

4.12.3 Uvolnění ohnutého vývodu

Zapájený vývod uvolňované součástky očistíme od pájecího laku a nečistot (obrázek 4.22).

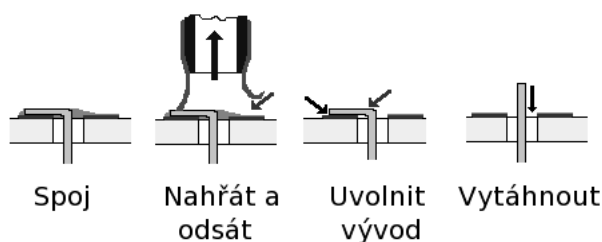
Prohřejeme spoj. Po roztavení pájky odsajeme pájku odsávačkou. V případě nutnosti několikrát opakujeme. V některých případech je dobré spoj znovu zapájet a opakovaně odsát (pokud už je pájecí otvor průchozí, nemusí se podařit pájku odsát). Na hrotu odsávačky je navlečena silikonová bužírka, která hrot chrání a utěsňuje k odsávanému místu.

Po očištění spoje ohnutý vývod zahřejeme. Mezi vývod a spoj vsuneme břit nože a vývod narovnáme. Do vychladnutí jej držíme v ose otvoru. Pokud není otvor průchozí, musíme pájku z otvoru znovu odsát.

Uvolněný vývod je ve středu otvoru a volně pohyblivý do stran. Musí být očištěný, bez zbytků pájky (aby prošel otvorem). Po vyjmutí vývodu pájecí místo očistíme od zbytků staré pájky.

4.12.4 Výměna odporů, kondenzátorů a dalších součástek se dvěma ohebnými vývody

Desku spoje uchytneme do vhodného přípravku (svěráčku) svisle a postavíme ji před sebe hranou tak, abychom měli přístup k oběma stranám desky. Součástku uchopíme za jeden vývod do kleští a mírně zatáhneme. Pokud se vývod neuvolní, zkusíme ho opatrně nahřát. Pak uvolníme druhý vývod a součástku vytáhneme. Tento způsob není vhodný pro vícevrstvé desky.

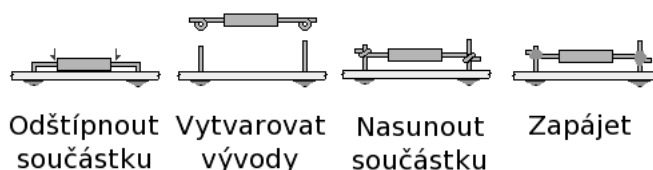


Obrázek 4.22: Uvolnění zahnutého vývodu

U desek s jemnějším spojem raději součástku odštípáme tak, aby nám z desky vyčnívaly dostatečně dlouhé vývody. Ty pak uvolníme jednotlivě. U zvláště jemných spojů je vhodnější místo uvolnění vývodů na uštípnuté vývody připájet novou součástku.

4.12.5 Výměna součástky s použitím původních vývodů

Vadná součástka se vyštípne tak, aby vývody, které zůstanou zapájené v desce, byly co nejdelší (obrázek 4.23). Vývody se opatrně narovnejí a přepájí. U nové součástky vytvarujeme na vývodech očka a novou součástku nasuneme na původní vývody. Spoje připájíme.



Obrázek 4.23: Výměna součástky s využitím původních vývodů

4.12.6 Výměna tranzistorů a podobných součástek s menším počtem vývodů

Po uvolnění vývodů za součástku zatáhneme. Pokud se neuvolní, mírně ji nakloníme tak, aby tah působil pouze na jeden vývod. Ten zahřejeme a popotáhneme. Totéž provedeme s dalším vývodem, a tak postupujeme dokola. U jemnějších a vícevrstvých desek je opět vhodnější součástku odštípnout a vývody uvolnit jednotlivě.

4.12.7 Výměna obvodů v pouzdrech DIL a podobných

Výměna těchto součástek je zvláště obtížná. Při uvolňování vývodů se doporučuje postupovat ob vývod, sníží se tím tepelné namáhání desky i součástky. Po uvolnění vývodů vsuneme mezi pouzdro a desku břit šroubováku a opatrným kroucením uvolňujeme postupně vývody od jedné strany. Můžeme si pomoci i opatrným zahříváním vývodů. Tlak na součástku nesmí být velký. Zvláště opatrně postupujeme u vícevrstvých desek s prokovenými otvory. Je totiž možné s vývodem vytáhnout i prokovení, a tak vícevrstvou desku znehodnotit. Pokud zcela nevěříme svým schopnostem, nebo u vícevrstvých součástek, je nejvhodnější vývody součástky opatrně odštípat (používají se zabroušené stranové štípačky) a vývody uvolnit jednotlivě.

4.12.8 Výměna součástek s pevnými vývody (pouzdro TO-3 apod.)

U těchto součástek nejdříve uvolníme šrouby a zkontrolujeme uvolnění vývodů. Pokud je součástka těsně na desce, opatrně pod ni zasuneme nůž nebo ostrý šroubovák. Pak opatrným naklápěním nástroje součástku uvolníme.

Při častých opravách a výměnách součástek jsou vhodné odsávací stanice – vyhřívaný hrot s vakuovou pumpou. Při častých výměnách integrovaných obvodů se používají vyhřívané nástavce, které dokáží prohřát všechny vývody naráz. Tyto nástavce musí být vybavené rovnoměrným ohřevem s regulací, aby se zabránilo nerovnoměrnému prohřívání desky. U velmi jemných desek používáme pájedla s dobrou a přesnou regulací teploty. Při opravách desek vyrobených SMT montáží používáme speciální nářadí a pájecí stanice. Jinak se takováto zařízení nedají s dostatečnou kvalitou opravit.

4.13 SMT technologie povrchové montáže

S rozvojem elektroniky se na počátku osmdesátých let začaly hledat nové možnosti miniaturizace a zvýšení efektivnosti výroby. Jednou z cest se stalo zavedení SMT – technologie povrchové montáže. S tím musely nastoupit nové typy součástek – SMD (Surface-Mounted-Devices) – součástky pro povrchovou montáž. Přestože je tato technologie určena zejména pro velkosériovou výrobu, stále častěji se s ní můžeme setkat i v oblasti zájmové elektroniky. Se SMD součástkami nemusíme přijít do styku pouze při opravách finálních výrobků. Zejména v poslední době mnoho výrobců polovodičových součástek nově vyvíjené a perspektivní díly dodává již pouze v SMT provedení.

4.13.1 Přednosti SMT technologie

- Díky absenci drátových vývodů mohou být vnější rozměry součástek podstatně menší než u klasického provedení. Tím zabírají menší plochu na desce spojů a umožňují kompaktnější provedení. Možnost osazení z obou stran desky může ušetřit dalších až 50 % plochy desky.
- Montáží na povrch desky odpadá potřeba vrtaných otvorů pro vývody, což snižuje celkový počet děr na desce a tím i výrobní náklady.
- Pro osazovací automaty jsou SMD součástky výhodnější, protože odpadá operace formování a stříhání vývodů a lze tak docílit vyšší hodinové kapacity.
- SMT technologie přináší vyšší spolehlivost při výrobě i celého výrobku, protože SMD součástky jsou menší, lehčí a spolehlivěji mechanicky spojeny s deskou, což zvyšuje odolnost finálního zařízení proti vibracím a rázům.
- Menší rozměry součástek i hotových výrobků snižují celkové náklady na dopravu i skladování.

4.13.2 Zápory a omezení SMT technologie

- Používání SMD součástek nepřináší jen samé výhody. Problém nespočívá ani tak v SMD součástkách samotných, ale jako spíše v jejich miniaturizaci.

- Zavedení SMD součástek s velkým počtem vývodů v rastru 0,35 až 1,27 mm omezuje tažení spojů mezi vývody součástky.
- SMT technologie zvyšuje nároky na návrh desek s plošnými spoji. Například při použití běžného odporu velikosti 0207 (rozteč vývodů 10 mm) můžeme pod touto součástkou natáhnout řadu spojů o běžné šířce nebo širší spoj (napájení, výkonový). Pod odporem SMD velikosti 1206 nebo dokonce 0804 projdeme nanejvýš jedním nebo dvěma spoji.
- Zvýšená plošná hustota součástek může způsobovat problémy s nadměrným ohřevem. Výkonové součástky leží přímo na desce, což může opět více tepelně zatěžovat okolní prvky
- Přes značné rozšíření nejsou dosud všechny typy součástek dosažitelné v SMD provedení, pro SMT technologii nejsou dosud vžitě jednotné normy.
- Popis SMD součástek je z rozměrových důvodů většinou omezen na kódové označení, které nijak nekoresponduje s typem součástky, což vyžaduje při používání vlastnit převodní tabulky nebo rozsáhlou dokumentaci různých výrobců.
- Záporom jsou též obtížnější výměny poškozených dílů při opravách, které vyžadují jiné pomůcky a nástroje než u klasických součástek.

4.13.3 Používané zkratky

- SMD – Surface Mounted Devices (aktivní, pasivní a částečně i některé elektromechanické součásti pro povrchovou montáž)
- SMT – Surface Mounted Technologie (způsob osazování a technika povrchové montáže)
- SMA – Surface Mounted Assembly (způsob kompletace technikou povrchové montáže)
- SMD/C – Surface Mount Devices/Components (SMD součástky pro povrchovou montáž)
- SMP – Surface Mount Packages (provedení pouzder součástek pro povrchovou montáž)
- SME – Surface Mount Equipment (zařízení pro povrchovou montáž)

4.13.4 Zkratky pro nejběžnější typy pouzder

- MELF – Metal Electrode Face Bonding, MINIMELF, MIKROMELF (válcová pouzdra s kovovými kontaktními ploškami na obou koncích)
- SO – Small Outline (pouzdra se 4 až 28 vývody)
- VSO – Very Small Outline (pouzdra až se 40 vývody)
- SOP – Small Outline Package (typ pouzdra pro IC)
- SOD – Small Outline Diode (pouzdro pro diody)
- SOT – Small Outline Transistor (pouzdro pro tranzistory)

- SOIC – Small Outline Integrated Circuit (pouzdro pro integrované obvody)
- CC – Chip Carrier (bezvývodové pouzdro - vývody jsou ohnuty pod součástku)
- LCC – Leadless Chip Carrier (bezvývodové pouzdro) – takto zapouzdržené IC jsou určeny především pro osazení do speciálních objímek.
- PLCC – Plastic Leadless Chip Carrier (plastové bezvývodové pouzdro, typická rozteč vývodů je 1,27 mm)
- LCCC – Leadless Ceramic Chip Carrier (keramické bezvývodové pouzdro)
- QFP – Quad Flat Pack (čtvercové ploché pouzdro, vývody jsou vyvedeny do všech čtyřech stran součástky; rozteč vývodů je různá, typicky 0,65 mm, 0,75 mm, 0,85 mm a 1 mm)

4.13.5 Práce se SMD součástkami

Práci se SMD součástkami můžeme rozdělit do dvou skupin:

- osazování nových desek
- výměna poškozených součástek na hotových deskách

Obě skupiny mají svá specifika a vyžadují mírně odlišné pracovní postupy a pomůcky (nářadí a nástroje).

SMD součástky se kromě absence drátových vývodů odlišují od klasických zejména výrazně menšími rozměry (to platí především pro pasivní součástky, jako jsou odpory, kondenzátory a diskretní polovodičové součástky) a menší roztečí vývodů (u některých pouzder pouhých 0,35 mm). Z toho plyne první problém, na který při používání SMD součástek narazíme, a to je manipulace s nimi.

4.13.6 Manipulace se SMD součástkami

Existují v podstatě dvě možnosti, jak uchopit SMD součástku – mechanicky (pomocí speciální mechanické pinzety) nebo vakuovou pipetou.

Pro větší typy pouzder jsou speciální mechanické pinzety relativně dostupným a použitelným nástrojem. Na druhou stranu, pro efektivnější práci potřebujeme více typů pinzet. Vakuová pipeta je v podstatě vzduchové čerpadlo (vývěva) poháněné elektromotorkem, který vytváří podtlak. Slabou tubičkou je připojena k nástroji v podobě tužky s výměnnými hroty. Ty jsou opatřeny pružnými přísavkami s různými průměry. Vyměňují se podobně jako jehly na injekční stříkačce. Vakuová pipeta má ovládání buď přímo na tělese držadla, nebo může být ovládána z centrální jednotky (pumpy), například nožním nebo ručním spínačem. Dokonalejší vakuové pipety mají automatické spínání, při kterém se pouhým dotknutím součástky (mírným zatlačením) pipeta zapne nebo vypne. To výrazně usnadňuje práci, protože prvním klepnutím na součástku se automaticky přichytí a po uložení na místo a zatlačením do pasty se součástka sama uvolní. Dokonalejší řešení představují kombinované systémy, které většinou slučují zdroj podtlaku s dávkovači pájecí pasty.

Ruční osazování má nevýhodu v malé přesnosti při pokládání součástky. Proto byly pro SMT vyvinuty takzvané manipulátory. Ty se většinou skládají z držáku pro dokonalé upevnění desky spojů a mechanického ramene (pantografu), které drží hlavici s vakuovou pinzetou a dávkovačem pájecí pasty. Přesné vedení hlavice s možností natáčení uchopené součástky umožňuje její přesnější usazení než při ruční manipulaci. Hlavice může být doplněna dalším příslušenstvím, jako je například CCD kamera s velkým rozlišením, pomocí které můžeme kontrolovat polohu součástky na připojeném monitoru. Dalšími možnými doplňky jsou zásobníky a podavače součástek jak v tyčích, tak i v kotoučích. Součástí stolu jsou i výměnné zásobníky (krabičky) na volně ložené součástky v antistatickém provedení. Jednotlivé typy jsou popsány na štítcích, což snižuje možnost chybného osazení. Takto řešená sestava je efektivní pro prototypovou nebo malosériovou výrobu.

Na nejvyšší pomyslné příčce pak jsou osazovací poloautomaty a automaty, což je však již jiná kategorie zařízení.

4.13.7 Pájení SMD součástek

Po umístění SMD součástky na desku ji musíme připájet. Montáž SMD součástek se však také liší od klasické technologie. U SMD součástek se totiž nepoužívá cínová pájka v té podobě, jakou známe z běžné praxe. Pájka se na místo spoje nanáší ještě před položením součástky. Aby to bylo možné, vyrábí se pájka v podobě pájecí pasty. Jsou to mikroskopické kuličky cínu (případně dalších přísad) zamíchané v pastovém tavidle. Před montáží se malé množství pasty nanese na každou pájecí plošku (tzv. pad) součástky. Při usazování se pak součástka přitiskne do pasty. Lepivost pasty současně fixuje součástku do doby pájení. Vlastní pájení se pak provede buď horkým vzduchem lokálně (pro každou součástku zvlášť), nebo v tzv. přetavovací peci.

Nanášení pájecí pasty

Pájecí pastu na desku spojů můžeme nanášet opět různými způsoby. V amatérské praxi (při osazování nových desek i při opravách) vystačíme s ručním dávkovačem. Pájecí pasta se dodává v tubách podobných injekčním stříkačkám. V nejjednodušším případě můžeme pastu nanést přímo z tuby. Nevýhodou je obtížná manipulace a špatný odhad nanášeného množství. Daleko pohodlnější je použití ručního dávkovače. To je mechanický držák, do kterého vložíme tubu s pastou. Stlačením páčky se vytlačí potřebné množství pasty. Výhodou je snadnější manipulace (dávkovač držíme pohodlně v dlani) a přesnější dávkování.

Dokonalejší dávkovače pracují se stlačeným vzduchem. Centrální jednotka je spojena hadičkou s tubou, ze které vytlačuje přesně odměřené množství pasty. Centrální jednotku je možné také ovládat nožním spínačem. Kvalitnější systémy mají některé doplňkové funkce, jako například odsátí zbytku pasty z hrotu dávkovací jehly, aby se netvořily kapičky. Tyto dávkovače mohou být součástí manipulátorů a osazovacích poloautomatů.

V sériové výrobě se pak pro nanášení pájecí pasty používá technologie sítotisku. K dispozici jsou jak malé ruční sítotiskové rámy, určené pro prototypovou a malosériovou výrobu, tak i automatické stroje pro velké série. V poslední době se i v sériové výrobě začínají prosazovat disperzní dávkovací automaty. Jsou schopné za hodinu nanést pájecí pastu na 20 tisíc pájecích plošek. Při jejich použití odpadá pracná a relativně drahá výroba sítotiskových masek, jakákoliv změna desky představuje pouze minimální čas na přeprogramování.

Vlastní pájení SMD součástek

Poslední operací při osazování SMD součástek je pájení. Pokud chceme použít klasickou páječku (s hrotem), připadají do úvahy pouze mikropáječky s velmi tenkými hroty. Běžně dostupné jsou s průměrem hrotu 0,4 mm a 0,8 mm. Vzhledem k tomu, že mimo vlastní spoj musíme prohřívat často i dost velkou plochu na desce, neměl by být příkon tělíska menší než 15 W. Doporučuje se použití páječky s elektronickou regulací teploty hrotu.

Velmi důležitou roli při použití klasické (hrotové) páječky hraje použitá pájka. Speciálně pro práci se SMD se používá pájecí drát o průměru 0,4 mm až 0,6 mm s příměsí stříbra (např. ALPHA SMT, L-Sn62PbAg2) a bezoplachového tavidla F-SW32. Vlastní pájení hrotovou páječkou je obtížnější než u klasických součástek, které jsou v desce spojů fixovány drátovými vývody. Při pájení SMD součástek potřebujeme tři ruce: na páječku, pájecí drát a pro přidržení součástky. Ty ale většina z nás k dispozici nemá, takže musíme zvolit jiný postup. Na jednu z pájecích plošek nanese malé množství pájky. Uchopíme součástku do pinzety (mechanické nebo vakuové), přiložíme ji na místo a hrotem páječky roztavíme pájku pod vývodem. Přitlačíme součástku k desce a necháme pájku zatuhnout. Tím je součástka fixována. Pokud se při pájení pohnula, můžeme opětovným prohrátím její polohu opravit. Je-li vše v pořádku, připájíme již běžným postupem ostatní vývody. I když je s použitím kvalitní mikropáječky a pájecího drátu příležitostná práce se SMD součástkami možná, pro častější práci je rozhodně lepší pořídit si horkovzdušnou pistoli. Doporučuje se některé z kombinovaných zařízení, slučujících funkci odsávání s vyfukováním horkého vzduchu. Základní funkcí je odsávání pájky při opravách. Vyhříváný hrot s elektronicky regulovatelnou teplotou roztaví pájku na vývodu součástky a výkonná sací pumpa dokonale odstraní pájku z otvoru. Se stejným hrotem, ale pistolí přepnutou na profuk, odstraníme případné neodsáté zbytky pájky.

Pro práci se SMD součástkami se pistole přepne na profuk a sací hrot vyměníme za horkovzdušnou trysku. Tou pak snadno roztavíme pájku na vývodech součástky. Pokud jsme při osazování použili pájecí pastu, prohrátím se pájka v pastě roztaví a součástka se spolehlivě připájí.

Pro opájení SMD součástek s velkým počtem vývodů by se nám nepodařilo ohřát všechny vývody najednou. Postupujeme proto po jednotlivých vývodech, které po roztavení pájky oddělíme od desky tenkým ocelovým drátkem. Pro častější výměny větších pouzder IC se k pistolí dodává souprava pro odpájení SMD součástek. Ta obsahuje mimo jiné i různé tvarované nástavce. Ty přesně odpovídají rozložení vývodů. Ve středu nástavce je vakuová pipeta s přísavkou. Ta je pružinou přitlačována na povrch součástky. Při odpájení přiložíme tvarovaný nástavec k vývodům obvodu. Tím se roztaví cín na všech vývodech současně. Zapneme odsávání, pipeta ve středu nástavce fixuje obvod, který snadno sejmeme z povrchu desky. Vypnutím odsávání se současně uvolní i vyjmutý obvod. Pro trvalé nasazení v náročných provezech pak existují specializované horkovzdušné pájecí systémy, například od švýcarské firmy LEISTER.

Výrazně efektivnější alternativou k horkovzdušným pájecím systémům jsou tzv. přetavovací pece. Ty mohou být určeny jak pro jednotlivé desky, tak pro větší série průchozí s pásovým dopravníkem. K roztavení cínu dochází buď proudem horkého vzduchu (konvekční pece) nebo intenzivním infračerveným zářením (obdoba klasického teplometu), případně kombinací obou. Velké pájecí systémy mohou najednou kombinovat techniku pájení cínovou vlnou pro klasickou montáž s přetavením pro SMD součástky.

Základním problémem při manipulaci je identifikace součástek. Pokud jsou používány v prvovýrobě, zakládají se do osazovacích automatů v celých baleních (nejčastěji kotoučích),

která jsou již z výroby dostatečně dobře značena. Zcela jiná situace však nastane, dostane-li se nám do rukou například osazená deska, ke které nemáme žádnou dokumentaci a potřebujeme zjistit, co která součástka vlastně je. U nejběžnějších typů, jako jsou odpory, keramické (čipové) a elektrolytické kondenzátory, to ještě není tak zlé, protože systém značení a charakteristické provedení má určitý systém. To však již neplatí o polovodičových součástkách. Miniaturní rozměry vylučují potisk běžným označením, jak je známe například z diskretních polovodičových součástek. Proto výrobci označují typ součástky speciálním klíčem, který je většinou dvou nebo tříznakový (v ojedinělých případech i víceznakový). Tento klíč je však tvořen zcela nahodile, SMD součástky vyrábí řada výrobců, neexistuje v nich žádný systém. Pro identifikaci součástky potřebujeme znát převodní tabulky.

Kapitola 5

Základní součástky, vlastnosti, značení, měření, montáž

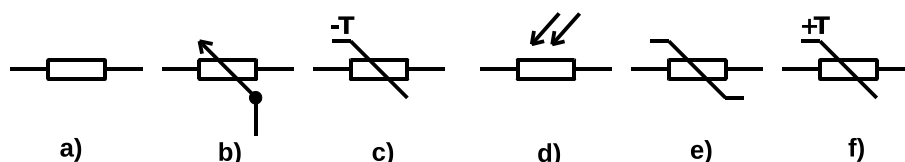
5.1 Rezistory

Základní vlastností těchto součástek je jejich elektrický odpor žádané velikosti.

5.1.1 Rozdělení podle konstrukčního provedení

- se dvěma vývody (pevné, nastavitelné, fotoodpory, teplotně závislé odpory)
- s více než dvěma vývody (rezistory s odbočkami, potenciometry a trimry, odporové sítě)

5.1.2 Schématické značky



Obrázek 5.1: Rezistor: a) obecně; b) potenciometr; c) negistor (odpor závislý na teplotě); d) fotoodpor; e) varistor; f) pozistor

5.1.3 Charakteristické vlastnosti

- a) Elektrický odpor – je základní vlastností rezistoru. Jeho velikost je dána vztahem (5.1)

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \left[\Omega; \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}, \text{m}, \text{mm}^2 \right] \quad (5.1)$$

Odpor je tedy přímo úměrně závislý na délce vodiče l a nepřímo úměrně na ploše vodiče S . V obvodu elektrického napětí klade procházejícímu proudu „odpor“ podle Ohmova zákona (5.2)

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega; V, A] \quad (5.2)$$

- b) Jmenovitý odpor – je výrobcem předpokládaný odpor součástky. Na součástce je vyznačen kódem tvořeným skupinou číslic a písmenem nebo barevnými proužky. Výrobce odpory vyrábí a třídí podle hodnot do vyvolených řad (E6, E12, E24. . .).

Jmenovité hodnoty v nejpoužívanější řadě E12 jsou:

1 – 1,2 – 1,5 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 – 8,2

- c) Tolerance jmenovitého odporu – udává o kolik procent se smí skutečná hodnota odporu lišit od jmenovité. Velikost tolerance souvisí s typovou řadou. Řada E6 má toleranci $\pm 20\%$, E12 má toleranci $\pm 10\%$, E24 má toleranci $\pm 5\%$.
- d) Dovolené zatížení – je to výkon, který se smí v rezistoru přeměnit na teplo bez nevratných změn funkce součástky. Vyjadřuje se ve wattech a jeho zlomcích ($1/8$ W u vrstevných uhlíkových rezistorů). Spočítá se ze vztahu (5.3)

$$P = U \cdot I \quad [W; V, A] \quad (5.3)$$

- e) Nejvyšší dovolené napětí – výrobce udává nejvyšší dovolené napětí mezi vývody součástky.
- f) Teplotní součinitel odporu – dovoluje určit změnu odporu rezistoru způsobenou změnou jeho teploty. U uhlíkových rezistorů je součinitel záporný, u kovových (metalizovaných, drátových) je kladný.
- g) Šumové napětí – má dvě hlavní složky tepelné šumové napětí a povrchové šumové napětí. Vyjadřuje velikost šumu, který rezistor přidává k užitečnému signálu v obvodu.

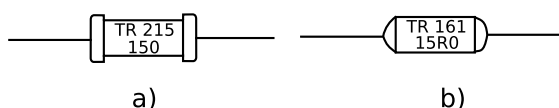
5.1.4 Rozdělení podle technologického provedení

- vrstevné (uhlíkové, metalizované)
- drátové
- speciální (SMD), řízené rezistory

Vrstevné rezistory

Jsou tvořeny keramickým nosným tělískem, které má obvykle tvar válce. Na jeho povrchu je nanášena odporová vrstva nejčastěji levná uhlíková nebo kvalitnější kovová. Pro odpory vyšších hodnot se do odporové vrstvy frézuje spirálová drážka.

Vývody rezistoru jsou tvořeny pocínovanými dráty, které jsou v podélném směru přivařeny na kovové čepičky nalisované na konce keramického tělíska. Povrch odporové vrstvy je chráněn lakem, smaltem nebo plastem.



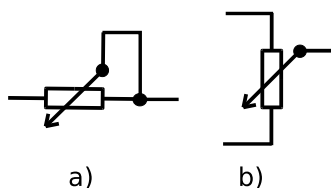
Obrázek 5.2: Provedení vrstevných rezistorů – a) čepičkové vývody; b) bezčepičkové vývody

Drátové rezistory

Jsou navinuty odporovým drátem na nosné tělísko tvaru válce nebo trubičky. Vývody jsou konstruovány podobně jako u vrstevných. Povrchové laky snášejí vyšší teploty. Jsou vyráběny pro vyšší dovolená zatížení.

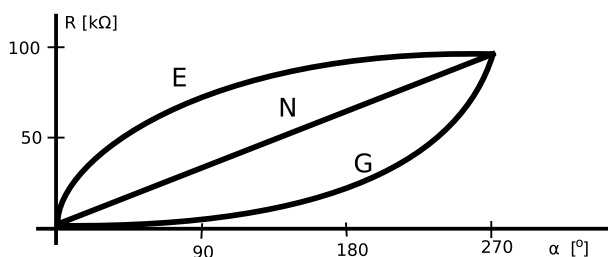
Proměnné rezistory – potenciometry a odporové trimry

Potenciometr se ovládá pomocí ovládacího knoflíku. Odporový trimr je proměnný rezistor nastavitelný pomocí nástroje. Proměnné rezistory mají obvykle tři vývody – začátek a konec odporové dráhy a vývod spojený s kontaktem pohybujícím se po odporové dráze. Pohyb kontaktu může být lineární (tahový potenciometr) nebo kruhový (otáčivý potenciometr). Zapojují se jako proměnný odpor nebo jako proměnný odporový dělič.



Obrázek 5.3: a) zapojení proměnného odporu (reostatu); b) proměnného odporového děliče (potenciometru)

Velikost odporu mezi pevným vývodem a pohyblivým kontaktem na úhlu natočení osy otáčivého potenciometru může být lineární (N), logaritmický (G), exponenciální (E) a speciální.



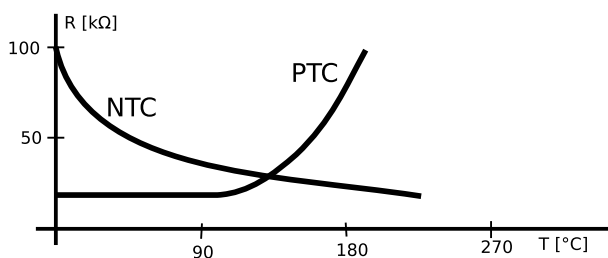
Obrázek 5.4: Graf závislosti odporu na úhlu natočení u potenciometrů

Odporovým materiálem bývá opět vrstva uhlíku, cermet nebo odporový drát. Životnost proměnných rezistorů je vzhledem k posouvání kontaktu po odporové dráze a jejímu opotřebování nižší než u pevných rezistorů.

Řízené rezistory

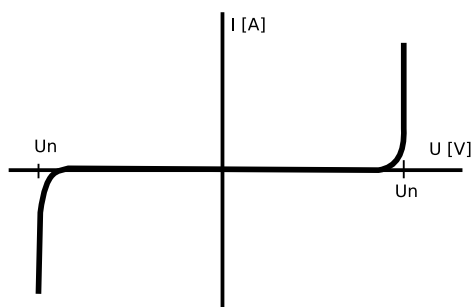
Jejich elektrický odpor není konstantní, ale závisí ve velké míře na další fyzikální veličině.

Termistor – rezistor, jehož odpor je velmi závislý na teplotě. Použití: měření teploty, teplotní stabilizace. *Pozistor (PTC)* – odpor s rostoucí teplotou také roste. *Negistor (NTC)* – odpor s rostoucí teplotou klesá.



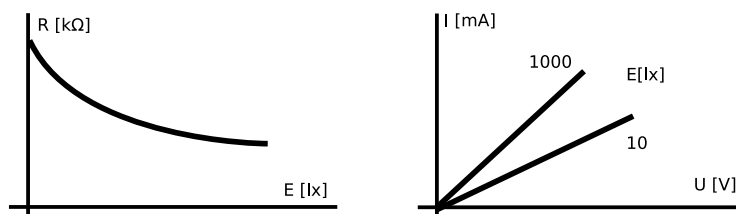
Obrázek 5.5: Graf závislosti odporu na teplotě u PTC a NTC termistorů

Varistor – rezistor, jehož odpor je závislý na přiloženém napětí. Po překročení určitého napětí prudce klesá odpor. Použití: přepěťová ochrana citlivých přístrojů



Obrázek 5.6: Voltampérová charakteristika varistoru

Fotorezistor – rezistor, jehož odpor je závislý na osvětlení. Použití: měření osvětlení a zapojení ovládané změnou osvětlení. Nehodí se pro optický přenos dat, protože mají velkou setrvačnost.



Obrázek 5.7: Graf závislosti odporu na osvětlení u fotorezistoru a jeho voltampérové charakteristiky

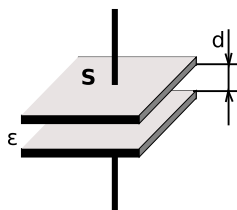
Dále se využívají rezistory s hodnotou odporu závislou na magnetickém poli (magnetorezistory), radiaci, mechanickém pnutí (tenzometry), vlhkosti, chemickém složení okolí, apod.

5.1.5 Měření rezistorů

V běžném provozu k měření velikosti odporu používáme univerzální měřicí přístroj. Při kontrole odporu rezistorů v zařízení je nutné odpojit jeden vývod. Při kontrole zařízení pod napětím obvykle měříme úbytek napětí na rezistoru a usuzujeme, zda je funkční (či není přerušen).

5.2 Kondenzátory

Základní vlastností těchto dvou pólových součástek je jejich kapacita žádané velikosti. Jsou v principu tvořeny dvěma vodivými elektrodami, které jsou navzájem odděleny dielektrikem.



Obrázek 5.8: Princip kondenzátoru

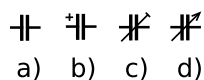
$$C = \epsilon \frac{S}{l} \quad [\text{F}; -, \text{m}^2, \text{m}] \quad (5.4)$$

$$Q = C \cdot U \quad [\text{C}; \text{F}, \text{V}] \quad (5.5)$$

5.2.1 Rozdělení podle konstrukčního provedení

- pevné
- s proměnnou kapacitou

5.2.2 Schématické značky



Obrázek 5.9: a) kondenzátor; b) elektrolytický kondenzátor; c) doladovací kondenzátor; d) ladící kondenzátor

5.2.3 Charakteristické vlastnosti

- a) jmenovitá kapacita – Je to výrobcem předpokládaná kapacita součástky. Na součástce je vyznačena kódem tvořeným skupinou číslic a písmenem nebo barevnými proužky, tečkami apod. Výrobce kondenzátory vyrábí a třídí podle hodnot do řad (E6, E12). Výjimku tvoří elektrolytické kondenzátory hliníkové některých výrobců s hodnotami v řadě 1 – 2 – 5 – 10...

- b) tolerance jmenovité kapacity – Udává, o kolik procent se smí skutečná hodnota kapacity lišit od jmenovité. Velikost tolerance souvisí s typovou řadou. Řada E6 má toleranci $\pm 20\%$, E12 má toleranci $\pm 10\%$. Tolerance elektrolytických kondenzátorů bývá větší a nesouměrná (-10 až $+80\%$).
- c) jmenovité napětí – Bývá uvedeno na součástkách ve voltech nebo barevným kódem. Pozor, ve střídavých obvodech je nutno dimenzovat na amplitudu příkládaného střídavého napětí.

5.2.4 Rozdělení podle typu dielektrika

- svitkové (papírové, styroflexové, terylénové, MP...)
- keramické
- elektrolytické
- jiné

5.2.5 Svitkové kondenzátory

Jsou tvořeny dvěma hliníkovými fóliemi oddělenými dielektrickým materiálem (papír, plastová folie...). Vrstvy jsou společně svinuty do balíčku a zapouzdřeny do plastu nebo kovového pouzdra.

5.2.6 Keramické kondenzátory

Dielektrikem je speciální keramika, na které jsou napařeny dvě kovové elektrody, ke kterým jsou přivařeny vývody. Provedení je tvarově různorodé – terčové, diskové, destičkové, polštářkové, trubičkové a průchodkové. Rozměrově jsou nejmenší, mají i nízká jmenovitá napětí.

5.2.7 Elektrolytické kondenzátory

Jako dielektrikum slouží velmi tenká vrstva oxidu hliníku nebo tantalu na povrchu kovové elektrody. Druhou elektrodou je tekutý nebo polosuchý elektrolyt. Na rozdíl od ostatních kondenzátorů elektrolytické vyžadují dodržování stanovené polaritě přiloženého stejnosměrného napětí. Polarita bývá vyjádřena graficky na pouzdru nebo nestejnou délkou vývodů.

5.2.8 Doladovací kondenzátorové trimry

Jsou tvořeny skleněnou nebo keramickou trubičkou na povrchu postříbřenou, do které se zašroubovává kovový píst tvořící druhou elektrodu. Typický rozsah kapacity je např. 0,8 až 5 pF, 1,5 až 15 pF. Fóliové se vyrábějí s kapacitou desítek až stovek pikofaradů.

5.2.9 Měření kondenzátorů

Pro měření kapacity se v praxi nejčastěji používají kvalitnější univerzální měřicí přístroje nebo jednoúčelové měřiče kapacity. U elektrolytických kondenzátorů se také často měří zbytkový proud, který prochází jejich elektrodami po připojení stejnosměrného napětí. Pro toto měření se využívají jednoúčelové měřiče zbytkového proudu. Je nutno zdůraznit, že zvýšený zbytkový

proud u nekvalitních elektrolytických kondenzátorů je častou příčinou poruch elektronických zařízení.

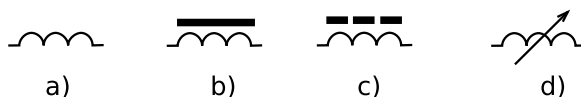
5.3 Cívky a tlumivky

Základní vlastností těchto součástek je jejich indukčnost žádané velikosti.

5.3.1 Rozdělení podle konstrukčního provedení

- *Vzduchové* – zpravidla samonosné nebo na nemagnetickém jádru
- *Se železným jádrem* – tlumivky nebo vícevývodové (transformátory)
- *S feritovým nebo práškovým jádrem* – zpravidla pro vf zařízení nebo spínané zdroje

5.3.2 Schématické značky



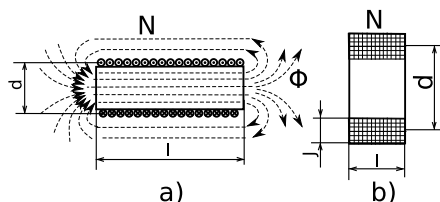
Obrázek 5.10: a) cívka (obecně); b) se železným jádrem; c) s feritovým jádrem; d) laditelná cívka

5.3.3 Charakteristické vlastnosti

- a) *Indukčnost* – je vlastnost materiálu. Je definovaná jako konstanta úměrnosti mezi velikostí procházejícího proudu a vybuzeným magnetickým polem. Stočením vodiče do závitů cívky se magnetické účinky elektrického proudu soustřeďují do menšího prostoru a indukčnost vzrůstá. Její velikost je dána vztahem 5.6.

$$L = \mu_0 \mu_r N^2 \frac{S}{l} \quad [\text{H}; \text{Hm}^{-1}, \text{m}^2, \text{m}] \quad (5.6)$$

- b) *Vlastnost jádra* – u vzduchových cívек, jednovrstvých i vícevrstvých, nelze přesně určit délku magnetického obvodu. Do vzorce pro výpočet indukčnosti se proto dosazuje za střední délku silové čáry pouze délka cívky a vliv zbývající části magnetického obvodu se udává konstantou, která se určí z rozměrů cívky.



Obrázek 5.11: Válcové cívky a) dlouhá; b) krátká

Pro jednovrstvé cívky vychází po dosazení za μ_0 a úpravě pro jednotky používané v praxi vztah 5.7.

$$L = 0,00987 \frac{D^2 N^2}{l} K \quad [\mu\text{H}; \text{cm}, \text{cm}] \quad (5.7)$$

Kde K je tzv. Nagaokova konstanta, která se nalezne v tabulkách v závislosti na průměru a délce cívky.

Pro výpočet vícevrstvých válcových cívek se používá Hakova vztahu (5.8).

$$L = N^2 DY \cdot 10^{-6} \quad [\text{mH}; \text{cm}] \quad (5.8)$$

Jejich velikost se pak vyhledává v grafu za použití dalších výpočtů. U cívek, jejichž magnetický obvod je zcela nebo částečně vytvořen z magnetického materiálu, vznikají kromě ztrát ve vinutí (ztrát v mědi) ještě ztráty v jádru, které se skládají ze ztrát hysterezích a ztrát vířivými proudy.

Ke zmenšení ztrát se cívky zhotovují s práškovými (železovými) nebo feritovými jádry. Takový materiál jader má lepší magnetickou vodivost než vzduch, a cívky mají tedy větší indukčnost při jinak stejných rozměrech.

U železových jader se snižují ztráty vířivými proudy tím, že se při jejich výrobě použije magnetického materiálu rozemletého na prášek, jehož drobná zrnka jsou vzájemně izolována. Železný prášek se slepuje polystyrenem nebo se lisuje s fenoplastem.

Feritová jádra se dělají ze směsi kysličníku železa a kysličníků dalších kovů (např. hořčíku, manganu, niklu, zinku nebo kobaltu). Hmota vzniká slinutím kysličníků (tzv. ferit), je feromagnetická, ačkoli žádná z výchozích složek taková není. Tím se liší ferity od práškových materiálů jader cívek. Feritová jádra mají relativní (poměrnou) permeabilitu 6 až 3 000, takže požadované indukčnosti se dosáhne s poměrně malým počtem závitů.

Indukčnost cívek s jádry v závislosti na počtu závitů se počítá pomocí vztahu 5.9

$$N = k\sqrt{L} \quad [-; -, \text{H}] \quad (5.9)$$

Konstanta k závisí na materiálu a tvaru použitého jádra. Její velikost se pohybuje v rozmezí 0,1 až 10.

Železné jádro se používá u cívek, u kterých se požaduje větší indukčnost a větší výkonová zatížitelnost. Magnetický obvod je složen z transformátorových plechů. Takto se vyrábějí tlumivky a transformátory.

5.3.4 Tlumivky

Indukčnost tlumivky je závislá na permeabilitě magnetického obvodu a ta se mění s magnetickou indukcí. Proto i voltampérová charakteristika přechází v nelineární průběh blízký tvaru magnetizační křivky.

Charakteristika tlumivky se může částečně linearizovat vzduchovou mezerou. Magnetický obvod se potom skládá ze sériově zapojeného obvodu v železe délky l_{Fe} a vzduchové mezery l_V . Magnetický odpor obvodu je dán vztahem 5.10.

$$R_m = \frac{1}{\mu_0} \frac{l_V}{S} + \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \frac{l_{Fe}}{S} = \frac{1}{\mu_0 S} \left(l_v + \frac{l_{Fe}}{\mu_r} \right) \quad (5.10)$$

Poněvadž relativní permeabilita transformátorových plechů je značně velká, řádově 10^3 , lze při výpočtu tlumivky zanedbat délku obvodu v železe a počítat magnetický odpor pouze ze vztahu 5.11.

$$R_m = \frac{l_v}{\mu_0 S} \quad [\text{H}^{-1}; \text{m}, \text{Hm}^{-2}, \text{m}^2] \quad (5.11)$$

Při návrhu tlumivky se obvykle vychází z požadovaného napětí U_L a proudu I_L . Přibližný výpočet dovoluje zanedbat činný odpor vinutí a počítat reaktanci tlumivky z výrazu 5.12.

$$X_L = \frac{U_L}{I_L} \quad L = \frac{U_L}{\omega I_L} \quad (5.12)$$

Na základě zjištěné indukčnosti se zvolí typ plechů, výška jádra a velikost vzduchové mezery. Zanedbá-li se odpor feromagnetické části obvodu, dostáváme pro počet závitů vztah 5.13.

$$N^2 = LR_\omega = L \frac{l_v}{\mu_0 S} \quad (5.13)$$

Pro kontrolu magnetických poměrů tlumivky lze použít vztahu 5.14.

$$U_L = 4,44NBSf \quad [\text{V}; \text{Wb}, \text{m}^2, \text{Hz}] \quad (5.14)$$

Za magnetickou indukci se dosazuje mezní hodnota 1 T . Vychází-li napětí větší než požadované, tlumivka vyhovuje. Průměr vodiče se volí na základě předpokládané proudové hustoty 2 až 3 Amm^{-2} . Větší průřez vodiče zajišťuje jeho menší oteplení. V běžných případech se volí proudová hustota $2,5 \text{ Amm}^{-2}$ a odpovídající průměr drátu se pak vypočítá ze vztahu 5.15.

$$D = \sqrt{\frac{I}{2}} \quad [\text{mm}; \text{A}] \quad (5.15)$$

Dále se kontroluje plnění okénka pro zvolený vodič. Zjistí se počet závitů p připadající na plochu 1 cm^2 a vypočítá se celková plocha zabraná vinutím. Počet závitů p na 1 cm^2 plochy okénka se nalezne v tabulkách normalizovaných průměrů drátů. Pro plochu okénka pak musí vycházet nerovnost 5.16.

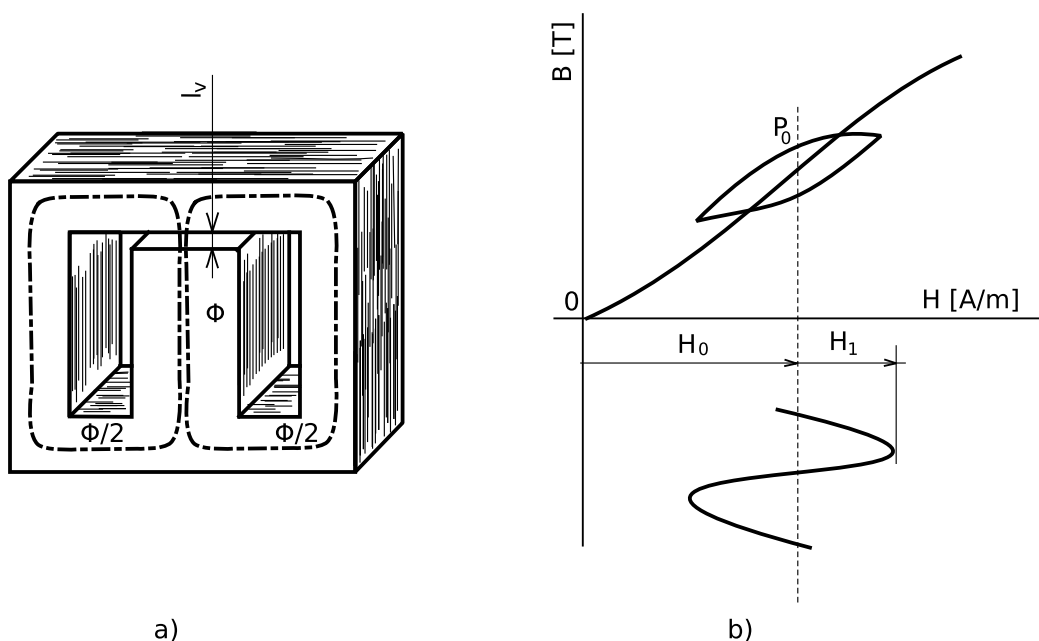
$$S \leq \frac{N}{P} \quad [\text{cm}^2; \text{cm}^2] \quad (5.16)$$

5.3.5 Se vzduchovou mezerou s přemagnetovaným stejnosměrným proudem

U tlumivek, které jsou současně magnetizovány stejnosměrným i střídavým proudem, určuje stejnosměrná složka intenzitu H_{ss} a pracovní bod P_0 , kdežto střídavá složka H_{st} průběh hysterezi smyčky, která probíhá kolem pracovního bodu. Výpočet tlumivky se stejnosměrným přemagnetováním se obvykle řeší pomocí Hannova diagramu.

5.4 Transformátory

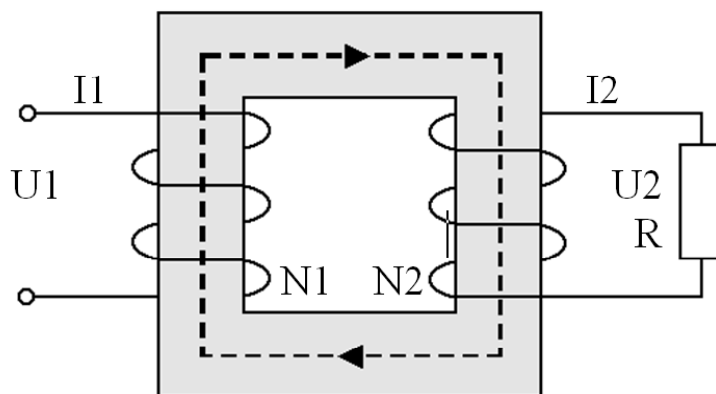
Transformátor je elektrický netočivý stroj, který pomocí elektromagnetické indukce mění elektrické napětí a proud při nezměněném kmitočtu.



Obrázek 5.12: a) magnetický obvod tlumivky; b) magnetizační křivka tlumivky

5.4.1 Princip transformátoru

Po připojení vstupního vinutí na střídavé napětí začne vstupním vinutím protékat střídavý elektrický proud, který vytvoří střídavé magnetické pole. Magnetickým obvodem prochází střídavý magnetický tok a protíná vodiče výstupního vinutí. Ve vodičích výstupní cívky se indukuje střídavé elektrické napětí a po připojení zátěže začne výstupním vinutím protékat elektrický proud.

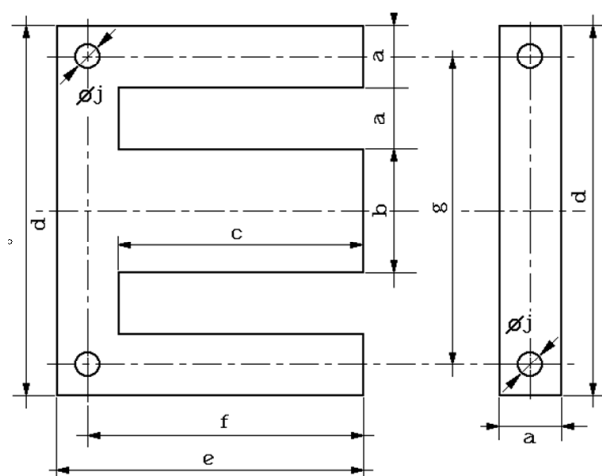


Obrázek 5.13: Princip transformátoru

U_1 – vstupní primární napětí; U_2 – výstupní sekundární napětí; I_1 – vstupní primární proud; I_2 – výstupní sekundární proud; Φ – magnetický tok; N_1 – počet vstupních primárních závitů; N_2 – počet výstupních sekundárních závitů; R – zatěžovací odpor;

5.4.2 Hlavní části transformátoru

- Magnetický obvod – ocelokřemíkové plechy, vzájemně izolované, případně ferit
- Cívky vinutí – vinuty izolovaným měděným vodičem na kostřičce z izolačního materiálu
- Stahovací konstrukce
- Svorkovnice
- Štítek s označením údajů



Obrázek 5.14: Transformátorové plechy EI

Tabulka 5.1: Rozměry plechů EI (v mm)

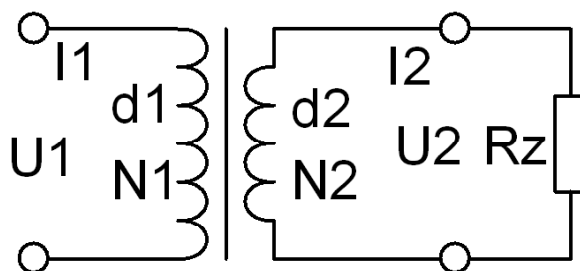
Typ plechu	a	b	c	d	e	f	g	j
E10	5	10	15	30	20	–	–	–
E12	6,5	12	19	38	25,5	–	–	–
E16	8	16	24	48	32	–	–	–
E20	10	20	30	60	40	35	50	4,0
E25	12,5	25	37,5	75	50	43,8	62,5	4,0
E32	16	32	48	96	64	56	80	5,0
E40	20	40	60	120	80	70	100	7,0
E50	25	50	75	150	100	87,5	125	9,0
E64	32	64	96	192	128	112	160	11,0

Rozměry v mm

5.4.3 Výpočet síťového transformátoru

Zadané hodnoty

- Vstupní, primární napětí: $U_1 = 230 \text{ V}$
- Výstupní, sekundární napětí: $U_2 = 24 \text{ V}$
- Výstupní, sekundární, zatěžovací proud: $I_2 = 5 \text{ A}$



Obrázek 5.15: Schéma transformátoru

Hodnoty potřebné k výrobě transformátorku

- Druh a velikost transformátorových plechů
- Počet vstupních, primárních závitů N_1
- Počet výstupních, sekundárních závitů N_2
- Průměr vodiče vstupního, primárního vinutí d_1
- Průměr vodiče výstupního, sekundárního vinutí d_2

Výkon transformátorku

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}]$$

$$P_2 = 24 \cdot 5 = 120 \text{ VA}$$

Příkon transformátorku

$$P_1 = (1,1 \div 1,3)P_2$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} \quad [\text{mm}; \text{mm}^2]$$

$$P_1 = 1,2 \cdot 120 = 144 \text{ VA}$$

Čistý průřez železného jádra

$$S_{Fe} = (0,8 \div 1,1) \cdot \sqrt{P_2} \quad [\text{cm}^2; \text{VA}]$$

$$S_{Fe} = 1 \cdot \sqrt{120} = 10,95 \text{ cm}^2$$

Skutečný průřez železného jádra s izolací mezi plechy

$$S = \frac{S_{Fe}}{0,9} \quad [\text{cm}^2; \text{cm}^2]$$

$$S = \frac{10,95}{0,9} = 12,16 \text{ cm}^2$$

Výška jádra a počet plechů

- Volíme transformátorové plechy tak, aby průřez jádra byl přibližně čtvercový
- Pomocný výpočet

$$a = \sqrt{S} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2]$$

$$a = \sqrt{12,13} = 3,49 \text{ cm}$$

Můžeme zvolit plechy E32 nebo E40. Je lepší volit plechy větší, u kterých bude více místa v okénku pro vinutí.

$$v = \frac{S}{b} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2, \text{cm}]$$

$$v = \frac{12,16}{4} \cong 30 \text{ mm}$$

kde b je šířka středního sloupku skutečně vybraného plechu

Počet plechů

$$pp = \frac{v}{t} \quad [-; \text{mm}, \text{mm}]$$

$$pp = \frac{30}{0,5} = 60 \text{ kusů}$$

(t – tloušťka plechu v – sloupek)

Počet závitů na napětí 1 V

$$N_{1V} = \frac{45}{S_{Fe}} \quad [-; -, \text{cm}^2]$$

$$N_{1V} = \frac{45}{10,95} \cong 4,11 \text{ závitů}$$

Počet závitů Konstanta k upravuje počet závitů s ohledem na úbytek napětí. Stanoví se podle velikosti transformátoru (viz tabulka 5.2).

Tabulka 5.2: Konstanta k

P2	do 50 VA	50 až 100 VA	100 až 300 VA	300 až 1000 VA
k	1,1	1,08	1,07	1,05

$$N_1 = N_{1V} \cdot U_1 \quad [-; -, \text{V}]$$

$$N_1 = 4,11 \cdot 230 \cong 945 \text{ závitů}$$

$$N_2 = N_{1V} \cdot U_2 \cdot k \quad [-; -, \text{V}, -]$$

$$N_2 = 4,11 \cdot 24 \cdot 1,08 = 107 \text{ závitů}$$

Určení průřezu vodičů vinutí Volíme proudovou hustotu mezi 2 až 3 Amm^{-2} (u malých transformátorů až dvojnásobnou)

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} \quad [\text{A}; \text{VA}, \text{V}]$$

$$I_1 = \frac{144}{230} = 0,626 \text{ A}$$

$$S_1 = \frac{I_1}{\rho} \quad [\text{mm}^2; \text{A}, \text{Amm}^{-2}]$$

$$S_1 = \frac{0,626}{2,5} = 0,25 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{I_2}{\rho} \quad [\text{mm}^2; \text{A}, \text{Amm}^{-2}]$$

$$S_2 = \frac{5}{2,5} = 2 \text{ mm}^2$$

Určení průměru vodičů Rozměry vodičů pro vinutí se udávají v průměru vodiče bez izolace.

Rozměr určíme výpočtem nebo podle tabulek.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} \quad [\text{mm}; \text{mm}^2]$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,25}{3,14}} = 0,5642$$

z tabulek volíme 0,56 mm

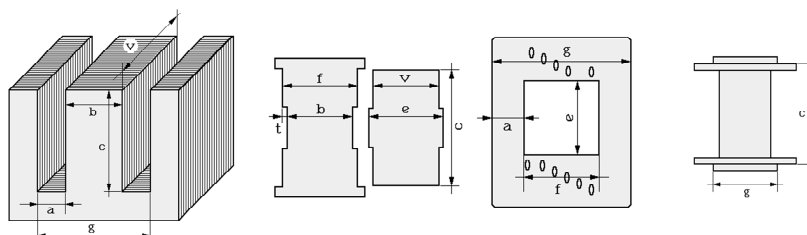
$$d_2 = \sqrt{\frac{4S_2}{\pi}} \quad [\text{mm}; \text{mm}^2]$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2}{3,14}} = 1,5957$$

z tabulek volíme 1,6 mm

Tento zjednodušený výpočet transformátorky lze použít pro síťové transformátorky do výkonu 1000 VA. Výpočtem lze ověřit proveditelnost vinutí s ohledem na kontrolu plnění plochy okénka cívky transformátoru.

Návrh na výrobu kostřičky Návrh obsahuje základní rozměry nutné pro výrobu kostřičky. Rozměry b , v , e , f mohou mít plusovou toleranci, rozměry c , g mohou mít toleranci minusovou. Toleranci a ostatní rozměry volíme podle velikosti transformátorky. Tloušťka materiálu je dána rozměrem t .



Obrázek 5.16: Kostřička pro plechy EI

5.4.4 Měření na transformátorech

Měření činného odporu vinutí Měří se odpor jednotlivých vinutí. Nemá se lišit od požadovaných parametrů $\pm 1\%$. Obecně odpor závisí na délce, průřezu a materiálu vinutí.

U síťových transformátorků má vinutí pro vyšší napětí, většinou vstupní, odpor větší. Vinutí nižšího napětí, většinou výstupní, má odpor menší. U větších transformátorků na menší napětí bývá odpor výstupního vinutí velmi malý.

V praxi dochází buď k přerušení vinutí, odpor je nekonečně velký, nebo ke zkratu, kdy je odpor nulový.

K měření používáme multimetr, ohmetr.

Měření izolačního odporu Měří se odpor základní nebo přídavné izolace mezi vstupním a výstupním vinutím, mezi kostrou a vinutími. Odpor nesmí být menší než $2\text{ M}\Omega$. Zesílená izolace vinutí proti sobě a vinutí proti kostře Odpor zesílené izolace se měří mezi vstupním a výstupním vinutím, mezi kostrou a vinutími. Odpor nesmí být menší než $5\text{ M}\Omega$. Měří se po dobu jedné minuty napětím 500 V . Zesílená izolace vinutí proti sobě a vinutí proti kostře

Použitý přístroj: megmet

Zkouška elektrické pevnosti přiloženým vysokým napětím Transformátor vyhovuje, když nenastane přeskok ani průraz. Doutnavé výboje, sršení a trsové výboje se nepovažují za závadu, když zůstane po zkoušce izolace neporušená a nepoklesne zkušební napětí.

Použité přístroje: zdroj zkušebního napětí, Audiomat Zkouší se přiloženým vysokým napětím po dobu jedné minuty.

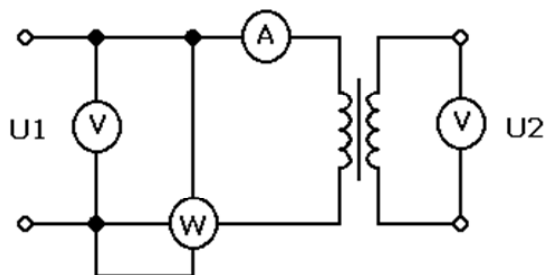
Tabulka 5.3: Zkušební napětí

Místo přiložení napětí	Zkušební napětí při pracovním napětí [V]					
Základní a přídavná izolace vinutí proti sobě	250	1000	1750	2100	2500	2750
Zesílená izolace vinutí proti sobě a vinutí proti kostře	500	2000	3500	4200	5000	5500

Měření napětí naprázdno Výstupní napětí nesmí překročit 1000 V . Rozdíl mezi výstupním napětím naprázdno v procentech a jmenovitým výstupním napětím při jmenovitém zatížení, při jmenovitém vstupním napětím a jmenovitém kmitočtu nesmí překročit hodnoty v tabulce 5.4.

Tabulka 5.4: Zkušební napětí

Jmenovitý výkon transformátoru [VA]	Rozdíl [%]
do 63 včetně	20
nad 63 do 250 včetně	15
nad 250 do 630 včetně	10
nad 630	5



Obrázek 5.17: Měření naprázdno

Měření proudu naprázdno Měření proudu naprázdno se provádí při jmenovitém vstupním napětí a jmenovitém kmitočtu. Proud transformátoru naprázdno nesmí překročit hodnoty na štítku nebo v provozní dokumentaci. Měřená hodnota vstupního proudu naprázdno se může porovnat se jmenovitou hodnotou vstupního proudu při zatížení.

Tabulka 5.5: Proud naprázdno

Výkon transformátoru [VA]	Hodnota proudu naprázdno [%]
do 50	80
do 160	50
nad 160	25

Měření naprázdno lze zjistit ztráty v magnetickém obvodu – tzv. ztráty v železe.

5.4.5 Toroidní transformátory

Výhody toroidních transformátorů ve srovnání s klasickým transformátorem

Zmenšený objem Zmenšení objemu toroidního transformátoru proti klasickému se pohybuje přibližně o 40 % až 60 %. Toto zmenšení objemu je do určité míry závislé na provedení transformátoru a na způsobu montáže.

Snížená hmotnost Úspora materiálu se pohybuje kolem 35% až 50% a závisí na způsobu montáže. Toroidní (prstencové) jádro má ideální tvar pro zhotovení transformátoru s minimálním množstvím materiálu. Všechna vinutí jsou rovnoměrně rozprostřena po celém obvodu jádra, což činí velmi krátkou délku vinutí. To vede k nízkému odporu vinutí a k vyšší účinnosti. Je možná vyšší magnetická indukce, jelikož magnetický tok prochází ve stejném směru, v jakém je orientována křemíková ocel jádra při válcování. Lze použít vyšší proudové hustoty ve vodičích, jelikož celý povrch toroidního transformátoru umožňuje účinné chlazení měděných vodičů. Ztráty v železe jsou velice nízké – typická hodnota je 1,1 W při indukci 1,7 T a frekvenci 50 (60) Hz. To dává velmi nízký magnetizační proud, který přispívá k vynikající tepelné zatížitelnosti toroidního transformátoru. Plechy bez vzduchové mezery ve směru

magnetického toku vytváří dobré podmínky pro magnetický tok a nízký magnetizační proud (na rozdíl od skládaných EI plechů klasických transformátorů).

Za nevýhodu lze považovat velký nárazový proud (způsobený remanencí) při zapnutí (jeho velikost závisí na okamžiku zapnutí). Velikost proudu se nejčastěji pohybuje okolo 30–40 násobku jmenovitého primárního proudu. Eliminovat velký nárazový proud lze omezovačem proudových nárazů.

Vyšší účinnost Toroidní transformátory jsou vyráběny z jakostních materiálů, což umožňuje dosáhnout úspor přibližně 50 % ve srovnání s konvenčními transformátory se skládanými jádry.

Úspory energie Úspory dosahují až 86 % při chodu naprázdno a 36 % při zatížení ve srovnání s klasickým transformátorem. Uvědomíme-li si, že pořizovací cena transformátoru je důležitá, není to v žádném případě všechno. Mezinárodně zaměřený pohled na fakt, že energetická produkce má vliv na životní prostředí, vedl k pokračování ve zvyšování cen energie. Použití toroidních transformátorů namísto konvenčních transformátorů s jádry skládanými z jednotlivých plechů poskytuje významné úspory energie. Obvykle se pořizovací náklady toroidních transformátorů zaplatí úsporami energie při jejich provozu během dvou až tří let (záleží na ceně elektrické energie v místě spotřebitele, výkonu transformátoru a ceny transformátoru vzhledem k velikosti série).

Snadná montáž do zařízení

- pomocí plechového kotouče a dvou neoprénových kotoučů
- zalitý střed s průchozím otvorem
- zalitý střed s mosaznou vložkou
- montáž na lištu DIN 35
- pro plošné spoje

Snížená hlučnost Díky kruhové konstrukci jader a neexistující vzduchové mezeře nedochází k vibracím, které by mohly způsobovat hluk.

Malý rozptyl magnetického pole Tvar jádra toroidu bez vzduchových mezer a se symetrickým měděným vinutím vytváří extrémně nízkou úroveň rozptylu magnetického pole, běžně osmkrát nižšího než u konvenčních transformátorů.

Tabulky 5.6 a 5.7 porovnává objem klasických a toroidních transformátorů.

Pro bezpečný provoz transformátoru se používá jako prvek jištění

- tepelný spínač vratný
- tepelná pojistka tavná
- kombinace proudové pojistky a tepelného spínače (do 200 VA)

Tabulka 5.6: Porovnání transformátorů

Klasický transformátor		Toroidní transformátor		
výkon [VA]	objem [cm ³]	objem [cm ³]	úspora [cm ³]	úspora [%]
75	628	288	340	54,1
100	727	381	346	47,6
130	866	424	442	51,0
160	954	516	438	45,9
200	1086	580	506	46,6
250	1361	670	691	50,8
320	1555	821	734	47,2
400	1801	986	815	45,3
500	2268	1094	1174	51,8
630	2574	1372	1202	46,7
800	3081	1714	1367	44,4
1000	5520	1843	3677	66,6
1500	6598	2227	4371	66,2
2000	7735	3503	4232	54,7
2500	10800	4413	6387	59,1
3000	11700	5733	5967	51,0
4000	12300	6903	5397	43,9

Tabulka 5.7: Porovnání transformátorů

Výkon [VA]	ztráty naprázdno				ztráty při zatížení			
	klasický transformátor	toroidní transformátor			klasický transformátor	toroidní transformátor		
	ztráty [W]	ztráty [W]	úspora [W]	úspora [%]	ztráty [W]	ztráty [W]	úspora [W]	úspora [%]
63	4,8	0,8	4,0	86,3	9,5	6,4	3,1	32,6
100	6,0	1,0	5,0	83,3	13,0	10,7	2,3	17,7
160	7,5	1,6	5,9	78,7	17,6	14,1	3,5	19,9
250	11,0	2,6	8,4	76,4	25,0	19,3	5,7	22,8
400	18,0	5,1	12,9	71,7	32,0	25,7	6,3	19,7
630	24,0	6,9	17,1	71,3	37,8	34,0	3,8	10,1
1000	27,0	10,6	16,4	60,7	53,0	39,1	13,9	26,2
1600	38,0	16,3	21,7	57,1	76,8	55,1	21,7	28,3
2500	49,0	26,0	23,0	46,9	100,0	70,7	29,3	29,3
4000	70,0	39,5	30,5	43,6	140,0	90,0	50,0	35,7

Provedení vývodů

- měděný vodič v izolační trubičce třídy F
- měděná lanka izolovaná (90, 105, 155 °C)

Speciální transformátory mohou být opatřeny stíněním

- pásem měděné folie po obvodu transformátoru
- mezi primárním a sekundárním vinutím – měděná páska stíní vinutí (žluto-zelený ochranný vývod PE)

Montáž transformátoru

- pomocí plechové příruby a dvou neoprénových kotoučů
- zalitého středu s průchozím otvorem
- zalitého středu s mosaznou nebo silonovou vložkou a průchozím otvorem
- zalitého středu s mosaznou vložkou a metrickým závitem

Tabulka 5.8: Toroidní transformátory bezpečnostní, technické parametry

Napětí primární	115V až 400V
Napětí sekundární	6,9,12,15,18,24,27,36,42,48V
Kmitočet	50 / 60 Hz
Izolační pevnost	4 kV
Třída izolace	E
Provozní teplota okolí	40 °C max.
Druh provozu	S1 trvalý
Vývody primární	lanko délky 20 cm
Vývody sekundární	lanko délky 20 cm
Krytí	IP 00, IP 54
Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka

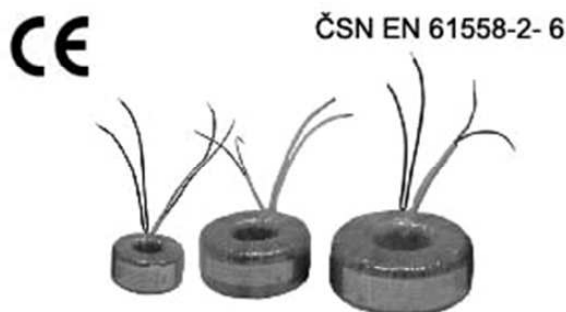
Použití toroidních transformátorů

Toroidní transformátory bezpečnostní Transformátory jsou určeny pro oddělení spotřebiče s bezpečným napětím od napájecí sítě. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž.

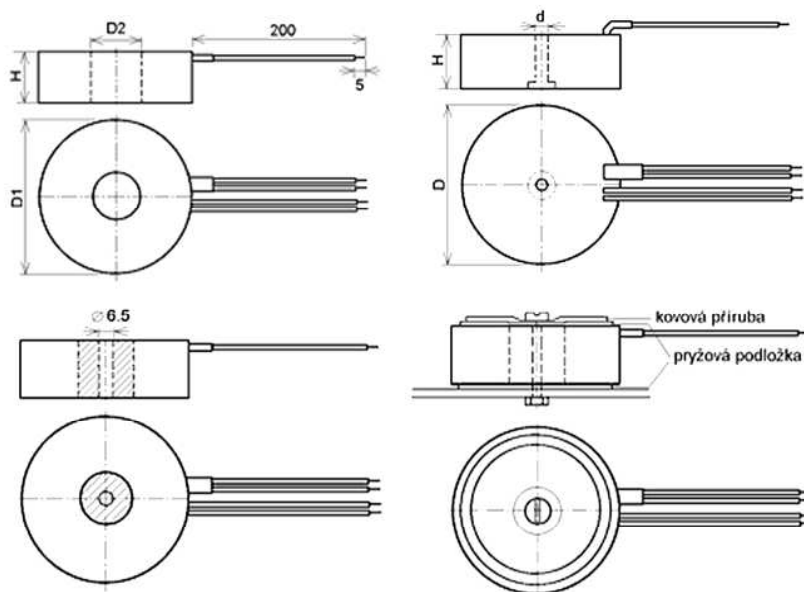
Výkonová řada obsahuje typy od 20 VA do 500 VA. Transformátory mohou být proti přetížení jištěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce. Provedení transformátorů může být přizpůsobeno montáži do různého prostředí.

Tabulka 5.9: Toroidní transformátory bezpečnostní, technické parametry

Typ transformátoru	P	D1	D2	H	G
	VA	mm	mm	mm	kg
RTB 20 - T - P / N x S	20	59	20	33	0.34
RTB 36 - T - P / N x S	36	70	26	34	0.45
RTB 50 - T - P / N x S	50	76	25	36	0.70
RTB 75 - T - P / N x S	75	88	33	36	0.90
RTB 100 - T - P / N x S	100	95	32	42	1.20
RTB 120 - T - P / N x S	120	97	32	44	1.35
RTB 160 - T - P / N x S	160	102	32	46	1.60
RTB 200 - T - P / N x S	200	111	38	49	2.00
RTB 250 - T - P / N x S	250	122	38	56	2.40
RTB 300 - T - P / N x S	300	122	41	64	2.85
RTB 400 - T - P / N x S	400	136	45	65	3.60
RTB 500 - T - P / N x S	500	140	45	70	4.50



Obrázek 5.18: Toroidní transformátory bezpečnostní



Obrázek 5.19: Výkony transformátorů a jejich rozměry

Toroidní transformátory oddělovací Transformátory jsou určeny pro oddělení spotřebiče od napájecí sítě. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž.

Výkonová řada obsahuje typy od 20 VA do 3000 VA. Transformátory mohou být proti přetížení jistěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce. Provedení transformátorů může být přizpůsobeno montáži do různého prostředí.

Střed transformátoru je vyplněn polyuretanovou pryskyřicí, do které je vyvrtán otvor.



Obrázek 5.20: Toroidní transformátory oddělovací

Toroidní transformátory pro halogenová svítidla Transformátory jsou určeny pro napájení halogenových svítidel s jmenovitým napětím 12 V ze sítě o napětí 230 V, 50 (60) Hz. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž.

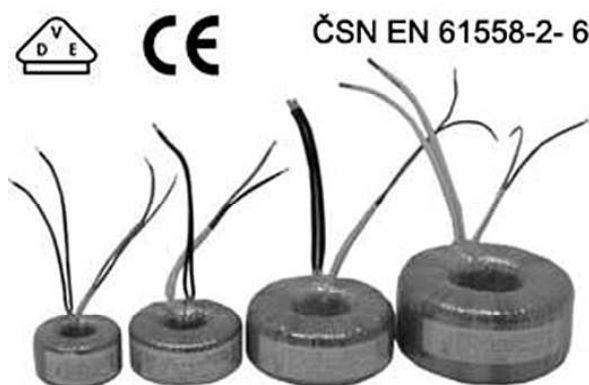
Výkonová řada obsahuje typy od 20 VA do 400 VA.

Tabulka 5.10: Toroidní transformátory pro halogenová svítidla, technické parametry

Napětí primární	230 V
Napětí sekundární	11,5 V
Kmitočet	50 / 60 Hz
Izolační pevnost	4 kV
Třída izolace	B
Provozní teplota okolí	60 °C max.
Druh provozu	S1 trvalý
Vývody primární	lanko délky 20 cm
Vývody sekundární	lanko délky 20 cm
Krytí	IP 00
Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka

Transformátory jsou proti přetížení jistěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce. Provedení transformátorů může být přizpůsobeno montáži do různého prostředí.

Střed transformátoru je vyplněn polyuretanovou pryskyřicí, do které je vyvrtán otvor.



Obrázek 5.21: Toroidní transformátory pro halogenová svítidla

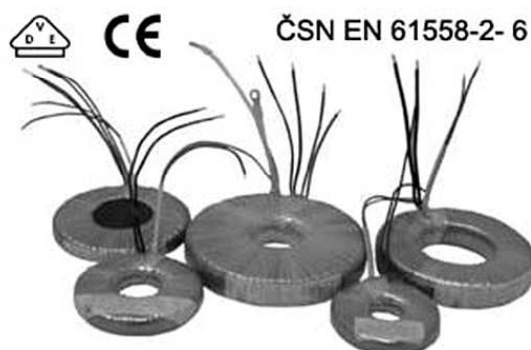
Toroidní transformátory ploché Transformátory jsou určeny pro napájení halogenových svítidel s jmenovitým napětím 12 V ze sítě o 230 V, 50 (60) Hz. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž. Výška transformátorů je snížena pro montáž do nízkých prostorů.

Výkonová řada obsahuje typy od 20 VA do 200 VA. Transformátory jsou proti přetížení jistěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce.

Střed transformátoru je vyplněn polyuretanovou pryskyřicí, do které je vyvrtán otvor.

Tabulka 5.11: Toroidní transformátory ploché, technické parametry

Napětí primární	230 V
Napětí sekundární	11,5 V
Kmitočet	50 / 60 Hz
Izolační pevnost	4 kV
Třída izolace	B
Provozní teplota okolí	60 °C max.
Druh provozu	S1 trvalý
Vývody primární	lanko délky 20 cm
Vývody sekundární	lanko délky 20 cm
Krytí	IP 00, IP 54
Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka



Obrázek 5.22: Toroidní transformátory ploché

5.5 Akumulátory a baterie

Základní vlastností těchto součástek je jejich schopnost dodávat elektrickou energii do obvodů.

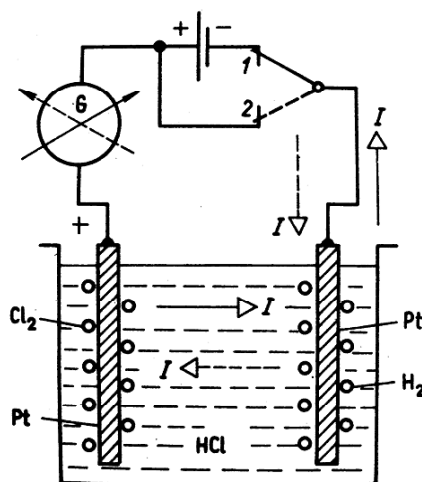
Rozdělení podle konstrukčního provedení

- Primární články – baterie
- Sekundární články – akumulátory

Mezi primární řadíme všechny typy baterií (galvanický článek – např. Voltův článek, suchý Leclancheův článek, alkalický článek), které po vydání energie již nejsou schopny dalšího provozování.

Mezi sekundární řadíme všechny akumulátory (olověný akumulátor, stříbro-zinkový akumulátor, alkalický akumulátor, niklo-kadmiový – NiCd akumulátor, metal-hybridový – NiMH akumulátor, lithium-iontový – Li-Ion akumulátor a lithium-polymerový – Li-Pol akumulátor), u kterých se dá několikanásobně energie doplnit a akumulátor dále používat. Sekundární články umožňují shromažďování elektrické energie na základě chemické přeměny. U akumulátorů volíme elektrody a elektrolyt, aby přiváděný elektrický proud způsobil co největší chemickou změnu, abychom pak mohli odebrat co nejvíce elektrické energie.

U galvanických článků i akumulátorů má velký význam jev, kterému říkáme polarizace. Ponoříme-li např. do kyseliny solné (HCl) dvě platinové elektrody, do kterých přivádíme proud, nenastane rozklad, pokud je připojené napětí menší než 1,36 V. Překročíme-li toto napětí, začne probíhat elektrolyza a kyselina se rozkládá na vodík (H₂) na katodě a chlór (Cl)



Obrázek 5.23: Princip článku

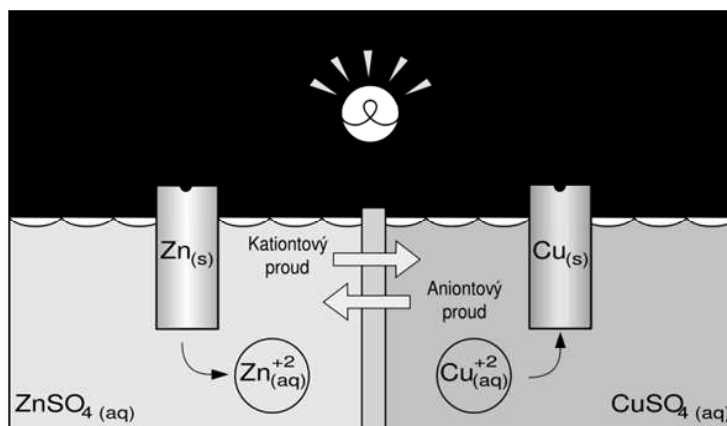
na anodě. Nejmenší napětí, které musí být na elektrodách, aby nastal rozklad elektrolytu, se nazývá rozkladné napětí. Při tomto rozkladu vznikají na anodě bublinky chlórů a na katodě bublinky vodíku; vytváří se tak vlastně póly článku, jehož elektrické napětí působí proti přiváděnému napětí. Je to tzv. polarizační napětí. Připojíme-li místo zdroje galvanometr, ukáže nám výchylku na opačnou stranu, než byl směr původně přiváděného proudu. Tento jev se nazývá galvanická polarizace.

V praxi často vzniká tzv. místní galvanický článek (a proud) všude tam, kde se nedokonale stýkají dva kovy za vlhka a v přítomnosti nečistot. Kov, který je v elektrochemické řadě potenciálu zápornější, se rozrušuje (rozpouští), nastává elektrochemická koroze. Např. při styku hliníku s mědí koroduje hliník, při styku železa s mědí koroduje železo. Při dokonalém hutnickém spojení (např. svařením) dvou různých kovů koroze nenastává. Příkladem jsou tzv. cupalové svorky (podložky) vyrobené spojením hliníku a mědi, kde je pak možné připojit hliníkový vodič pod hliníkovou stranu podložky a měděný vodič pod měděnou stranu podložky. Ke stahování hliníkových částí svorek používáme dobře pozinkované ocelové šrouby, protože napětí mezi hliníkem a zinkem je nejmenší.

Každý typ článku má své charakteristické napětí, např. suchý článek 1,5 V, NiCd 1,2 V, Li-Ion 3,7 V, olověný akumulátor 2,0 V. Chceme-li vytvořit vyšší napětí pro napájení, musíme články spojit do série (tím se jejich napětí sečtou). Např. v automobilové baterii je šest článků., jejich výsledné napětí je požadovaných 12 V.

5.5.1 Elektromotorické napětí galvanického článku

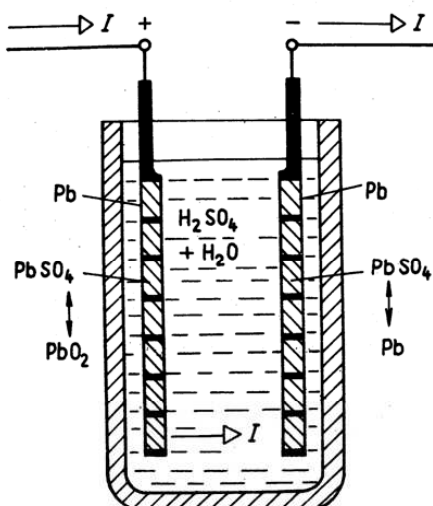
Elektromotorické napětí na galvanickém článku vzniká z rozdílu potenciálů na elektrodách, elektrické potenciály jsou důsledkem chemických reakcí mezi elektrodami a elektrolytem. Tyto reakce mohou být samovolné nebo vyvolané průchodem elektrického proudu (elektrolýzou).



Obrázek 5.24: Elektromotorické napětí

5.5.2 Olověný akumulátor

Skládá se ze dvou olověných mřížek ponořených do zředěné kyseliny sírové v nádobě ze skla nebo z tmavé pryže. Olověné mřížky jsou vyplněné pastou z olova a síranu olovnatého, PbSO_4 . Přivádíme-li proud, elektrolyt se rozkládá na kationty 2H^+ a aniont SO_4^- , které se po odezdání elektrického náboje usazují na elektrodách. Akumulátor se nabíjí tak dlouho, až začnou vystupovat bublinky, což znamená, že všechny síran olovnatý se přeměnil a proudem se začíná rozkládat okyselená voda (akumulátor tzv. vaří). Odpojíme-li akumulátor od nabíjecího zdroje, mají rozložené částičky elektrolytu a elektrod snahu se sloučit, a tato tendence je pro akumulátor elektromotorickým napětím. Připojíme-li ke svorkám elektrod rezistor, bude jím procházet proud. Směr proudu je však v elektrolytu i ve vnější části opačný, než při nabíjení.



Obrázek 5.25: Olověný akumulátor

Pár základních hesel

- *Kapacita baterie* – Kapacita baterie vlastně uvádí, jak dlouho každá baterie vydrží za chodu. Kapacita je uváděná v jednotkách miliampérhodin (mAh) nebo ampérhodin (Ah).
- *Nabíjecí cyklus* – Každý druh baterie má stanovenou životnost, a to podle takzvaných nabíjecích cyklů. Po uplynutí životnosti by měla kapacita baterie klesnout na polovinu počáteční. Pokud je u baterie uvedeno 200 nabíjecích cyklů, znamená to, že baterii je možné nabít a vybit zhruba 200krát (± 20 podle toho, jak se k baterii chováte).
- *Paměťový efekt* – Za tímto často používaným termínem se skrývá snížení kapacity baterie způsobené tím, že dobíjíme baterii, která není vybita na 100 %, nebo nenabíjíme baterii až do stavu úplného dobití. Paměťový efekt se hodně projevuje pouze u baterií Ni-Cd a v menší míře pak u Ni-MH baterií. U baterií Li-Ion je to pak v zanedbatelné míře a baterie Li-Pol tímto efektem vůbec netrpí. V praxi to potom vypadá, že když vezmete baterii Ni-Cd, která je nabitá na 50 % a znovu ji dáte na nabíječku a necháte ji dobit, můžete přijít až o 10 % její celkové kapacity. Pokud tímto paměťovým efektem poznamenanou baterii chcete ještě trochu zachránit, pomůže vám tzv. formování baterie.
- *Formování baterie* – Pokud baterie není příliš zničená paměťovým efektem a není již moc stará a opotřebovaná, lze částečně obnovit již zničenou kapacitu baterie, kterou napáchal právě onen paměťový efekt. Jedná se o několikanásobné úplné vybití a následné přebití nebo úplné nabití baterie. Tento cyklus je dobré opakovat alespoň dvakrát či třikrát.

5.5.3 Ni-Cd Niklo-kadmiová baterie

Tento druh baterií se dnes už běžně nepoužívá. Možná ji ještě najdete ve fotoaparátech či starších videokamerách. Asi před dvaceti lety byly tyto baterie jediným možným obnovitelným zdrojem elektrické energie¹. Byly velice efektivní, neboť se daly nabíjet až 1200krát (1200 nabíjecích cyklů). Doba nabíjení byla různá od 45 minut až klidně do dvou hodin. Nevýhodou baterie byl paměťový efekt.

Důležité informace

- Nenechávejte baterii delší dobu mimo provoz, alespoň dvakrát do měsíce ji použijte.
- Kvůli paměťovému efektu nabíjejte baterii až po úplném vybití.
- Jednou za měsíc baterii naformujte.
- Staré baterie nevyhazujte, ale noste do sběrných dvorů. Kadmium je vysoce toxické.
- Pozor na nadměrné přebití baterie. Baterie nesmí zůstat v nabíječce déle než 24 hodin.

¹Kromě olovených.

5.5.4 Ni-MH Niklo-metal-hydridová baterie

Tato baterie je hodně zastoupena u dnešních mobilních telefonů nižší a střední třídy. Proti Ni-Cd nabízejí větší kapacitu, a při stejné váze se do nich vejde až o třetinu více než do Ni-Cd. U této baterie je také více potlačen paměťový efekt a baterie neškodí tolik životnímu prostředí. Další významnou inovací oproti předchozímu typu je, že se baterie nemusí tak často formátovat. Počet dobíjecích cyklů je však snížen na 500 až 600. Nabíjecí doba je zhruba 3 až 4 hodiny.

Důležité informace

- Baterie můžete občas dobíjet, i pokud nebude úplně vybitá.
- Jednou za 3 měsíce nechte baterii zformátovat.
- Nabitou baterii nenechávejte delší dobu v nečinnosti.
- Pozor na nadměrné přehřívání baterie, i když může zůstat v nabíječce déle než 24 hodin.

5.5.5 Li-Ion Lithium-iontová baterie

Největší předností této baterie je potlačení paměťového efektu, který se projevuje u tohoto druhu baterie téměř nulově, proto tuto baterii můžete nabíjet při jakémkoliv stavu vybití. Tyto baterie naleznete dnes u většiny mobilních telefonů střední a vyšší třídy. Při používání těchto baterií je však nutné dodržovat jistá pravidla, protože při porušení těchto pravidel může dojít při extrémním přehřívání baterie k reálné explozi a při extrémním vybití dojde k okamžitému a nenávratnému poškození. Baterie jsou naštěstí vybaveny „senzory“, které kontrolují napětí, proud a teplotu a snaží se zabránit při nabíjení a vybíjení extrémům. Oproti bateriím Ni-MH nabízejí Li-Ion o dvacet a více procent více energie a díky vyššímu napětí jednotlivých článků i menší rozměry. Počet nabíjecích cyklů je zde zvýšen až na 1000 a doba nabíjení je kolem dvou a půl hodiny. Tuto baterii lze jednoznačně doporučit, ale spoustu uživatelů odradí až dvojnásobná cena oproti starším bateriím.

Důležité informace

- Baterii můžete nabíjet v jakékoliv fázi vybití.
- Nenechávejte baterii hluboce vybit.
- Nabitou baterii můžete nechat delší dobu v nečinnosti (i několik měsíců).
- Nevystavujte baterii vysokým teplotám.

5.5.6 Li-Pol Lithium-polymerová baterie

Tento druh baterie se velmi podobá baterii Li-Ion, je však novější – setkáváme se s ním zatím jen tři roky. Co se týká stavby baterie, neobsahuje kapalný roztok, ale tuhý gel, tudíž jednotlivé články nemůžou „vytéct“. Další výhodou gelového elektrolytu je, že baterie Li-Pol jsou neuvěřitelně tenké, malé a lehké a můžou nabývat libovolných tvarů. Paměťový efekt je u této baterie již potlačen a neprojevuje se. Pokud by byla baterie Li-Pol stejně velká jako

Ni-Cd, nabízela by čtyřikrát větší kapacitu. Jedinou nevýhodou této baterie je malý počet nabíjecích cyklů – jen 200, pracuje se však na zlepšení. Nabíjení baterie trvá o něco déle než u baterie Li-Ion.

Důležité informace

- Baterii můžete nabíjet v jakékoliv fázi vybití.
- Nenechávejte baterii hluboce vybit.
- Nabitou baterii můžete nechat delší dobu v nečinnosti (i několik měsíců).
- Protože má baterie menší počet nabíjecích cyklů, snažte se baterii vždy dokonale nabít.

V dnešní době se nejvíce vyplatí baterie Li-Ion či Li-Pol, ale raději bych zde doporučil baterii Li-Ion, protože má více nabíjecích cyklů, a tudíž vydrží déle.

5.5.7 Olověný akumulátor

Princip byl popsán výše. I u olověných akumulátorů došlo k vývoji, a tak rozeznáváme tři kategorie těchto akumulátorů.

Klasický akumulátor s elektrolytem, kde se doplňuje a kontroluje jeho hladina. Jsou poměrně levné, ale bohužel náročnější na údržbu, je zde i větší riziko možnosti potřísnění elektrolytem při manipulaci. Tento akumulátor by měl být stále ve vzpřímené poloze. Lze jej bez problémů dobíjet nabíječkou všech typů.

Druhou kategorií jsou akumulátory tzv. *rounové* (lidově řečeno gelové). V podstatě se jedná o akumulátor bezúdržbový, který se nalévá pouze při uvedení do provozu elektrolytem přímo namíchaným a dodávaným od výrobce. Po zalití se uzavře a další údržba, co se elektrolytu týče, není již za provozu nutná. Jak je patrné, nejedná se tedy o akumulátor gelový, ale o akumulátor s elektrolytem. Jediný rozdíl je, že uvnitř je ještě mezi olověnými pláty „rouno“ (tkanina), která se zalévá připraveným elektrolytem. Vzhledem k tomu, že je akumulátor téměř neprodyšně uzavřen, lze jej do jisté míry naklopit, či provádět nejrůznější manipulaci bez většího rizika potřísnění. Tento akumulátor by se měl dobíjet již pouze tzv. impulsní nabíječkou s elektronickou regulací, která si ohlídá jak nabíjecí proud, tak napětí v každém stádiu dobíjecího procesu (viz obrázky).

Třetím typem akumulátorů jsou *gelové*. Jedná se o nejnovější typy, které jsou již od výrobce dodávané v mokřém stavu a uvnitř mají skutečnou gelovou náplň. Nutno dodat, že přes jejich kvalitu jsou i patřičně drahé a cenově se mohou pohybovat i kolem 5000 Kč za kus. Jsou bezúdržbové. Jeho přednosti jsou především v jeho libovolném umístění do stroje – třeba i vzhůru nohama, odolnost proti vnějším vlivům a nemožnost přijít do styku s „obsahem baterie“ vyjma totálního zničení, či rozbití. Jejich použití je více než široké a hojně se využívají do různých dětských samohybů, elektrických skútrů a také se využívají především pro napájení v objektech bez stálého dozoru obsluhy.

Z hlediska použití se olověné akumulátory dělí na startovací (použití v automobilech) a staniční (pro záložní zdroje). Tyto dva základní typy mají odlišnou konstrukci, vzhledem k požadavkům na ně kladeným. Startovací akumulátory jsou konstruovány tak, aby dodávaly velké proudy i za cenu většího samovybití a menší odolnosti vůči přebití. Staniční akumulátory dokáží dodávat menší proudy po dlouhé doby a jsou odolné vůči přebíjení.

Důležité informace

- Baterii můžete nabíjet v jakékoliv fázi vybití.
- Dobíjet především impulsní nabíječkou s elektronickou regulací. Jedinou nevýhodou je vzhledem k regulaci ze strany nabíječky delší nabíjecí čas než u klasického přístroje s konstantním proudem.
- Lze krátkodobě odebírat proud řádově ve stovkách ampér (při startu zařízení).
- Akumulátor, jak jsem už uvedl výše, není schopen přijímat takový proud, jaký je schopen vydat. (Maximální nabíjecí proud je asi desetina kapacity akumulátoru.)
- Nabíjet se dá účinně pouze při akumulátoru teplém více než $+15\text{ }^\circ\text{C}$.
- Celkově vzhledem k účinnosti nabíjení je zapotřebí dodat 130 % náboje (platí i pro jiné typy nabíjení).
- Dvoustupňové nabíjení je pro akumulátor příznivější. První stupeň – nabíjí se proudem $0,12 \cdot C_{20}$ (kapacita akumulátoru při $20\text{ }^\circ\text{C}$), po dosažení napětí 2,4 V na článek (14,4 V na svorkách) nastupuje druhý stupeň – nabíjí se proudem $0,06 \cdot C_{20}$ do znaků plného nabití, tj. po dobu dvou hodin se hustota elektrolytu nemění a napětí na svorkách se nezvyšuje (dosáhne asi 16,5 V).
- **Důležité:** při rozkladu vody vzniká třaskavá směs vodíku a kyslíku, proto při práci s akumulátorem nepoužívejte otevřený oheň, včetně zapálených cigaret. Nejvíce směsi je uvnitř článku a pokud se vznítí, může dojít k roztržení obalu a rozstříknutí elektrolytu po okolí!
- Akumulátor při uvádění do provozu po třetím nabíjecím cyklu zpravidla dosáhne minimálně 95 % kapacity. V dalším provozu může kapacita dosáhnout až 130 %, pokles na přibližně 70 % se považuje za konec životnosti.

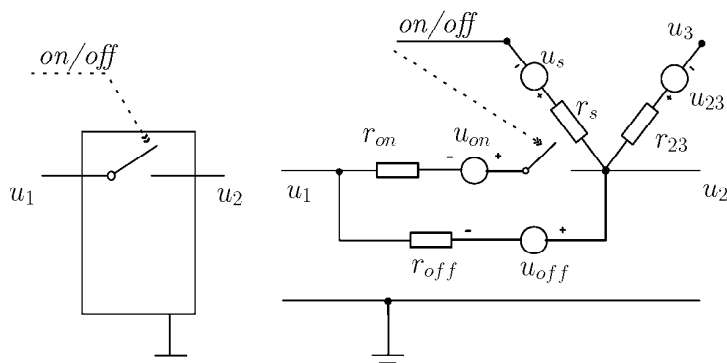
5.6 Spínače a relé

5.6.1 Mechanický spínač

Mechanickým spínačem míníme dvojici kontaktů, jejichž spojení je ovládáno manuálně, nebo silou, která není vyvozena elektrickým obvodem. Pro kvalitní mechanický spínač, složený ze speciálních kovových slitin, platí:

- Odpor v sepnutém stavu r_{on} může být v řádu tisícín ohmu a záleží na materiálu kontaktů a na stavu jejich povrchu.
- Rušivé napětí na sepnutém spínači u_{on} vzniká převážně termoelektrickým jevem, pokud spoje mezi různými materiály nemají shodnou teplotu.
- Odpor v rozpojeném stavu r_{off} závisí na konstrukci a kvalitě povrchu materiálu, na kterém jsou kontakty namontovány. Může dosahovat jednotek terraohmů.
- Rušivé napětí vytvořené rozpojeným spínačem $u_{off} = 0$.

- Izolace vůči okolí (dalším spínačům) u_{23} , r_{23} závisí na konstrukci a použitých materiálech. Většinou je působení okolních elektrických obvodů zanedbatelné.
- Rychlost sepnutí a rozpojení závisí na setrvačných hmotách kontaktů a mechanické konstrukci. Bývá v řádu milisekund až sekund.



Obrázek 5.26: Principiální schéma spínače

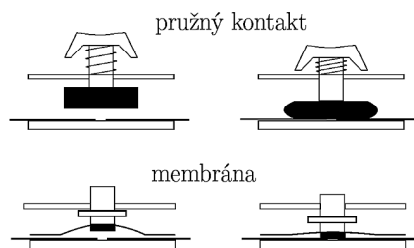
Specifickým problémem mechanických spínačů jsou tzv. „odskoky“ kontaktů (tzv. „kontaktní hluk“). Jedná se o jev, který souvisí se setrvačným chováním pružného materiálu, ze kterého bývají kontakty vyrobeny. V okamžiku sepnutí může dojít ke krátkému (i opakovanému) rozpojení a spojení, které se teprve po čase ustálí v sepnutém stavu. V závislosti na mechanických vlastnostech kontaktu mohou odskoky trvat několik jednotek až desítek milisekund.

Shrnutí základních parametrů vyznačených na obrázku 5.26:

- Odpor v sepnutém stavu r_{on}
- Rušivé napětí vzniklé na sepnutém spínači u_{on}
- Odpor v rozpojeném stavu r_{off}
- Rušivé napětí vytvořené rozpojeným spínačem u_{off}
- Izolace vůči okolí (dalším spínačům) u_{23} , r_{23}
- Způsob ovládání
 - mechanické
 - elektromagnetické
 - elektrické
- Vliv řídicího obvodu na spínaný obvod u_s , r_s
- Rychlost sepnutí a rozpojení

Zvláštním případem mechanických spínačů (obrázek 5.27) jsou klávesy počítačových klávesnic a klávesnic kalkulaček a mobilních telefonů, u nichž je spínání obvodu zabezpečeno vodičem, který je přitlačen ke dvojici kontaktů na desce plošných spojů. Kontakt může být kovový (dobře ošetřený proti korozi), nebo také z vodivé pryže, která tvoří pružnou membránu. Odpor v sepnutém stavu může být u takových klávesnic v řádu jednotek až stovek ohmů. Sepnutí je vyhodnoceno elektronickým obvodem.

Pro pružný kontakt je typickou aplikací počítačová klávesnice, pro membránový kontakt je typickým příkladem aplikace mobilní telefon.



Obrázek 5.27: Pružný kontakt

5.6.2 Elektromagnetické relé

Z hlediska spínaného obvodu je možno elektromagnetické relé považovat po všech stránkách za mechanický spínač, který jsme již popsali. Do úvah vstupuje řídicí elektrický obvod, který může být zcela izolovaný od obvodu spínaného. Je však třeba počítat s možností ovlivnění spínaného obvodu rušivými signály vytvořenými elektromagnetickým polem a kapacitními vazbami.

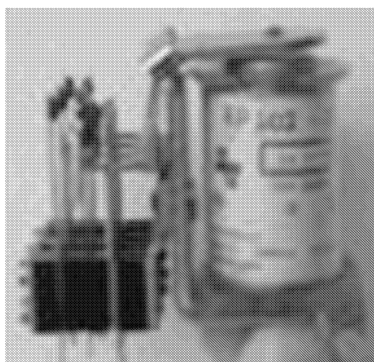
Relé je specializované technické zařízení konstruované pro vzdálené či automatizované spínání a rozpínání elektrických obvodů. Elektromagnetické relé je elektrická součástka, která obsahuje elektromagneticky ovládané vypínače. Bylo vynalezeno v roce 1835 Josefem Henrym. Součástka byla původně využívána jako mechanický zesilovač na telegrafních linkách. Název pochází z přepřahací stanice² na kurýrních cestách.

Relé se používá v mnoha aplikacích, byť jeho funkci v mnoha případech přebírají obvody založené na polovodičích. Elektromagnetické relé je příkladem využití elektromagnetu v zařízení, které je důležitým funkčním prvkem v automatizovaných soustavách a řídicích systémech.

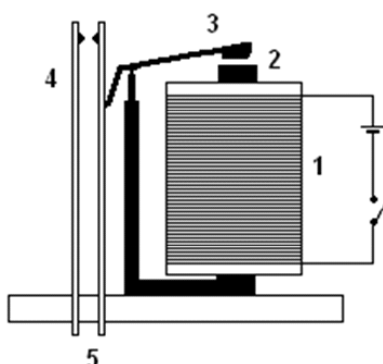
V některých aplikacích je stále mechanické relé nenahraditelné, a proto se stále vyvíjejí nové typy pro nejrůznější použití. Při výběru relé vycházíme ze základních vlastností.

Pohyb kontaktu relé V blízkosti elektromagnetu tvořeného cívkou a jádrem z magneticky měkké oceli je pohyblivá kotva se stejného materiálu. Kotva se dotýká pružných kontaktů, k nimž je připojen obvod ovládaného zařízení. Jakmile elektromagnetem začne procházet ovládací proud, jádro cívky se zmagnetuje a přitáhne kotvu relé, čímž se sepnou pružné kontakty. Tím je ovládané zařízení uvedeno do chodu. Přitom k přitažení kotvy postačuje mnohem menší ovládací proud, než je proud, který prochází obvodem ovládaného zařízení.

²relay



Obrázek 5.28: Foto relé



Obrázek 5.29: Princip relé: 1. cívka; 2. pohyblivá kotva; 3. pružné kontakty; 4. připojení

Druhy relé

Technické potřeby si vyžádaly vývoj řady druhů relé. Lze je rozlišit podle druhů kontaktů (spínací, rozpínací, přepínací), dle velikosti, spínaných výkonů, napětí, proudů (a schopnosti fungovat na střídavý proud) i podle činnosti (např. polarizované relé, bistabilní relé, relé se zpožděným přitahem, relé se zpožděným odpadem, krokové relé aj.).

Jako relé se často označují i složitější montážní bloky, obsahující kromě vlastního relé i další elektroniku, např. časovací relé, nadproudová relé, světelné relé (soumrakové stmívače), kmitočtově citlivé relé a další.

Pro aplikace kritické z hlediska bezpečnosti (například reléová zabezpečovací zařízení) byla zkonstruována speciální relé s definovaným chováním v případě poruchy.

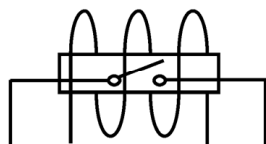
5.6.3 Jazýčkové kontakty

Jazýčkové kontakty mají kontaktní pružiny vyrobené z feromagnetického materiálu a zatavené ve skleněné trubičce. Vnější dostatečně velké magnetické pole zmagnetuje kontaktní pružiny, které se vzájemně přitáhnou, a tím se kontakty spojí. V jazýčkovém relé jsou kontakty vloženy do jádra budicí cívky, kde procházející proud vytvoří magnetické pole potřebné k sepnutí.

Zvláště pro použití ve sdělovací technice byla vyvinuta jazýčkové relé, která mívají obvykle jednodušší konstrukci – jazýčkový kontakt je vložen do dutiny cívky.



Obrázek 5.30: Jazýčkový kontakt

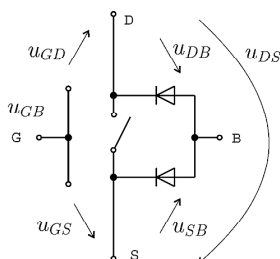


Obrázek 5.31: Princip relé s jazýčkovým kontaktem

Rychlá jazýčková relé dosahují spínací a vypínací doby v řádu desetin až jednotek milisekund. Samotný jazýčkový kontakt lze také spínat permanentním magnetem. Může pak sloužit jako indikátor polohy (koncový spínač) a indikátor pohybu.

5.6.4 Polovodičové spínače – FET

V současné době jsou ve funkci elektronického spínače nejčastěji používány struktury tranzistoru řízeného elektrickým polem. Řídicí elektroda ovládá svým napětím vůči substrátu tloušťku vodivého kanálu, a to od úplného potlačení vodivé vrstvy až po velmi tlustý, vodivými nosiči náboje naplněný, vodivý kanál.



Obrázek 5.32: Princip spínače s tranzistorem FET

K vytvoření modelu spínače s FET tranzistorem jsme mohli velmi jednoduše upravit model, který pro FET platí v širokém rozsahu aplikací. Vidíme, že oproti mechanickým spínačům dostáváme elektronický spínač (bez pohyblivých mechanických dílů), který však přináší zásadní změnu v tom, že nelze zcela odděleně řešit řídicí a spínaný obvod (spínání nelze ovládat mechanicky). V elektronickém spínači bude ve většině konstrukcí nutno počítat se vzájemnými interakcemi mezi oběma obvody. Získáme za to spínač rychlejší než jakýkoli mechanický spínač, spínač laciný a spolehlivý s velmi dlouhou životností.

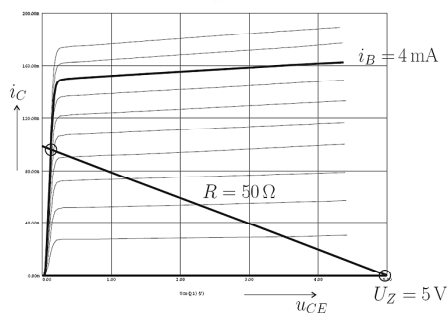
Shrneme údaje o vlastnostech spínače s MOSFETem, a potom budeme o některých specifikách diskutovat

- Odpor v sepnutém stavu r_{on} může být v řádu desetin i setin ohmu. Prakticky použitelné jsou však i spínače s odporem v sepnutém stavu v řádu desítek ohmů. Nesmíme však zapomenout na vyčerpateľnost volných nosičů náboje, takže sepnutý spínač má vždy omezený maximální proud, který lze spínačem vést.

- Rušivé napětí, vzniklé na sepnutém spínači u_{on} , je v ustáleném stavu nulové – spínač sám žádné rušení nevytváří. Je však třeba počítat s kapacitní vazbou mezi řídicí elektrodou a kanálem, takže změny napětí na mřížce se mohou přenést na kanál, zvláště v okamžiku vypínání a spínání.
- Odpor v rozpojeném stavu r_{off} dosahuje velmi vysokých hodnot řádu megaohmů až terraohmů.
- Rušivé napětí vytvořené rozpojeným spínačem u_{off} – platí totéž, co bylo zmíněno u sepnutého spínače.
- Izolace vůči okolí (dalším spínačům) musí být zajištěna napěťovými poměry na elektrodách spínače – bezpečně uzavřené diody S-B a D-B.
- Způsob ovládání a vliv řídicího obvodu na spínaný obvod:
Spínač je ovládán napětím řídicí elektrody G vůči substrátu B. Určitým problémem je, že v sepnutém spínači je mezi substrátem a řídicí elektrodou vložen vodivý kanál, který na sobě má napětí spínaného obvodu, takže může být vodivost kanálu ovlivněna napětím, které je spínačem spínáno. To musí respektovat napětí na řídicí elektrodě G tím, že kanál dostatečně otevře, i když se napětí kanálu mění. K ovládání není potřeba žádný elektrický výkon, avšak kapacita mřížky proti substrátu (kanálu) může u výkonových spínačů dosahovat řádově až nanofaradů.
- Rychlost sepnutí a rozpojení:
Při sepnutí a rozpojení hraje významnou roli přechodný děj, při kterém se nabíjí a vybíjí kapacita řídicí elektrody. Tato kapacita souvisí s požadavkem na vodivost a proudovou zatížitelnost vytvořeného kanálu. Čím větší má být vodivost sepnutého spínače, tím větší je kapacita mřížky. Např. spínací MOSFET IRF450 spíná proud max. 12 A (odpor sepnutého spínače je $0,4\ \Omega$). Na rozpojeném spínači může být až 500 V, vstupní kapacita je 2,7 nF a čas sepnutí a vypnutí cca 200 ns (při dostatečně malém výstupním odporu zdroje řídicího signálu). V přepínací signálů (analogovém multiplexeru) jsou použity paralelně spojené komplementární MOSFETy, které zajišťují konstantní hodnotu odporu v sepnutém stavu při proměnném napětí na spínači, a to v řádu sta ohmů, se spínacím časem v řádu 100 ns. V logických členech CMOS je odpor sepnutého spínače v řádu desítek ohmů a časy sepnutí v jednotkách až desetínách nanosekundy.

Polovodičové spínače – bipolární tranzistor

- Odpor v sepnutém stavu r_{on} může být v řádu desetin i setin ohmu. Omezení maximálního proudu, který lze spínačem vést, je dáno hodnotou zesilovacího činitele a velikostí budicího proudu v obvodu báze. Spínač je schopen spínat proud jednoho směru, a to do společné svorky s řídicím obvodem.
- Rušivé napětí vzniklé na sepnutém spínači u_{on} je v ustáleném stavu v řádu jednotek až desítek milivoltů.
- Odpor v rozpojeném stavu r_{off} dosahuje velmi vysokých hodnot. Ve vypnutém stavu je třeba respektovat existenci průrazného napětí přechodu kolektor-báze.
- Rušivé napětí vytvořené rozpojeným spínačem $u_{off} = 0$.



Obrázek 5.33: Charakteristiky bipolárního tranzistoru

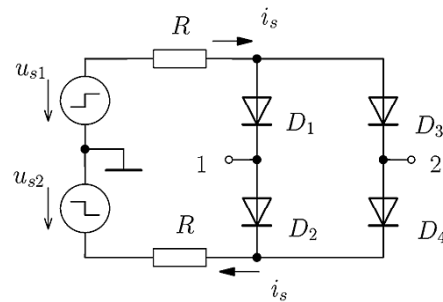
- Izolace vůči okolí je dána izolací spínacího tranzistoru. Řídicí a spínaný obvod mají společnou (zemní) svorku.
- Způsob ovládání a vliv řídicího obvodu na spínaný obvod:
Spínač je ovládán proudem do báze tranzistoru, takže řídicí proud protéká jednou z částí spínaného obvodu.
- Rychlost sepnutí a rozpojení:
Při sepnutí a rozpojení hraje významnou roli přechodný děj, při kterém se v prostoru báze hromadí nosiče náboje. Proto je zvláště proces vypínání provázen „zotavením“ prostoru báze. Je-li tranzistor sepnut tak, že napětí kolektoru klesne pod napětí na bázi – tranzistor je nasycen, dochází při uzavírání tranzistoru k tzv. saturačnímu zpoždění. To lze omezit jenom tím, že pomocné obvody nedovolí kolektorovému napětí poklesnout až k milivoltovým hodnotám, ale zabezpečí napětí u_{on} na sepnutém spínači v řádu několika set milivoltů. Spínací tranzistory mohou dosahovat rychlosti sepnutí v řádu zlomků až jednotek nanosekund. Obdobné časy lze získat i při vypnutí, je-li potlačeno saturační zpoždění.

5.6.5 Polovodičové spínače – různé

Dioda – můstkový spínač

I když je polovodičová dioda součástí se dvěma svorkami (není zde zvláštní přívod, který by spínání ovládal), lze s diodami vytvořit zapojení, které se dá použít jako extrémně rychlý spínač. Zapojení ukazuje obrázek 5.34.

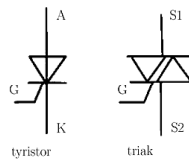
Princip spočívá v tom, že se při zapnutí uvádějí diody vnějším obvodem do stavu propustné polarizace (u_{s1} kladné, u_{s2} záporné), kdy mají malý diferenciální odpor (vykazují malé změny napětí na svých svorkách při změnách procházejícího proudu) a přenesou signál ze svorky 1 na svorku 2. Při vypnutí je na diody přivedeno dostatečně velké závěrné napětí (u_{s1} záporné, u_{s2} kladné), které zabrání změnám napětí na svorce 1 měnit napětí na svorce 2. Pokud jsou napětí u_{s1} a u_{s2} v absolutní hodnotě shodná (symetrické buzení), a to jak při sepnutí, tak při vypnutí, neovlivní řídicí signál obvodové veličiny ani ve vstupním obvodu na svorce 1, ani ve výstupním obvodu na svorce 2. Diodový můstkový spínač se Schottkyho diodami dosahuje spínacích časů v řádu pikosekund.



Obrázek 5.34: Diodový spínač

Triak a tyristor

Triak a tyristor jsou součástky, které se chovají jako spínače, k jejichž sepnutí stačí krátký puls na řídicí elektrodě. Sepnutý stav trvá po dobu, po kterou spínačem prochází proud. Pokud ve spínaném obvodu proud poklesne pod určitou hodnotu (příp. se obrátí polarita napětí na spínači), spínač vypne a sepnutí musí zabezpečit nový řídicí impuls. Existují i součástky, které lze vypnout pulsem na řídicí elektrodě (GTO). Schematické symboly ukazuje obrázek 5.35.

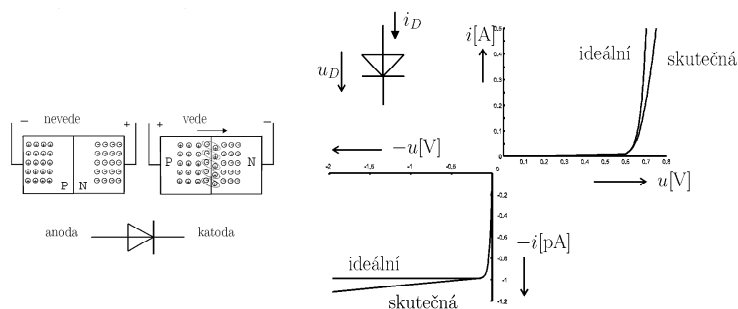


Obrázek 5.35: Značky spínačů - triak, tyristor

5.7 Diody, LED

Základem polovodičových prvků, a diod zejména, je polovodičový přechod PN. Pokud polarizujeme přechod PN napětím tak, že na P polovodič přivedeme malé kladné napětí a na N polovodič malé záporné napětí, menší než je tzv. difúzní napětí, prochází přechodem pouze nepatrný proud, protože oblast prostorového náboje má velký odpor (velmi malou elektrickou vodivost). Pokud dosáhne vnější napětí hodnoty difúzního napětí (u germania je jeho hodnota asi 0,4 V, u křemíku asi 0,8 V), začne proud procházející průchodem prudce vzrůstat.

Otočíme-li nyní polaritu zdroje, dioda se zcela uzavře a závěrný proud je nepatrný (přesto měřitelný). Přesáhne-li závěrné napětí svou mezní hodnotu pro daný typ diody (přechodu), nastane tzv. lavinový průraz, který může přechod zničit. Jednou výjimkou v tomto jevu je tzv. Zenerův průraz, při kterém nejsou zpočátku elektrony urychlovány jako u lavinového průrazu a proud vzrůstá podobně jako v propustném směru. Není potřeba zdůrazňovat, že tyto jevy se umocňují zvyšující se teplotou přechodu PN.



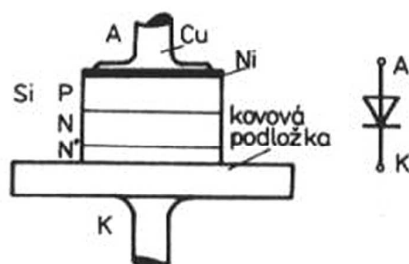
Obrázek 5.36: Přechod PN; Voltampérová charakteristika diody

5.7.1 Charakteristické vlastnosti

- Maximální proud v propustném směru I_{MAX} – je dán konstrukcí diody a určuje možnosti jejího použití. Je udáván v katalogu součástek.
- Maximální napětí v závěrném směru U_{MAX} – závěrný proud diody prudce narůstá, jestliže se napětí blíží k napětí označovanému jako průrazné napětí. Při něm vzroste intenzita elektrického pole uvnitř přechodu nad mez, za níž dochází k vytrhávání nosičů náboje z krystalové mřížky polovodiče a jejich lavinovitému množení. Jde o průraz, který může vést k destrukci, je-li provázen současným přehřátím přechodu.
- Prahové napětí U_T – napětí, které musíme vložit na diodu v propustném směru, aby začal protékat „znatelný“ proud. Pro křemíkové diody lze pracovat s $U_T \cong 0,6 \div 0,8$ V.
- Statická (bariérová) kapacita – je kapacita kondenzátoru, jehož polepy tvoří oblasti P a N a dielektrikem je vyprázdňená vrstva v okolí přechodu při závěrné polarizaci. Její tloušťka závisí na vnějším napětí.
- Difuzní kapacita – se uplatňuje, je-li dioda pólována v propustném směru. Není ve skutečnosti tvořena izolační vrstvou a dvěma elektrodami. Využíváme podobnosti chování kapacitoru a propustně pólované diody. Pomocí difuzní kapacity popisujeme dynamické jevy, které provázejí průchod proudů přechodem.
- Mezní kmitočet – je kmitočet, při kterém dioda pracuje s rozumnou účinností usměrnění. Při vyšším kmitočtu dioda ztrácí svůj usměrňovací účinek.

5.7.2 Druhy polovodičových diod

- Diody pro síťové usměrňovače – Diody pro síťové usměrňovače jsou plošné diody určené pro usměrnění proudů řádově jednotek až desítek ampér při napětí desítek až stovek voltů technických frekvencí. Jsou vyráběny z křemíku převážně difúzní technologií. Základní destička má nevlastní vodivost typu N. Na ní se difúzí boru nebo galia vytvoří vrstva typu P. Silně dotovaná vrstva N+ umožňuje neusměrňující dobře vodivé spojení krystalu s kovovou podložkou, která pomáhá odvádět teplo a tvoří vývod katody. Vrstva niklu vytváří neusměrňující spojení s vývodem anody.

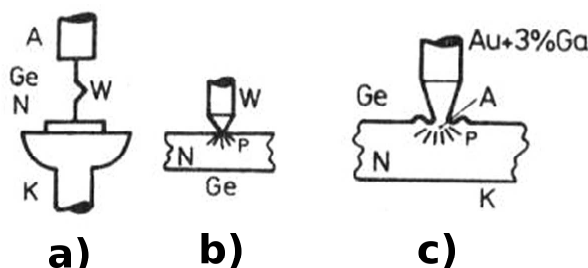


Obrázek 5.37: Konstrukce diody; Značka diody

Důležité vlastnosti usměrňovacích diod popisuje katalog. Pro diodu KY130/600 se uvádí: střední usměrňovaný proud $I_{fav} \leq 300 \text{ mA}$, největší anodové napětí v přímém směru $U_F < 1 \text{ V}$, napětí ve zpětném směru $U_R < 600 \text{ V}$, proud ve zpětném směru $I_R \leq 10 \text{ mA}$, při $U_R = 600 \text{ V}$ a teplotě $+25^\circ \text{C}$.

- Diody pro usměrňování malých vysokofrekvenčních proudů
 - Plošné diody – Plošné diody pro usměrňování malých vysokofrekvenčních proudů do frekvence několika megahertzů se vyrábí z křemíku. Základem je destička s nevlastní vodivostí typu N, která tvoří katodu. Anoda je vyrobena difúzní technologií. Krystal má rozměry asi $1 \times 1 \text{ mm}$. Je připájen na základní kovovou destičku, která zvětšuje mechanickou pevnost diody a pomáhá odvádět teplo. Celek je připájen na přívodní dráty procházející skleněnou průchodkou a je neprodyšně uzavřen v kovovém pouzdru.

Dovolená napětí ve zpětném směru jsou 100 až 200 V. Střední hodnota usměrňovaného proudu je maximálně několik desítek miliampérů.
 - Hrotové diody – V současné době se vyrábí několik druhů hrotových diod určených k usměrňování malých vysokofrekvenčních proudů. Proti plošným diodám má jejich charakteristika pozvolnější průběh a větší zakřivení při malých hodnotách proudu. Proto jsou k některým účelům hrotové diody výhodnější než diody plošné. Nejdůležitější jsou germaniové hrotové diody a germaniové diody se zlatým hrotem.
 - * Germaniové hrotové diody – Germaniový krystal s nevlastní vodivostí typu N čtvercového tvaru o rozměrech asi $1 \times 1 \text{ mm}$, tloušťky 0,1 mm, je připájen ke kovové destičce a přivařen k přívodnímu drátu. Na povrch germaniové destičky, která tvoří katodu diody, je pružně přitlačován hrot tenkého wolframového drátku spojeného s druhým přívodním drátem diody. Wolframový drátek tvořící vývod anody má pouze mechanický kontakt s povrchem polovodičové destičky. Celý systém diody je zataven do skleněného pouzdra. Vývod katody je barevně označen. Dobrého usměrňovacího účinku se dosáhne tzv. formováním, které se provádí na konci výrobního postupu pulsem proudu asi 1 A, který projde diodou v přímém směru. V místě dotyku hrotu a polovodiče dojde ke značnému zahřátí, při kterém některé atomy wolframu přejdou do povrchové vrstvy polovodiče. Vznikne tak miniaturní oblast s vodivostí typu P těsně pod místem dotyku hrotu. Nejlepších výsledků se dosáhne, obsahuje-li hrot příměsí způsobující v germaniu vodivost typu P (např. indium).



Obrázek 5.38: a) konstrukce hrotové diody; b) formátování hrotu; c) konstrukce diody se zlatým hrotem

Miniaturní přechod PN vytvořený popsáním způsobem má kapacitu asi 1 pF. Proto je mezní frekvence těchto diod značně vysoká (kolem 100 MHz; ve speciálním provedení až 1000 MHz). Závěrná napětí jsou však pouze několik desítek voltů a přípustné hodnoty usměrněných proudů jen 10 až 20 mA.

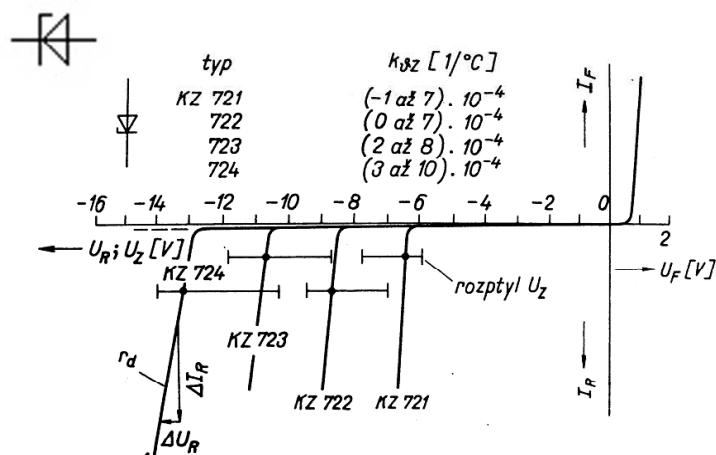
- * Diody s přivařeným zlatým hrotem – Rozdíl mezi diodou se zlatým hrotem a hrotovou diodou popsanou výše je patrný z obrázku 5.38. Základem diody je opět destička z germania typu N, která je katodou. Drátek tvořící přívod k anodě je však zlatý s příměsí galia. Při formování dojde k přivaření zlatého drátku k polovodičovému krystalu. Zároveň se galium rozpustí v roztaveném germaniu a vytvoří silně dotovanou oblast typu P. Vznikne dioda s miniaturním slitinovým přechodem PN. Takto vyrobená dioda sdružuje v sobě výhodné vlastnosti hrotových i plošných diod. Má vysokou mezní frekvenci, která dosahuje běžně asi 100 MHz a u některých typů diod až 1000 MHz. Výhodou je též menší odpor v přímém směru a větší odpor i menší proud ve zpětném směru, než mají diody hrotové.

- Diody pro speciální účely

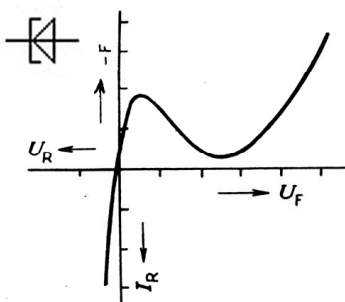
- Zenerova dioda – Zenerovy diody jsou diody, které jsou navrženy tak, že je výrobní technologií zajištěna žádaná hodnota průrazného napětí v rozmezí od jednotek do stovek voltů. V obvodech se pak předpokládá, že chlazením je zajištěno, že proud procházející za mezí průrazu nezpůsobí tepelnou destruktci. Voltampérová charakteristika Zenerovy diody je uvedena na obrázku 5.39.

Zenerových diod se využívá hlavně ve stabilizátorech napětí, ve zdrojích referenčních úrovní, v omezovačích úrovní apod.

- Tunelová dioda – Tunelová dioda je rovněž součástka tvořená přechodem PN. U tunelové diody však existují nosiče náboje, které přechodem mohou procházet („tunelují“) při napětí nižším, než je napětí prahové. Voltampérová charakteristika strmě stoupá již od nulového napětí. Strmost se s rostoucím napětím postupně zmenšuje, až při napětí U_p a proudu I_p charakteristika dosáhne lokálního maxima. Při dále rostoucím napětí na přechodu již přestávají působit podmínky pro vznik tunelového jevu a proud klesá, až při napětí U_v dosáhne lokálního minima I_v . Potom se dioda začne chovat podobně jako normální křemíková dioda v propustném směru.



Obrázek 5.39: Značka Zenerovy diody; Voltampérová charakteristika Zenerovy diody



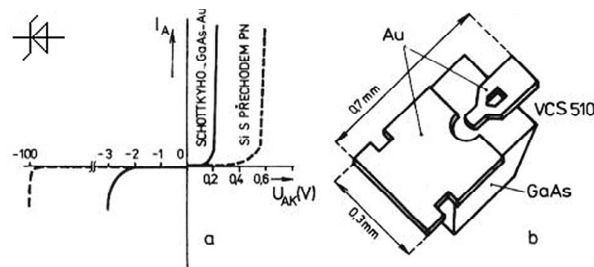
Obrázek 5.40: Značka tunelové diody; Voltampérová charakteristika tunelové diody

Sklon k samovolnému kmitání je jedním z důvodů, proč se tunelová dioda nepoužívá tolik, jak se původně předpokládalo. Přesto je tunelová dioda jednou z přímo zesilujících součástek v kmitočtové oblasti 10 GHz až 100 GHz.

- Dioda s přechodem kov-polovodič (Schottkyho dioda) – Dioda může být zhotovena jako přechod kov-polovodič. Technologie výroby je obtížnější než u diod s přechodem PN. Statická voltampérová charakteristika je podobná voltampérové charakteristice diody s přechodem PN, má však menší prahové napětí $U_T = 100 \div 150$ mV. Protože u diod tohoto typu je přenos uskutečňován většinovými nosiči, nedochází zde k hromadění menšinových nosičů a dosažitelná doba zotavení dosahuje jednotek pikosekund (u rychlých křemíkových diod $500 \div 700$ ps).

Schottkyho diody se užívají ve směšovačích a demodulátorech v pásmu centimetrových vln. Proti dříve používaným speciálním hrotovým diodám mají menší šum, větší účinnost a větší odolnost proti elektrickému i mechanickému namáhání.

- Kapacitní dioda (varikap) – Kapacitní diody jsou součástky, které využívají závislosti na přiloženém napětí. Polarizují se ve zpětném směru. Jsou to plošné diody vyráběné z křemíku nebo z arzenidu galia technologickým postupem, který je určen požadovanou závislostí kapacity diody na přiložené napětí.



Obrázek 5.41: Značka Shottkyho diody; Voltampérová charakteristika Shottkyho diody; Konstrukce Shottkyho diody

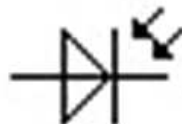


Obrázek 5.42: Značka kapacitní diody

Kapacitní diody určené k přeladování rezonančních obvodů místo ladících kondenzátorů se nazývají varikapy. Jejich kapacita se mění pomocným, tzv. ladícím stejnosměrným napětím. Amplituda vysokofrekvenčního signálu v obvodu diody je ve srovnání s ladícím napětím zanedbatelně malá, takže není nutné počítat se změnami kapacity diody vlivem vysokofrekvenčního signálu. Dioda působí při určitém stálém ladícím napětí jako lineární reaktance.

Diody určené pro obvody s velkou amplitudou signálu, kdy signál mění během své periody značně kapacitu diody, se chovají jako nelineární reaktance. Pro ně se užívá název varaktory. Slouží např. ke směšování a násobení velmi vysokých napětí.

- Fotodiody, fotonky – Fotodiody jsou součástky, u kterých jsou elektrické vlastnosti ovlivněny dopadajícím světlem na některou část diodového systému. Mohou pracovat jako hradlové nebo odporové. Hradlová fotodioda je zdrojem fotoelektrického napětí, vznikajícího na osvětleném přechodu. Odporová fotodioda je zapojena v obvodu s vnějším zdrojem stejnosměrného napětí. Její odpor (a tím i protékající proud) se mění s jejím osvětlením. Zásadně může tatáž fotodioda pracovat jako hradlová i jako odporová.



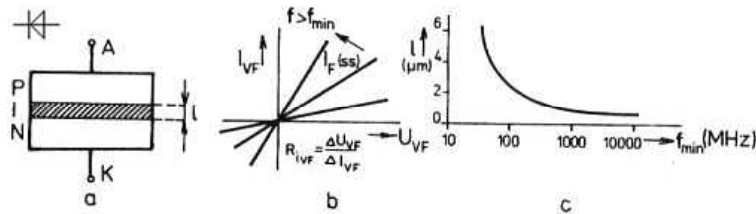
Obrázek 5.43: Značka fotodiody

Germaniové fotodiody mají maximální citlivost při vlnové délce světla asi $1,5 \mu\text{m}$, křemíkové asi $0,8 \mu\text{m}$. Hradlového principu se používá k setrojení křemíkových

slunečních (solárních) baterií, ve kterých jsou paralelně a do série zapojeny tisíce i více plošných fotodiód. Používají se zejména v kosmonautice a také stále častěji jako alternativní zdroj energie.

- PIN dioda – Diody PIN se používají ve vysokofrekvenční technice pro spínací účely v dráze užitečného signálu. Vyrábějí se z křemíku planární technologií nebo technologií mesa. Vrstva s nevlastní vodivostí typu P, která tvoří anodu diody, je oddělena od vrstvy s vodivostí typu N, tvořící katodu, tenkou vrstvou velmi čistého křemíku. Tato mezivrstva, tlustá několik mikrometrů není dotována žádnou příměsí. Má pouze vlastní (intrinziční) vodivost.

Vrstva I se neuplatňuje při průchodu stejnosměrného proudu nebo proudů tak nízkých frekvencí, že příslušná doba periody $\frac{1}{f}$ je mnohokrát delší než doba, jakou potřebují nosiče náboje k průchodu přes intermetalickou vrstvu I. V těchto případech se dioda chová stejně jako obyčejná křemíková dioda s malou plochou přechodu. Rovněž má stejnou voltampérovou charakteristiku.



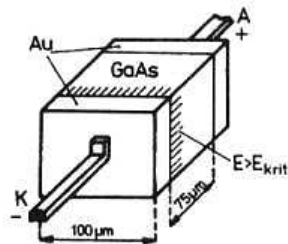
Obrázek 5.44: Značka PIN diody; Konstrukce PIN diody; Voltampérová charakteristika PIN diody; Kmitočtová charakteristika PIN diody

Při vysokých frekvencích, kdy doba potřebná k průchodu nosičů náboje přes vrstvu I je srovnatelná s periodou procházejícího signálu, ztrácí dioda PIN svůj nelineární charakter a chová se jako lineární rezistor. Velikost jejího odporu pro vysoké frekvence R_{vt} je možné měnit velikost stejnosměrného proudu I_F , kterým diodu v přímém směru polarizujeme. Jak ukazuje voltampérová charakteristika dioda PIN, platná pro vysoké frekvence, zmenšuje se odpor R_{vt} při zvětšování stejnosměrného proudu I_F . Tloušťkou vrstvy I je určena nejnižší frekvence, při které se dioda začne chovat jako řízený rezistor.

Diody PIN se používá při frekvencích stovek až tisíců megahertzů, a proto je důležité, aby jejich parazitní kapacita a indukčnost přívodů byly co nejmenší. Z toho důvodu je krystal tvořící diodu uzavřen ve speciálním koaxiálním pouzdru.

Diodami PIN ve vhodném provedení je možné spínat vysokofrekvenční výkony od 1 mW až do 100 kW. Přitom je výkon spotřebovaný k ovládnání diody řádu miliwattů. Mezní kmitočet je velmi vysoký, řádově desítky GHz.

- Gunnova dioda – V roce 1963 objevil J.B. Gunn zvláštní chování monokrystalu arzenidu galia s nevlastní vodivostí typu N, který byl vystaven působení silného elektrického pole. Zjistil, že v obvodu diody uspořádané podle obrázku 5.45 se při zvýšení intenzity elektrického pole na kritickou (asi 300 až 400 kV m⁻¹) objevují vysokofrekvenční periodické proudové kmity s výkonem několika desetin wattu a frekvencí několika GHz. Frekvence těchto oscilací je nepřímo úměrná tloušťce diody a jen málo závisí na vlastnostech vnějšího obvodu.

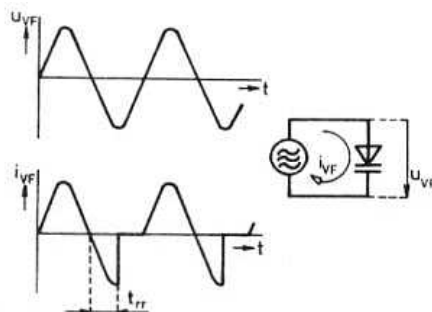


Obrázek 5.45: Konstrukce Gunnovy diody

Vznik oscilací se vysvětluje záporným diferenciálním odporem diody, jehož příčinou je zvláštní chování elektronů pohybujících se ve vodivostním pásu arsenidu galia nevlastní vodivosti typu N.

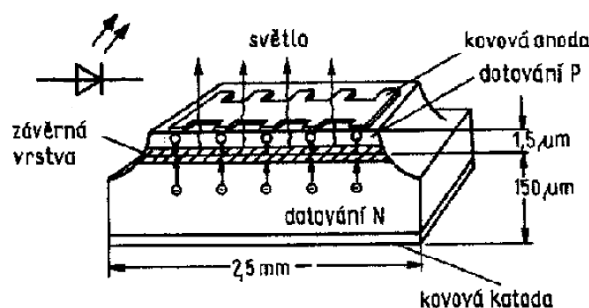
Rychlost elektronů způsobovanou elektrickým polem, můžeme vypočítat ze vztahu $V = \mu E$. Tento vztah dovolu je nakreslit závislost unášivé rychlosti v na intenzitě elektrostatického pole E . Při malé intenzitě pole mají elektrony malou energii, a proto jsou téměř všechny na hladinách s nižší energetickou úrovní. Mají velkou pohyblivost a při zvyšování intenzity pole jejich unášivá rychlost v_1 prudce stoupá a jejich kinetická energie roste. Při dosažení kritické intenzity pole získaly elektrony již tak velkou kinetickou energii, která stačí k překonání energetického rozdílu $\Delta W_s = 1,35 \text{ eV}$ mezi částmi vodivostního pásu. Elektrony přicházejí skokem na dráhy s vyšší úrovní potenciálové energie. Přitom však jejich pohyblivost klesá na hodnotu m^2 . Při malé pohyblivosti odpovídá působícímu elektrostatickému poli menší rychlost elektronů. Proto po přeskočení elektronů na hladiny s vyšší energetickou úrovní dochází ke zmenšování jejich unášivé rychlosti. Elektrony jsou prudce zabrzděny, a při vzrůstu intenzity pole, roste jejich rychlost jen velmi málo.

- Mžiková dioda – Mžiková dioda patří mezi plošné křemíkové diody s miniaturními rozměry přechodu PN. Vhodnou technologií je dosaženo prodloužení doby zotavení na hodnotu, která je vhodná pro určité použití diody. Důležité je, že ke zvětšení odporu diody ve zpětném směru, tj. k odsátí volných nosičů náboje z oblasti přechodu dochází náhle. Tato skoková změna odporu diody je doprovázena prudkým zmenšením její kapacity. To se projeví odpovídající změnou impedance diody během záporné části periody působícího signálu. Dioda se chová jako nelineární reaktance, které se využívá při násobení velmi vysokých frekvencí.



Obrázek 5.46: Funkce mžikové diody; Zapojení mžikové diody

- Elektroluminiscenční dioda (LED) – LED dioda je součástka, která emituje světlo při průchodu proudu. Vyrábějí se dnes již v různých barvách a provedeních, od malých teček až po velké segmentové sestavy. Světelná emisní dioda je nejčastěji galliumarsenidová nebo galliumfosfidová dioda. Emituje viditelné světlo (nejčastěji červené nebo zelené podle dotování materiálu), jestliže je provozována v přímém směru. Tento jev lze vysvětlit takto: Je-li přechod PN pólován v přímém směru, vzniká poměrně velký tok majoritních nosičů. V závěrné vrstvě, kde se srážejí volně pohyblivé nosiče náboje P a N, dochází ke zvýšené rekombinaci. Protože nosiče náboje přitom přecházejí z vodivostního pásu do energeticky nižšího valenčního pásu, musí se uvolnit určitá část energie. To se neděje jako obvykle ve formě tepla, nýbrž ve formě světla. Nejde zde tedy o tepelnou, ale o světelnou emisi, protože elektrická energie se přímo mění ve světelnou.



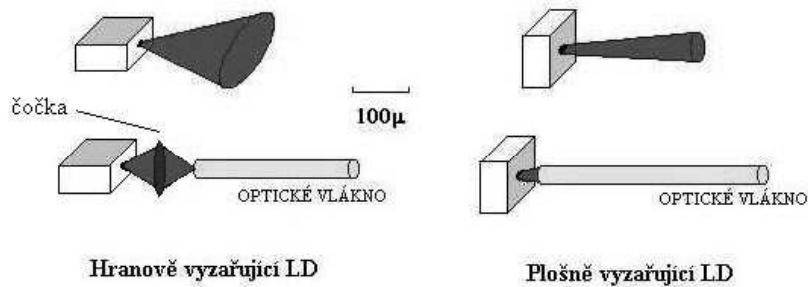
Obrázek 5.47: Značka LED diody; Konstrukce LED diody

Aby bylo umožněno dobré vyzařování světla, musí být oblast P velmi tenká a kovová anoda musí mít speciální tvar. Řídicí napětí diody je mezi 1,8 až 3,5 V při proudu 5 až 25 mA. Doba sepnutí je několik set nanosekund. Tato součástka se používá především v oblasti zobrazování dat. Zobrazovaná čísla, písmena nebo jiné symboly jsou vytvářeny ze světelných segmentů uspořádaných ve formě matice. Např. ve speciálně vyvinutém modelu je použito 27 segmentů pro čísla 0 až 9 a pro různé symboly. Výhodou je jejich kompaktnost, možnost přímého ovládnutí integrovanými obvody a dostatečný jas.

Tabulka 5.12: Vlastnosti LED diod

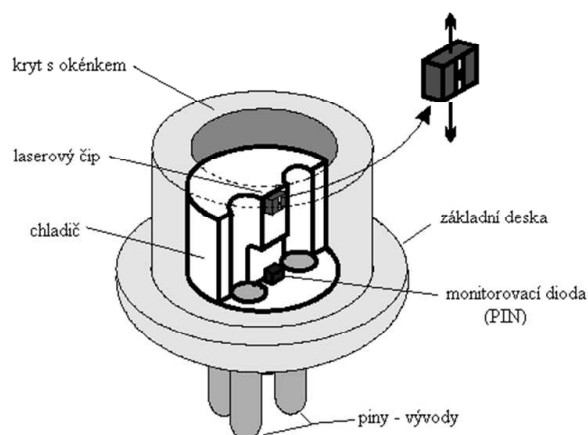
Typ	Napětí	Proud
červená	1,3 V	20 mA
oranžová	2,0 V	20 mA
žlutá	2,0 V	20 mA
zelená	2,2 V	20 mA
modrá	3,5 V	20 mA
bílá	3,5 V	20 mA

- Laserová dioda – Laserová dioda emituje koherentní záření (záření vysílané ze zdroje, kde všechny elementární emitované vlny mají konstantní fázový rozdíl v čase a prostoru) a je vyrobena z monokrystalu GaAs. Čelní stěny 1 a 2, ze kterých vystupuje světlo, jsou zabroušeny tak, aby byly rovnoběžné a vyleštěny. Při malých proudech se chová laserová dioda jako dioda luminiscenční. Překročí-li proud prahovou hodnotu (asi 105 A cm^{-2} při 27°C), generuje oblast přechodu PN koherentní záření.



Obrázek 5.48: Hranově vyzařující laserová dioda; Plošně vyzařující laserová dioda

Při pouzdření laserových diod se využívá vlastnosti, že světlo může vycházet z laserového chipu dopředu i dozadu, je tedy možno zadní světlo použít k monitorování optického výkonu. Poměry mezi zářením dopadajícím na monitorovací diodu a zářením vystupující z laserové diody se pohybují od 10 % až 90 %. Jako monitorovací dioda se většinou k tomu používá fotodioda (PIN), která je umístěna v pouzdře v blízkosti laserového čipu. Tato dioda má alespoň jeden vývod samostatný a lze ji zapojit libovolně, jak ve fotorezistivním (závěrném) režimu, tak i ve fotovoltaickém režimu. Procházející proud je přímo úměrný záření laseru. Pouzdro laserové diody se většinou skládá z vlastního laserového čipu, monitorovací PIN diody, základní desky, na které jsou tyto části přilepeny, pinů (nožiček), spojů a krytu s okénkem, viz obrázek 5.49, které bývá u dražších laserových diod antireflektované nebo také skloněné. Mnohé z pouzder laserových diod určených pro telekomunikace obsahují také odrazné zrcátko a čočku, která fokusuje vycházející záření, viz obrázek 5.48. Toho se výhodně využívá při navazování záření do optických vláken. Jedná se o tzv. konektorované (typ receptacle) nebo pigtailované laserové diody. Celá dioda je hermeticky zapouzdřena.



Obrázek 5.49: Konstrukce laserové diody

5.7.3 Označování diod

1. písmeno – udává materiál (tabulka 5.13) a není jednoznačné

Tabulka 5.13: Značení diod - 1. písmeno

	ve světě	u nás	v Německu	v Rusku
Germaniová	A	G	G	Г
Křemíková	B	K	S	K

Američané mají naprosto jiné značení.

2. písmeno – udává typ diody

- A – dioda pro všeobecné použití nebo detekční dioda (nesnese žádné záporné napětí a od normální se liší ve velikosti).
- B – kapacitní (varikapy)
- E – tunelová dioda
- X – dioda pro kmitočtové násobiče (např. varaktor)
- Y – usměrňovací dioda
- Z – Referenční dioda (např. Zenerova)





3. písmeno

- Z – pokud 2.písmeno je Z (Zenerova dioda), tak značí referenční Zenerovu diodu (např: KZZ)
- R (rapid) – Schotkyho dioda (s přechodem kov-polovodič)
- S – normální dioda – odlišení od Schotkyho

5.8 Transily a bleskojistky

V elektrotechnice jsou přístroje sloužící k potlačení či omezení napěťového přepětí vznikajícího na přenosových vedeních v důsledku některých rušivých elektromagnetických dějů, např. blesku, elektrostatických výbojů, spínacích pochodů apod. Za přepětí můžeme považovat napětí, které je dvakrát větší než jmenovité napětí (U_n). Překročení jmenovité hodnoty napětí U_n o 10 až 20 % je považováno za normální provozní stav.

Tabulka 5.14: Přehled prvků přepětové ochrany

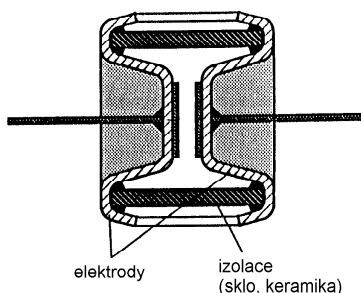
Název	Plynem plněné bleskojistky (výbojky)	Varistory VDR	Klasické Zenerovy diody	Supresorové diody (transil...)
Schematická značka				
Ochranné napětí [V]	10 až 12 000	6 až 2 000	2,4 až 200	6 až 440
Maximální proud po dobu 1 ms [A]	500	120	10	200
Maximální absorbovaná energie [J]	60	2 000	0,1	1
Přípustné výkonové zatížení [W]	800	2	50	5
Vlastní kapacita [pF]	0,5 až 10	40 až 40 000	5 až 15 000	300 až 15 000
Doba reakce [ns]	> 1 000	25	10	0,01
Druhy ochrany	hrubá	hrubá, jemná	jemná	jemná

V odborné literatuře se obvykle rozlišuje tzv. hrubá ochrana (hard limiter) a jemná ochrana (fine limiter). Kromě konstrukční odlišnosti se oba typy ochrany, tj. ochranných prvků,

liši zejména ochrannou úrovní napětí a rovněž rychlostí své reakce. Mezi základní ochranné přepětové prvky pro hrubou ochranu patří jiskřiště a plynem plněnébleskojistky (výbojky), hlavními druhy jemných přepětových ochran jsou varistory, Zenerovy diody a speciální lavičkové, tzv. supresorové polovodičové diody.

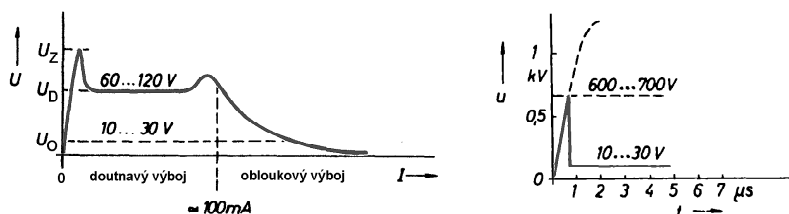
5.8.1 Prvky pro hrubou přepětovou ochranu

Historicky nejstarší přepětovou ochrannou součástkou je vzduchové jiskřiště, jež je určeno především k ochraně proti vyšším napětím, řádově od 1 kV do několika MV. Vzduchové jiskřiště je tvořeno dvěma elektrodami ve vzduchu, mezi nimiž při přepětí dochází k výboji.



Obrázek 5.50: Konstrukce bleskojistky

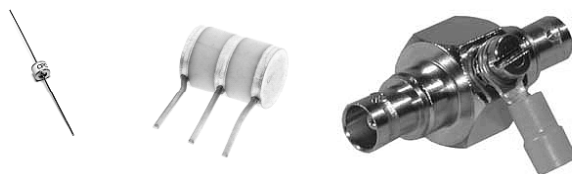
Dokonalejší a dnes nejčastěji používanou hrubou přepětovou ochranu představují plynem plněné výbojky (bleskojistky). Jejich elektrody jsou umístěny v keramickém či skleněném pouzdru naplněném vzácným plynem (argonem či neonem) pod slabým tlakem. Tato konstrukce zajišťuje vysokou přesnost a reprodukovatelnost parametrů výboje.



Obrázek 5.51: V–A charakteristika plynem plněné bleskojistky; Časový průběh strmého napětového pulsu

Při nízkém napětí je vliv výbojky na chráněný systém či obvod velmi nepatrný, izolační odpor výbojky je větší než $10^{10} \Omega$. Přesáhne-li napětí na výbojce hodnotu tzv. zápalného napětí U_Z , dojde k „zapálení“ výbojky a její odpor prudce klesá až o deset řádů. Výbojka přitom přechází do režimu doutnavého výboje, při němž je napětí mezi elektrodami omezeno na hodnotu 60 až 120 V. Umožní-li impedance obvodu, v němž je bleskojistka zapojena, aby jí protékal vyšší proud než přibližně 100 mA, přejde výbojka při těchto vyšších proudech do režimu obloukového výboje a napětí na ní klesne na nízké hodnoty 10 až 30 V.

Nevýhodou plynem plněných bleskojistek je poměrně dlouhá doba odezvy (jednotky až stovky mikrosekund), velká závislost zapalovacího napětí na strmosti nárůstu napětí a poměrně nízké napětí na oblouku, které ztěžuje samovolné zhasnutí oblouku po odeznění přepětí.



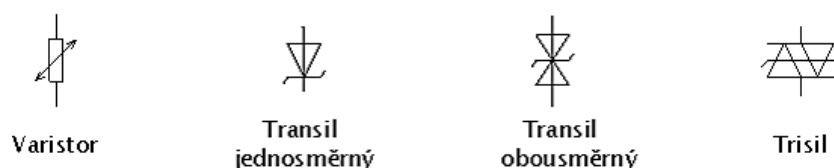
Obrázek 5.52: Příklady různých provedení bleskojistek. Širokopásmová koaxiální přepětová ochrana s plynovou bleskojistkou, určená pro ochranu společných TV antén, zesilovačů a rozvodů TV signálů v pásmu $50 \div 950$ MHz s připojením koaxiálními konektory typu BNC

Pro jejich použití jako přepětových ochranných v obvodech nízkého napětí je proto třeba zajistit vnější obvodové podmínky pro zhasnutí oblouku, příp. zapojit tavné pojistky do vnějšího obvodu bleskojistky. I přes tyto nevýhody jsou dnes plynem plněné výbojky základním prvkem hrubých přepětových ochranných elektrotechnických a elektronických zařízení i energetických a telekomunikačních vedení. Jejich předností jsou vysoké sváděné proudy, vysoká výkonová zatížitelnost a velmi malá vlastní kapacita, která je nejnižší ze všech ochranných přepětových prvků uvedených v tabulce 5.14.

Konstrukčně se bleskojistky vyrábějí buď jako „klasické“ součástky s drátovými přívody, nebo v podobě „kapslí“ s plošnými kontakty pro montáž do koaxiálních vedení, průchodek a konektorů.

5.8.2 Prvky pro jemnou přepětovou ochranu

Mezi tyto prvky patří především tzv. varistory (Variable Resistore), transily, trisily a Zenerovy diody. Jsou to polovodičové prvky využívající nelineárních $V-A$ charakteristik, kdy se součástka začne rychle otevírat. Zenerova dioda, transil, trisil stejně jako varistor se zapojuje paralelně ke chráněnému obvodu. Dojde-li k přepětí, jsou tyto prvky schopny pohltit poměrně značný krátkodobý impuls. Rozhodně se však nehodí k trvalému zatížení. Důležitou vlastností je to, že k aktivaci jejich funkce dochází po příchodu rázové vlny napětí s nepatrným časovým zpožděním, řádově v rozmezí jednotek nanosekund (varistor), respektive desítek až stovek pikosekund (transil, trisil).

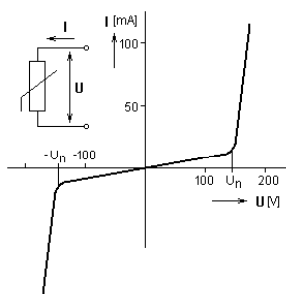


Obrázek 5.53: Varistor; Transil jednosměrný; Transil obousměrný; Trisil

Varistor

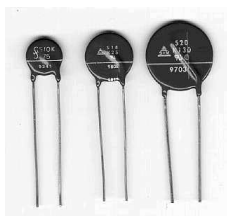
Varistor je napěťově závislý nelineární prvek pracující na principu skokové změny impedance ve hmotě vyrobené lisováním a spékáním práškové směsi složené z oxidů některých kovů. Přesto, že varistory fungují na zcela jiném fyzikálním principu než jiskřiště, z elektrického hlediska je jejich chování podobné jako u jiskřiště. Pokud je hodnota napětí na jeho svorkách nižší než tzv. kritická hodnota napětí, chová se varistor jako „rozpojený“. Při dosažení

kritického napětí se začne ve varistoru lavinovým způsobem zvyšovat hodnota protékajícího proudu, což vede k výraznému zvyšování teploty tzv. lokálních mikrooblastí. To má za následek další lavinovitý nárůst proudu tekoucího varistorem až do stavu „otevřeno“. Hodnota napětí na otevřeném varistoru výrazně poklesne pod hodnotu kritického napětí. Tento stav trvá do té doby, než hodnota proudu tekoucí varistorem neklesne pod tzv. kritickou nebo též přídržnou hodnotu. Pak dojde k obnovení jeho nevodivého stavu.



Obrázek 5.54: V-A charakteristika varistoru

Další výhodou varistoru je to, že je možné určitou technologií významně zvětšit kapacitu varistoru. Lze ho tak využít i jako ochranu proti indukovaným špičkám vysokofrekvenčního rušení. Běžně se proti tomuto rušení k ochraně vstupů používají blokovací kondenzátory. U varistorů je možné dosáhnout kapacity řádově stovky až statisíce pikofaradů. Jednou součástí se tak ušetří potřebný prostor i celkové náklady. Proto se stále ve větší míře používají i v mnoha nízkonapěťových obvodech včetně moderní elektroniky automobilů.



Obrázek 5.55: Provedení varistorů

V některých případech nelze z důvodu vysoké hodnoty parazitní kapacity varistors jako přepětiovou ochranu použít, např. u videotechniky, kde je požadována značná šířka přenášeného kmitočtového pásma chráněného signálu.

Hlavní parametry varistorů

- U_{rms} – max. hodnota sinusového napětí trvale připojeného
- U_{dc} – maximalní hodnota stejnosměrného napětí trvale připojeného
- U_c – Špičková hodnota napětí při proudovém impulsu
- I_c – Špičková hodnota opakovaného impulsu
- P – max. výkon opakovaných proudových impulsů

Příklady několika typů:

- SIOV-S20K20 – Varistor: $U_{ef} = 20 \text{ V}$, $33 \text{ V}/1 \text{ mA}$, $22.5 \times 4,5 \text{ mm}$
- VCR-07D275V – Varistor: 275 V AC , 350 V DC , $U = 430 \text{ V}/1 \text{ mA}$, $9,0 \times 5,7 \text{ mm}$, RM5, $I_p = 1200 \text{ A}$

Transil

Moderním přepěťovým prvkem pro jemnou ochranu jsou polovodičové lavinové diody. Ve formě Zenerových diod jsou běžně užívané v elektronických omezovačích a stabilizátorech napětí již řadu let. Pro přepěťové ochrany se užívají Zenerovy diody s hodnotami Zenerova, tj. ochranného napětí od 3 V do 200 V. Pro ochranu vůči rychlým přepěťovým impulsům byly vyvinuty speciální křemíkové lavinové diody, které proti „klasickým“ Zenerovým diodám vykazují vyšší proudovou zatížitelnost v závěrné Zenerově oblasti, kratší reakční dobu (řádově jednotky až desítky ps) a schopnost absorbovat větší energii signálu. Tyto speciální diody se dodávají pod názvem supresorové diody, či pod obchodními názvy, např. Transil. Supresorové diody jsou obvykle zapouzdřeny jako pár diod zapojených antisériově proti sobě, vzniká tak bipolární součástka se symetrickou V-A charakteristikou, velmi podobnou charakteristice varistoru.

Transil je napěťově závislý polovodičový prvek s V–A charakteristikou podobnou V–A charakteristice Zenerovy diody. To znamená, že pokud hodnota napětí na svorkách prvku je nižší než hodnota ochranného napětí na prvku vyznačeného, protéká jím pouze nepatrný proud a stav prvku je blízký stavu „rozpojeno“. Hodnota ochranného napětí se udává při jmenovitém měřicím proudu 1 mA. Při zvýšení hodnoty napětí nad hodnotu ochranného napětí prudce klesá hodnota tzv. diferenciální impedance. To prakticky znamená, že na rozdíl od varistorů neklesá hodnota napětí na transilech pod hodnotu ochranného napětí ani v „otevřeném“ stavu. V propustném směru se transil chová jako běžná dioda.

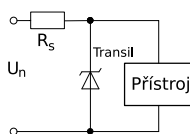
Výkonová ztráta platí pouze pro krátký okamžik jedné milisekundy. Při delším impulsu a celkově malém odporu chráněného obvodu může dojít k proražení transilu. Proto by v obvodu neměla chybět pojistka, která při zkratovém proudu obvod přeruší.

Ochranné diody typu transil se vyrábí jak v provedení jednosměrném, tak i obousměrném. Jednosměrné provedení se používá k potlačení přepětí pouze jedné polarity, obousměrný transil je vhodný pro potlačení přepětí obou polarit. Obousměrný transil lze obejít zapojením dvou jednosměrných transilů do série proti sobě.

Trisil

Trisil je vícevrstvá symetrická polovodičová součástka s charakteristikou podobnou triaku a funkcí připomínající diak. V provozním stavu jím prochází nepatrný proud, avšak překročením spínacího napětí U_{BR} , tj. s příchodem napěťového impulsu ihned sepne a napětí (a impedance) na něm klesne na nepatrnou hodnotu. Tím prakticky zkratuje přístroj, ke kterému je připojen, a chrání jej tak před zvýšeným napětím. Pokud by v obvodu nebyl zařazen odpor, jednalo by se o zkratový proud, který může trisil zničit. Pomine-li příčina mžikového sepnutí trisilu a proud klesne pod úroveň vratného proudu I_H , součástka opět nabývá původních vlastností v obvodu.

R_s představuje součet všech odporů od zdroje až po chráněný přístroj.



Obrázek 5.56: Zapojení transilu nebo trisilu při ochraně elektronického zařízení

Hlavní parametry transilu a trisilu

- U_{RM} – maximální závěrné napětí
- U_{BR} – spínací napětí, při kterém prudce vzrůstá proud (koleno na VA charakteristice)
- U_{CL} – maximální napětí při maximálním proudovém impulsu
- I_{PP} – špičkový proud v pracovním režimu
- P_P – ztrátový výkon za dobu 1 ms

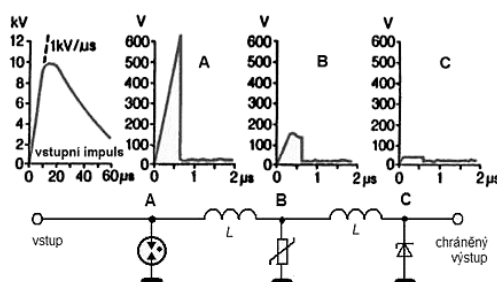
Příklady několika typů

- Základní řada transilů typu BZW. Dodávané hodnoty: 5V8, 12V, 18V, 22V, 36V, 39V, 75V.
- BZW06-12V – Transil jednosměrný 12 V, 600 W, DO126
- P6KE6V8-BIDIR – Transil obousměrný 6,8 V, 600 W, DO15
- P6KE400-BIDIR – Transil obousměrný 400 V, 600 W, DO15

5.8.3 Obvodové zapojení přepětových ochran

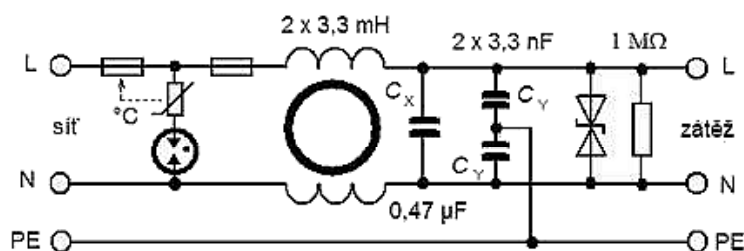
Lze říci, že neexistuje univerzální ochranný přepětový prvek (součástka), který by vyhověl všem – často protichůdným požadavkům na přepětovou ochranu jakéhokoli elektronického zařízení. Hlavními protikladnými požadavky v tomto směru bývají vysoký propustný proud a vysoké výkonové zatížení součástky na jedné straně a rychlost reakce přepětové ochrany na straně druhé. Pro účinnou přepětovou ochranu se proto ochranné obvody zapojují prakticky vždy jako tzv. kombinované ochrany tvořené kaskádním zapojením několika typů ochranných prvků do společného vedení.

Zapojení je tvořeno kombinací plynem plněné bleskojistky jako hrubé přepětové ochrany a kaskádou varistoru a supresorové Zenerovy diody jako jemných přepětových ochran. Jak je naznačeno na napětových průbězích v jednotlivých bodech zapojení na obrázku 5.57, bleskojistka omezí špičkovou velikost strmého vstupního přepětového impulsu na asi 600 V, tuto hodnotu pak varistor omezí na asi 150 V a následně Zenerova dioda sníží toto omezení na úroveň asi 40 V. Protože rychlejší prvky jemné ochrany by reagovaly dříve než výkonové, leč pomalejší hrubé ochrany (bleskojistka), omezily by tyto prvky vstupní napětovou vlnu dříve. Tím by však došlo jednak k vyřazení hrubé ochrany (bleskojistka by vůbec „nezapálila“), jednak k nepřipustnému přetížení prvků jemné ochrany příliš vysokým napětím. Z tohoto důvodu je třeba jednotlivé stupně kombinované ochrany oddělit zpoždovacími články LC či RC, které jsou tvořeny buď sériovými indukčnostmi většími než 20 μH nebo rezistory s odporem větším než 5 Ω .



Obrázek 5.57: Zapojení třístupňové kombinované přepětové ochrany s průběhy napětí v jednotlivých bodech

Přepětové ochranné prvky se staly běžnou součástí odrušovacích filtrů LC. Vznikly tak odrušovací filtry EMP. Hlavním úkolem přepětových ochranných prvků v těchto filtrech je omezit velikost přepětových rušivých impulzů, které se mohou dostat na vstup filtru, a tím snížit nároky na velikost vložného útlumu vlastního filtru LC.



Obrázek 5.58: Příklad zapojení síťového odrušovacího filtru

5.9 Vícevrstvé spínací obvody

Tyto součástky se používají zejména ke spínání střídavých signálů. Pro jejich uvedení do sepnutého stavu stačí přivést krátký proudový impuls do jejich řídicí elektrody (tyristor, triak). Diak spíná samovolně při překročení určité hodnoty napětí na svých elektrodách. Vypínání tyristoru a triaku se děje samovolně při poklesu procházejícího proudu pod přídržnou hodnotu, u diaku při poklesu napětí. Z uvedených vlastností je zřejmé, že při použití ve stejnosměrných obvodech nevyhnu samovolně, ale potřebují zvláštní vypínací obvody.

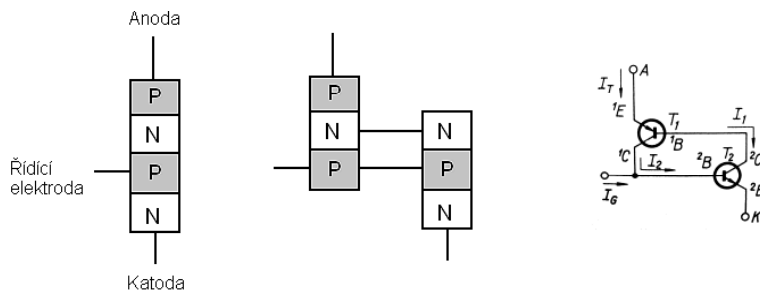
5.9.1 Tyristor

Tyristor, je čtyřvrstvá polovodičová součástka se třemi přechody PN. Můžeme si ho představit jako řízený ventil, který slouží ke spínání a k řízení výkonu spotřebičů.

Tyristor se chová jako dioda, u které je možno stanovit okamžik sepnutí v obvodech střídavého napětí v rozsahu kladné půlperiody. Řídicí signál má kladnou polaritu. Záporná půlperioda tyristorem neprochází.

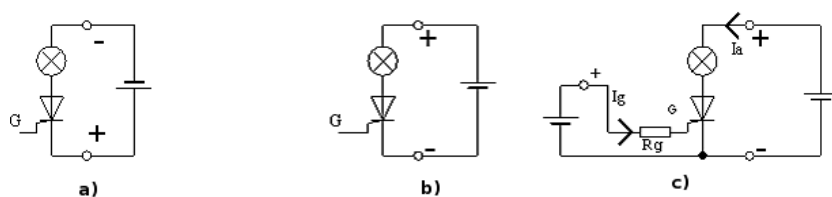
Tyristor má tři elektrody A – anodu, K – katodu, G – řídicí elektrodu. Můžeme si ho představit jako zapojení dvou tranzistorů podle obrázku 5.59. Nejčastější struktura tyristoru

PNPN – řídicí elektroda G je polovodič typu P, méně často z technologických důvodů NPNP (horší dosažené parametry u výkonových tyristorů) – řídicí elektroda G je pak polovodič typu N (umístněna u anody).



Obrázek 5.59: Složení a náhradní zapojení tyristoru

Tři základní stavy tyristoru



Obrázek 5.60: Stavy tyristoru: a) závěrný; b) blokující; c) propustný

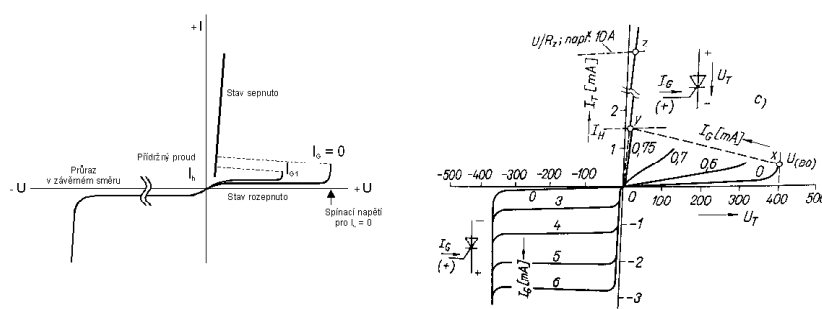
- **ZÁVĚRNÝ** – tyristor je polarizován nepropustně, neprochází žádný proud, uplatňuje se v obvodech střídavého proudu k rozepnutí. Napětí A–K je rovno napájecímu napětí.
- **BLOKOVACÍ** – tyristor polarizován v propustném směru, blokován řídicí elektrodou G, připraven k sepnutí.
- **PROPUSTNÝ** – tyristor polarizován v propustném směru, přivedením kladného U_{GT} při dosažení dostatečné hodnoty I_{GT} tyristor sepne, teče proud obvodem anoda-katoda (vzniká přídržný proud I_L). Vzhledem k více přechodům je na tyristoru úbytek napětí přibližně 1,5 až 3 V.

Sepnutí a rozepnutí tyristoru

- **SEPNUTÍ** – přechod z blokovacího do propustného stavu. Anoda musí mít vůči katodě kladný potenciál. K sepnutí pak dojde zvýšením napětí nad průraznou hodnotu U_{BO} , nebo přivedením kladného napětí na řídicí elektrodu. Tyristor zůstává v sepnutém stavu i po přerušení napětí na řídicí elektrodě. Stačí tedy přivést jen krátký puls na řídicí elektrodu, aby došlo k sepnutí tyristoru. U fototyristorů dochází k sepnutí přivedením světelného pulsu na přechod NP.

- ROZEPNUTÍ – přechod z propustného do závěrného stavu. Toho lze dosáhnout
 - přerušením obvodu A–K
 - poklesem propustného proudu pod hodnotu přídržného proudu I_H
 - nebo komutací anodového napětí do závěrného směru

Rozepnutí automaticky nastane poklesem I_H v obvodu pulzujícího stejnosměrného napětí a ve střídavém obvodu.



Obrázek 5.61: Voltampérová charakteristika

Použití tyristorů

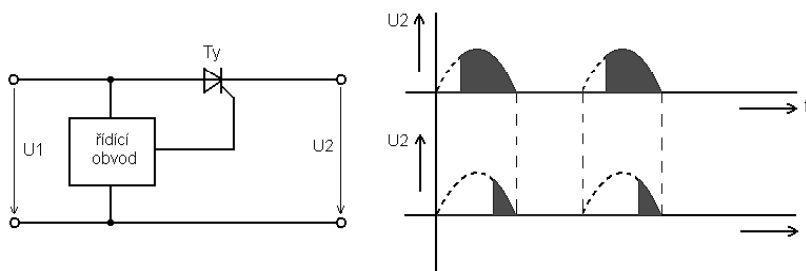
Tyristor se používá jako spínací prvek, kdy přivedením spínacího impulsu na řídicí elektrodu dojde k jeho sepnutí, a tím k průchodu proudu do dalšího obvodu. Proto se tyristor dá použít k regulaci výkonu spotřebičů a v usměrňovači k řízení výstupního usměrněného napětí od nuly do maxima.

Tyristory se vyrábějí pro napětí od stovek voltů do několika kV a pro proudy od jednotek A do několika kA. Je možné je použít i pro spínání stejnosměrných obvodů. Pak je nutné se postarat o vypínání tyristoru speciálním obvodem, který např. sepnutím kondenzátoru k anodě tyristoru na chvíli „převzme“ proud obvodem, a tím proud tyristorem klesne pod hodnotu přídržného proudu I_H . Pro obvody se stejnosměrným napětím je typické řízení výkonu impulsem stejné šíře a změnou frekvence (např. u tramvaje, trolejbusu). Pro obvody střídavého napětí, kde je kmitočet dán, se mění výkon změnou šířky aktivní části periody, tj. části periody, po kterou je zátěž připojena ke zdroji – fázové řízení.

Tyristor v obvodu střídavého a pulzujícího (usměrněného) proudu lze spínat pomocí tzv. fázového řízení, čímž můžeme téměř bezztrátově řídit značné výkony.

Řídicí obvod, kterým může být i jednoduchý RC článek, zajišťuje sepnutí tyristoru v určité části periody síťového napětí. Ten pak zůstává sepnutý až do konce půlperiody. Tak je možné regulovat výkon od nuly do 50 % plného výkonu v obvodech střídavého proudu. Plného výkonu (téměř 100 %) lze dosáhnout dvojím způsobem – buď použijeme před tyristorem dvoucestné usměrňování, takže na tyristoru bude vždy jen napětí jedné polaroty, nebo použijeme dva antiparalelně zapojené tyristory.

Nevýhodou je vysoká úroveň rušivých signálů vznikajících při sepnutí a rozpěpnutí, zejména při indukční zátěži. Problém je možno řešit použitím odrušovacích RC a LC členů. Další mož-



Obrázek 5.62: Fázové řízení tyristoru v obvodu střídavého a pulzujícího proudu

ností je spínání při průchodu signálu nulou, výkon je pak regulován poměrem sepnutých a nesepnutých period. Skutečné řídicí obvody jsou dnes provedeny v integrované podobě.

Další nevýhodou je, že v těchto zapojení hrozí nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Prostřednictvím řídicí elektrody se dostává fázové napětí k řídicímu obvodu. Aby nedošlo k ohrožení obsluhující osoby, musí se část řídicího obvodu galvanicky oddělit od řídicí elektrody G. K tomu účelu spolehlivě slouží různé optoelektronické prvky nebo impulsní transformátory.

Hlavní parametry tyristorů

- U_R – napětí v závěrném směru
- U_{FD} – napětí v propustném směru
- U_D – blokovací napětí
- I_{TAV} – proud tyristoru střední
- I_{FAV} – maximální proud sepnutého tyristoru
- I_{GT} – proud řídicí elektrodou
- I_{GTmax} – maximální hodnota zapínacího proudu
- I_L – proud přídržný spínací

Teplota přechodů je max 130 °C, v praxi chladit na provozní teplotu max 95 °C. Různá pouzdra podobná tranzistorům, pozor na možnou záměnu.

Příklady několika typů tyristorů

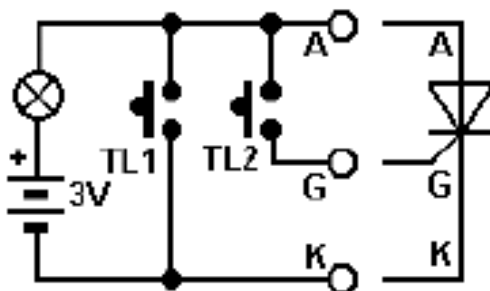
- BRX45 – $U_R = 60 \text{ V}$, $I_{TAV} = 3 \text{ A}$, $I_{GT} = 0,2 \text{ mA}$, pouzdro TO92
- TIC106M – $U_R = 600 \text{ V}$, $I_{TAV} = 0,8 \text{ A}$, $I_{GT} = 20 \text{ mA}$, pouzdro TO220
- KT201/200 – $U_R = 200 \text{ V}$, $I_{TAV} = 3 \text{ A}$, $I_{GT} = 20 \text{ mA}$, pouzdro TO220 (starý typ TESLA)

Závady

Tyristory, hlavně vysokonapěťové, patří mezi poruchovější součástky, zvláště pokud pracují do indukčních zátěží (regulace motorů, nabíječe apod.).

Kontrola

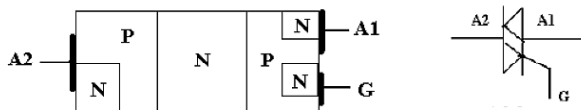
Při podezření na vadnou součástku je vhodné tyristor vypájet z desky, popř. odpojit alespoň dvě elektrody a funkci tyristoru vyzkoušet pomocí přípravku. Stlačením tlačítka TL_2 sepne tyristor a žárovka se rozsvítí. Po uvolnění TL_2 musí stále svítit (tyristor je v pořádku). Po stlačení a následném uvolnění tlačítka TL_1 musí žárovka zhasnout.



Obrázek 5.63: Přípravek na kontrolu tyristoru

5.9.2 Triak

Vývoj triaku byl veden snahou řídit okamžik sepnutí během celé periody řídicími signály obou polarit. Tyto požadavky splňuje pětivrstvá struktura NPNPN. V náhradním schématu se vlastně jedná o dva antiparalelně zapojené tyristory. Tomu také odpovídá i schematická značka. Kromě řídicí elektrody G má triak anodu A_1 a anodu A_2 .



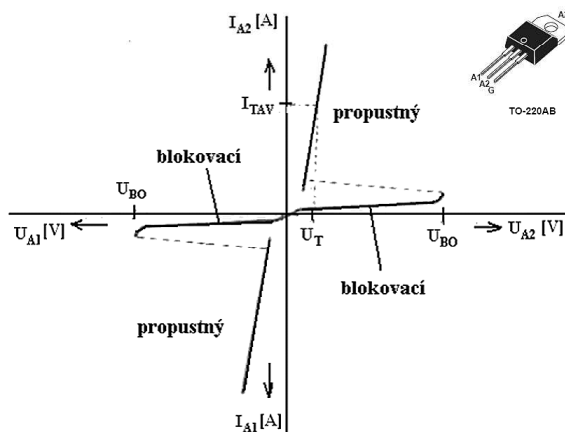
Obrázek 5.64: Vnitřní struktura triaku a schematická značka

Triak může spínat střídavý proud procházející mezi hlavními elektrodami A_1 a A_2 a řídí se proudem libovolné polarity mezi elektrodou (A_1 nebo A_2) a řídicí elektrodou (G). Tím vznikají čtyři možnosti spínání (zapojení) triaku v obvodu. Pro uvedené možnosti spínání má triak různou citlivost³ (různou velikost proudu I_{GT}).

Popis funkce

U triaku existuje při obou směrech proudu I_{A1} a I_{A2} blokovací i propustný směr. Blokovací stav trvá do té doby, než napětí kladné nebo záporné polarity na G dosáhne hodnoty zapalovacího napětí U_{GT} . Pak proteče proud I_{GT} a triak se otevře – sepne. Přitom prudce klesne napětí mezi anodami (viz hodnota U_T na charakteristice) a tento propustný stav umožní tok velkého proudu (I_{TAV}). Triak zůstává otevřen až do doby přerušení proudu nebo výrazného poklesu proudu pod hodnotu přídržného proudu I_L .

³možnost A_1+ a $G-$ se nedoporučuje



Obrázek 5.65: VA charakteristika triaku s blokovacími a propustnými směry; Pouzdro triaku

Zatímco tyristory byly vyrobeny pro řízení výkonů až do řádu megawattů, triaky vzhledem ke své složitější struktuře, a tím větší náchylnosti na průraz, se více používají k regulaci menších výkonů, např. pro regulaci intenzity domácího osvětlení, otáček vrtaček, vysavačů apod.

Jejich výhodou tkívá v jednoduchosti zapojení. Triak lze řídit tak jako tyristor fázovým řízením. Pro fázové řízení byly vyvinuty integrované obvody, které umožňují „lineární“ řízení fáze spouštění. Tyto integrované obvody jsou napájeny přímo ze sítě, a tak pro konstrukci např. regulátoru otáček motoru stačí triak, tento integrovaný obvod, potenciometr a několik málo dalších součástek.

Vzhledově se triak neliší od tyristoru. Nejčastěji se jedná o pouzdro TO220, ale vyrábějí se v menších nebo větších pouzdrech jako tranzistory. Také základní parametry triaků se v podstatě neliší od parametrů tyristorů.

Příklady několika typů triků

- BT136/600 – $U_{DRM} = 600$ V, $I_{TAV} = 4$ A, $I_{GT} = 5$ mA, pouzdro TO220
- TIC206D – $U_{DRM} = 400$ V, $I_{TAV} = 3$ A, $I_{GT} = 10$ mA, pouzdro TO505
- TIC263M – $U_{DRM} = 600$ V, $I_{TAV} = 25$ A, $I_{GT} = 50$ mA, pouzdro TOP3

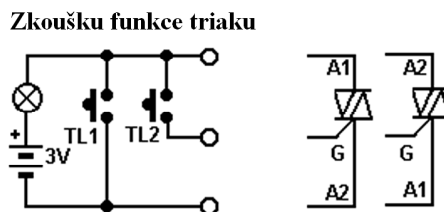
Zkouška funkce triaku

Zkoušku provádíme stejným způsobem jako zkoušku tyristorů s tím rozdílem, že při přepólování musí triak žárovku opět rozsvítit a následně zhasnout.

Při stejném pouzdru lze tímto způsobem od sebe rozlišit tyristor a triak.

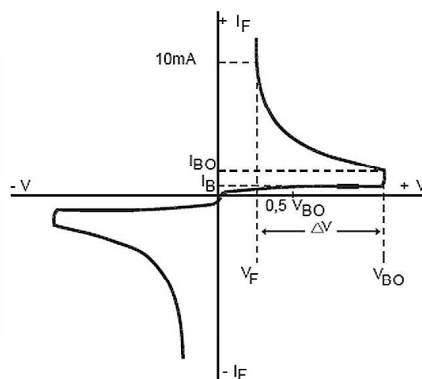
5.9.3 Diak

Diak je třívrstvá dvupólová, teoreticky symetrická, polovodičová nelineární součástka určená pro spínací účely. Vzhledem k organizaci polovodičových vrstev, je vždy, bez ohledu na polaritu přiloženého napětí, jeden z přechodů PN připojen v propustném a druhý v závěrném



Obrázek 5.66: Přípravek pro kontrolu triaku

směru. Pokud je přiložené napětí menší než napětí blokovací, prochází, vlivem závěrně polarizovaného přechodu, jen velmi malý proud. Při dosažení hodnoty blokovacího napětí U_{BO} se proud zvýší při současném poklesu napětí na hodnotu napětí U_F , která je asi o 5 V nižší než spínací napětí (viz VA charakteristika). Pokud vnější odporová síť zajistí, aby nebyl diak přetížen, je nárůst proudu (otevření diaku) vratné. Diak lze vypnout snížením procházejícího proudu pod hodnotu I_{BO} .



Obrázek 5.67: VA charakteristika diaku

Velikost U_{BO} se nalézá v rozmezí přibližně od 25 V do 40 V. Nejčastěji se vyrábějí diaky pro $U_{BO} = 28 \div 36$ V a $U_{BO} = 35 \div 45$ V. Toto napětí je stálé a s teplotou polovodičového prvku se nemění.

Největší využití našel diak v řídicích obvodech tyristorů a triaků, ke kterým byl speciálně konstruovaný. Vzhledem připomíná diodu (např. v pouzdru DO35) s barevným proužkem uprostřed.

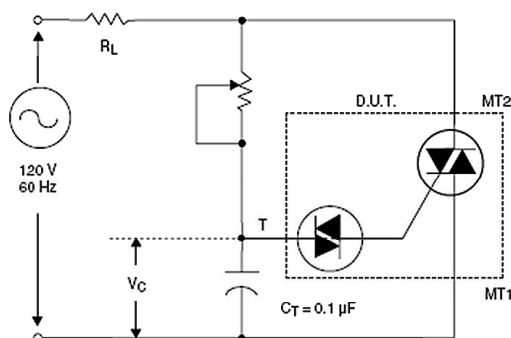
Základní parametry

- U_{BO} – spínací napětí v propustném směru
- I_{BO} – spínací proud
- I_{FRM} – maximální propustný proud opakovatelný ($t = 20 \mu s$)
- ΔU – pokles napětí z hodnoty U_{BO}
- P – ztrátový výkon

Příklady několika typů

- DB3 – $U_{B0} = 28 \div 36 \text{ V}$, $I_{B0} < 0,1 \text{ mA}$, DO35
- DB4 – $U_{B0} = 35 \div 45 \text{ V}$, $I_{B0} < 0,1 \text{ mA}$, DO35

Na obrázku je příklad zapojení fázové regulace pomocí diaku a triaku v jednom pouzdru. Q4010LT (triak+diak): 400 V, 10 A, TO220



Obrázek 5.68: Příklad použití kombinovaného prvku (triak a diak)

S rozšířením integrovaných obvodů, konstruovaných pro řízení tyristorů a triaků, ztratil diak na významu, a proto se používá jen zřídka.

5.10 Optoelektronické vazební součástky

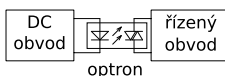
5.10.1 Optokopler (optron, optoelektronické vazební členy – OVČ)

Optokopler je součástka, která má za úkol přenést signál z jednoho obvodu do jiného, přičemž oba obvody mají být bezpečně galvanicky odděleny. Skládá se ze dvou dokonale odizolovaných částí. Jedna vysílá signál prostřednictvím infračerveného záření, druhá signál přijímá a předává dalšímu obvodu. Mezi oběma částmi je zakrytý izolační prostor, kterým prostupují zmíněné infračervené paprsky. Obě části, jak součástka emitující světlo, tak součástka přijímající světlo, jsou umístěny v jednom, neprůhledném pouzdře. Nejsou tak ovlivňovány okolním parazitním světlem.

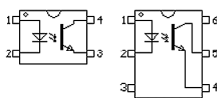
Vysílací část zapojujeme do řídicího obvodu, přijímací část do řízeného obvodu.

V různých aplikacích se používají různé typy optoelektronických vazebních členů, od spínání relativně malých napětí a proudů (LED - fotodioda) až po spínání např. síťového napětí (LED - fotodiak) pro spínání tyristoru, triaku.

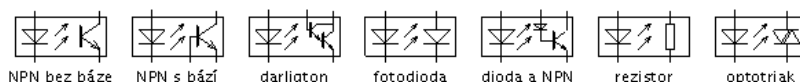
Optoelektronické vazební členy jsou zabudovány v pouzdrech DIL se čtyřmi nebo šesti vývody, někdy je v pouzdru více optočlenů, pak má i přiměřený počet vývodů. Požadovaná elektrická pevnost (izolační napětí) je většinou 2,5 a 5 kV.



Obrázek 5.69: Schéma optronu



Obrázek 5.70: Schéma zapojení optronu v pouzdře DIL



Obrázek 5.71: Značky různých opfoelektronických vazebních členů

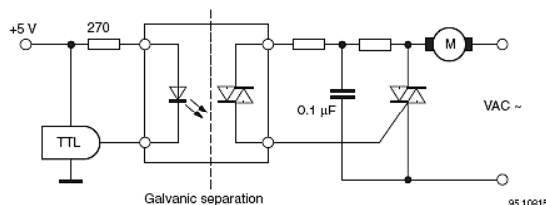
Schematické značky se liší použitím optoelektronických členů v přijímací části.

Vysílací část – jako zdroj infračerveného záření slouží infračervená světelná dioda. Má nepatrné rozměry, vystačí s malým příkonem, pracuje v lineární části charakteristiky a dokáže přenášet vysokofrekvenční signál.

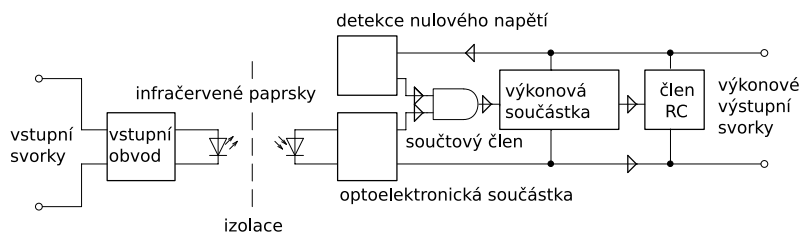
Přijímací část – se liší podle použitých optoelektrických členů. Tyto prvky ovlivňují tzv. proudový přenos, což je poměr velikosti proudu tekoucího na vysílací straně a proudu vyvolaného v prvku na přijímací straně. Proudový přenos (CTR) se udává v procentech a lze ho chápat jako „účinnost“ optoelektronického vazebního členu. Čím vyšší procento, tím větší účinnost, bývá nejčastěji v rozpětí desítek až řádově stovek procent.

Přijímací prvky optoelektronických vazebních členů

- Fotodioda* – vykazuje nejnižší proudový přenos CRT (1%), avšak pracuje s kmitočty přes 10 kHz, při malém vlastním šumu.
- Fototranzistor* – CTR je asi 10%, avšak za cenu menší šíře přenášeného pásma. Je-li vyvedena báze, umožňuje linearizovat přenos ovlivňováním pracovního bodu z venku.
- Fotodioda+tranzistor* – CTR až 60–80%, nutno ale počítat se zúžením přenášeného pásma a se zvýšeným šumem.
- Fotodioda+Darlington* – CTR je velký, řádově stovky procent, ale roste i šum. Většinou je vyvedena báze druhého tranzistoru, což umožňuje linearizovat přenos.
- Fotodarlington* – CTR obvykle 500–1000%, avšak s menší šíří pásma.
- Optotriak* – od ostatních optoelektronických vazebních členů se liší hlavně tím, že je určen pro spínání zátěže v obvodu střídavého proudu. Přijímací strana optoelektronického vazebního členu spíná například výkonové relé, výkonový tyristor, triak. Ty jsou pak takto bezpečně odděleny od řídicí části. Jinak řečeno, zamezí kontaktu obsluhy s fázovým napětím. Spínací proud optotriaků není velký, obvykle kolem 100 mA, což ale postačí pro spínání dalších výkonových prvků (relé, stykačů. . .) Některé spínají v nule, což znamená, že neprodukují rušení.



Obrázek 5.72: Příklad použití optotriaku v obvodu



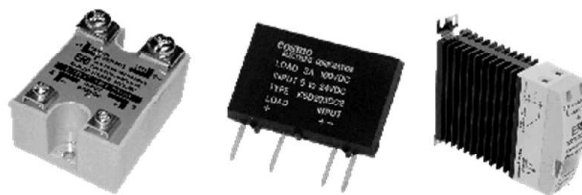
Obrázek 5.73: Blokové schéma SSR

5.11 Solid State Relay (SSR – relé v pevné fázi)

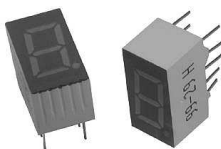
SSR je moderní náhrada za elektromechanická relé a stykače. Vyrábí se nejčastěji v provedení pro jednu nebo tři fáze o přípustných proudech od jednotek po stovky ampér. Vnitřně jsou realizovány pomocí různých druhů tyristorů nebo moderními IGBT tranzistory. SSR relé musí být vybaveny přepětovou ochranou (např. varistorem), připojenou paralelně přímo na výkonové svorky relé u každé fáze.

Výhody, které přináší relé SSR oproti mechanickým relé a stykačům:

- Zpravidla spínání při průchodu proudu nulou (díky této vlastnosti nedochází k velkým proudovým nárazům, k produkování rušení a přepětí v síti, jako je tomu u mechanických relé a stykačů).
- Tichý, spolehlivý provoz s dlouhou životností (neopalují se kontakty...)
- Malé rozměry, velké výkony, vysoká závěrná napětí.
- Vhodné pro vyšší frekvence spínání (typicky pro PID regulaci, BurstFire...).
- Ovládání malým napětím např. do 32 V (ale třeba i 230 V) stejnosměrným i střídavým.



Obrázek 5.74: Příklady SSR



Obrázek 5.75: Sedmisegmentové zobrazovací jednotky LED s dekadickými číslicemi

Vstupní elektrický signál je konvertován pomocí LED diody na optický signál, který je přijat optopřijímačem na výstupní straně. Zde je opět konvertován na elektrický signál a porovnáván s výstupním signálem obvodu, detekujícím průchody napětí nulou. Vyhodnocovací obvody pak umožňují otevřít výstupní spínací prvky – triak, IGBT, antiparalelně zapojené tyristory. SSR je navíc doplněn o obvod RC pro potlačení napěťových špiček.

Rozměrově větší součástky SSR vyžadují chladič, protože spínají velké proudy. Proto jsou tato SSR konstrukčně uzpůsobena k připojení venkovního chladiče. Naproti tomu se vyrábějí i rozměrově malé součástky v pouzdrech DIL6 (DIL8), kompatibilní s číslicovými obvody TTL. Vývody vstupní strany, tj. infra-LED, jsou označeny + a –. Jejich polaritu nutno respektovat.

5.12 Zobrazovače

Zobrazovače (displeje, číslovky) jsou optická zařízení, která přijímají různá sdělení či údaje elektrickou cestou a opticky je zobrazují v číselné, slovní nebo grafické podobě. V současnosti se používají displeje s LED diodami, nejvíce se však ve spotřební elektronice používají multifunkční displeje LCD, pracující na bázi tzv. tekutých krystalů.

Displeje LED obsahují LED diody, které jsou uspořádány do sedmisegmentovek, kterými lze zobrazit číslice „0“ až „9“. Displeje jsou jak elektricky, tak mechanicky velmi odolné, levné a vykazují dlouhou životnost. Mezi jejich nespornou výhodou patří zejména dobrá viditelnost i za tmy, protože LED diody světlo vyzařují. Naopak při vysokém jasu okolí jsou obtížně čitelné. Další nevýhodou pak představuje jejich vysoká spotřeba proudu.

Číslo je zobrazeno pomocí segmentů, které jsou tvořeny světelnými diodami ve tvaru tenkého proužku. Barvy: červená, zelená, žlutooranžová, světle modrá. Zobrazení čísla vznikne vhodnou kombinací segmentů.

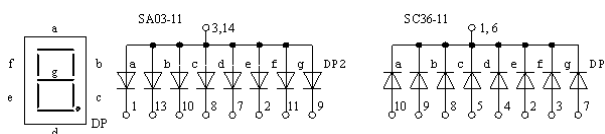
Pouzdro obdélníkového tvaru, v základním provedení ve velikosti přibližně pouzder pro IO (možnost použít patice). V jednom pouzdru je různý počet číslovek. Displej obsahuje i dvě tečky, některé i tzv. znakovky „+“, „–“.

Uvnitř zapojení jsou spolu spojeny katody anebo anody (méně vývodů), a proto rozlišujeme dvě základní skupiny – se společnou katodou (SC) a se společnou anodou (SA). Zapojení je třeba zjistit z katalogového listu konkrétní číslovky (displeje).

Ve statické provozu, kde diody spínají dekodéry, používáme číslovky se společnou anodou (SA).

U číslovek typu SA společnou anodu připojujeme na kladné napájecí napětí a jednotlivé katody připojujeme přes odpory, kterými nastavujeme potřebný proud (10 až 30 mA). Úbytek napětí na LED dle barvy. Analogicky pro SC.

Protože se diody LED rychle zapínají a vypínají, hodí se dále především pro multiplexní provoz. V tomto provozu nejsou diody LED jednotlivých segmentů napájeny stejným proudem, nýbrž impulzy. V důsledku toho sice diody blikají. Při dostatečně vysokém multiplexním kmitočtu je blikání nepostřehnutelné, díky setrvačnosti lidského oka. Multiplexní



Obrázek 5.76: Příklad zapojení společná anoda SA, společná katoda SC (SA36-11EWA - jednomístný LED displej 9,1 mm, červený, SA, 0,8-1,9mcd/10mA, 625nm)

buzení má smysl u vícemístných displejů, protože se tak dá ušetřit značný počet přívodů a je nižší spotřeba.

Displeje LCD (Liquid Cristal Diode) jsou svou konstrukcí již složitější. Základním materiálem pro jejich výrobu jsou kapalné krystaly. Kapalný krystal se za normálních podmínek chová, jako opticky čiré prostředí. Působením elektrického pole však dojde k orientaci jeho částic, což způsobí jeho ztmavnutí. Jakmile pole přestane působit, vše se vrátí zpět a krystal je znovu průhledný. Pro vytvoření elektrického pole se používá střídavé napětí 1,5 až 8 V o kmitočtu desítek až několik stovek Hz. Toto střídavé napětí se vyrábí budícím integrovaným obvodem a není k němu zapotřebí žádné vlastní napájení.

Konstrukčně se takováto zobrazovací jednotka skládá ze dvou skleněných destiček, mezi nimiž jsou kapalné krystaly. Na přední destičce je napařena průhledná, vodivá kresba požadovaných symbolů displeje. Druhá z destiček slouží jako společná elektroda. Obě destičky jsou také opatřeny polarizačními fóliemi pro zviditelnění segmentů. Horní fólie bývá průhledná a spodní většinou odrazná, nebo průhledná pro podsvětlení zespodu. Nevýhodou je nezbytná přítomnost světla, které se buď odráží od spodní fólie, nebo z cizího zdroje, který displej podsvěcuje zespodu. Kromě konstrukčního provedení se také prvky LCD liší od prvků LED výrazně nižší spotřebou, která se u jednoho segmentu pohybuje okolo $0,1 \mu\text{A}$. Má-li displej pracovat při velmi nízkých teplotách, přilepí se na něj dodatečně vyhřívací fólie, neboť kapalné krystaly se stávají při ochlazení „línými“, jako-by zamrzaly.

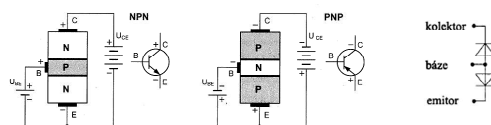
5.13 Tranzistory

Tranzistor je základním stavebním prvkem v elektronice. Má schopnost zesilovat napětí, nebo proud, nebo obojí současně. Používá se nejen jako diskrétní součástka (každý tranzistor v samostatném pouzdře), ale také v integrovaných obvodech. Název vyplývá ze slovního spojení TRANSfer reREZISTOR, které mu dali v roce 1947 při jeho objevení. Důvodem byla změna jeho odporu mezi dvěma svorkami řízená velikostí proudu v řídicím obvodu do třetí elektrody. V průběhu let byly vyvinuty různé typy tranzistorů. Podle použitého principu je lze rozdělit do dvou základních skupin – na bipolární tranzistory a na tranzistory řízené polem (unipolární)

5.14 Bipolární tranzistory

Bipolární tranzistor je třívrstvá polovodičová součástka, obsahuje dva PN přechody, jeho vývody se nazývají báze (B), kolektor (C) a emitor (E). Podle vnitřní struktury dělíme tranzistory na NPN a PNP. Oba typy pracují na stejném principu činnosti, ale s opačnou polaritou napájecího napětí.

NPN má na kolektoru vždy kladné napětí, PNP má na kolektoru vždy záporné napětí

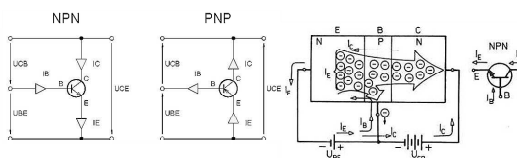


Obrázek 5.77: Princip tranzistoru NPN, PNP, náhradní schéma

Tranzistor si můžeme představit jako spojení dvou polovodičových diod, z nichž jednu tvoří přechod kolektor–báze a druhou přechod emitor–báze.

5.14.1 Princip činnosti tranzistoru

Na emitor tranzistoru NPN je přivedeno záporné napětí, na kolektor kladné. U_{BE} je zpravidla menší než U_{CE} . Přechod báze–emitor je v podstatě dioda zapojená v propustném směru, přechod kolektor–báze je zapojen v závěrném směru. Teče-li proud obvodem báze–emitor, dostávají se elektrony z oblasti emitoru (polovodič N) do oblasti báze. Protože na kolektoru je větší napětí než na bázi a oblast báze (polovodič P) je velmi tenká, většina elektronů je stržena do oblasti kolektoru.



Obrázek 5.78: Princip funkce tranzistoru

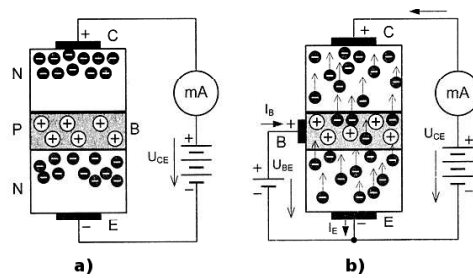
Z toho vyplývá, že protéká-li proud obvodem báze–emitor (I_B), začne protékat proud i mezi kolektorem a emitorem (I_C) přes přechod kolektor–báze, který je v závěrném směru. Proud kolektoru je závislý na proudu báze. U moderních tranzistorů, které mají velmi tenkou oblast báze, platí, že I_C je mnohem větší než I_B , protože většina elektronů se z emitoru nedostane do báze, ale do kolektoru. Lze zjednodušeně říci, že tranzistor působí jako zesilovač proudu – malému řídicímu proudu (I_B) odpovídá velký proud řízený (I_C).

Aby tranzistor takto fungoval, musí platit několik konstrukčních pravidel. Oblast báze musí být velmi tenká (přibližně 0,01 mm), tj. oba přechody tranzistoru (báze–emitor a báze–kolektor) musí být velmi blízko sebe. Při větší vzdálenosti se přechody chovají jako samostatné diody. Aby bylo zesílení co největší, má přechod báze–kolektor větší plochu než přechod báze–emitor. Polovodič N++ v oblasti emitoru má také mnohem více příměsí (více dotován) než polovodič N v kolektoru. Proto nejsou vývody kolektoru a emitoru vzájemně záměrné. Prohodíme-li kolektor a emitor, tranzistor bude sice zesilovat⁴, avšak zesílení bude velmi malé.

Připojíme-li k tranzistoru stejnosměrné napětí U_{CE} , je tranzistor zavřen. Emitorový přechod (mezi B a E) je v propustném směru, ale kolektorový přechod (mezi B a C) je v nepropustném směru čili proud obvodem nemůže protékat!

Mezi bázi a emitor připojíme další stejnosměrné napětí U_{BE} – tranzistor se otevře. Protože je emitorový přechod v propustném stavu, pak účinkem U_{BE} začnou volné elektrony proudit z emitoru do báze. Ve skutečnosti je báze velmi tenká (přibližně 0,01 mm), a tak většina

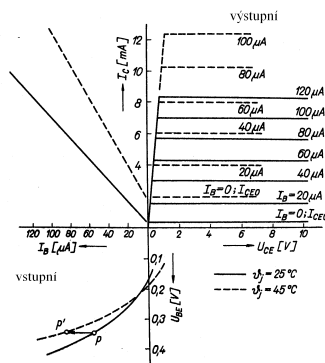
⁴tranzistor pracuje v inverzním režimu



Obrázek 5.79: a) zavřený tranzistor; b) otevřený tranzistor

elektronů (asi 98 %) setrvačností pronikne až ke kolektorovému přechodu, kde jsou přitahovány kladně pólovaným kolektorem.

Vlastnosti tranzistoru můžeme znázornit graficky pomocí V–A charakteristiky tranzistoru.



Obrázek 5.80: Vliv teploty na stejnosměrné charakteristiky tranzistorů (zjednodušené schéma)

V prvním kvadrantu je výstupní charakteristika $I_C = f(U_{CE})$, ve třetím kvadrantu vstupní charakteristika – závislost I_B a U_{BE} .

Vstupní charakteristika tranzistoru je podobná V–A charakteristice diody. U křemíkového tranzistoru je typická hodnota napětí $U_{BE} = 0,6\text{ V}$. Tranzistor se nachází v normálním aktivním režimu. Tranzistor v tomto režimu pracuje jako zesilovač. Platí $I_C = h_{21} \cdot I_B$. Je-li tranzistor otevřen, musíme na něm vždy tuto hodnotu naměřit. Při nižších hodnotách U_{BE} musí být uzavřen (obvodem kolektor–emitor neprotéká proud).

Výstupní charakteristika je popsána soustavou křivek, kde řídicím parametrem je proud báze. Je z ní vidět, že proud kolektoru je převážně závislý na proudu báze. Všechny křivky se sbíhají na tzv. mezní přímce. Při úplném otevření tranzistoru ($U_{BE} = 0,7\text{ V}$ a U_{CE} se blíží nule) tranzistor již nemůže zesilovat proud, dojde ke změně polarizace přechodu B–C ze závěrného do propustného směru a tranzistor se chová jako kdyby mezi kolektorem a emitorem byl velmi malý odpor. Říkáme, že tranzistor je ve stavu saturace – nasycení. Typická hodnota saturačního napětí U_{CE} je u moderních tranzistorů Přehled vlastností jednotlivých zapojení malého výkonu (do 1 W) asi 0,2 V. U výkonových tranzistorů bývá 1 až 2 V.

Při saturaci se tranzistor chová jako sepnutý spínač, na kterém je malý úbytek napětí. Dochází k ní při dostatečně velkém proudu báze, kdy již není možné, aby platilo: $I_C = h_{21} \cdot I_B$. Proud kolektoru je pak omezen hodnotami dalších součástí (kolektorový odpor R_z). Pokud je na bázi tranzistoru napětí menší než 0,6 V, potom $I_B \cong 0$. Obvodem kolektor–emitor teče

pouze zbytkový proud (řádově $1 \mu A$), tranzistor se chová jako rozepnutý spínač.

Proudový zesilovací činitel h_{21E} je základním parametrem, který charakterizuje vlastnosti tranzistoru. Vyjadřuje proudové zesílení tranzistoru, tj. kolikrát větší proud protéká kolektorem než bází. Lze ho vypočítat pomocí vztahu $h_{21} = \frac{I_C}{I_B}$. Je to bezrozměrné číslo, jeho velikost závisí na typu tranzistoru a pohybuje se mezi 100 až 900. V katalogu součástek bývá uvedeno pro konkrétní typ rozmezí (např. 50 až 250). U výkonových tranzistorů bývá zesílení menší (10 až 100). Skutečnou hodnotu zjistíme měřením. Běžné digitální multimetry bývají opatřeny speciálními svorkami (soklem) pro zasunutí měřeného tranzistoru a měří pouze statické (stejnoseměrné) zesílení. U specializovaných měřících přístrojů můžeme nezávisle nastavit stejnosměrné napětí U_{CE} i proud I_B a vlastní měření h_{21e} probíhá dynamicky, tj. střídavým napětím.

5.14.2 Mezní hodnoty tranzistoru

Aby při činnosti nedošlo k přetížení tranzistoru, a tím ke zkrácení doby jeho života nebo k jeho zničení, nesmí být překročeny určité tzv. mezní hodnoty, které pro jednotlivé typy tranzistorů udává výrobce v katalogu. Protože nepříznivý vliv má na činnost tranzistoru také vyšší teplota, uvádějí se mezní hodnoty při určité teplotě tranzistoru. K přetížení by mohlo dojít těmito vlivy:

- velké napětí mezi elektrodami
- velkým procházejícím proudem
- vysokou teplotou přechodu

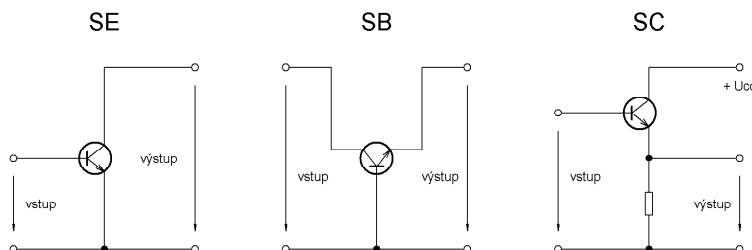
Překročení přípustného napětí mezi elektrodami by mohlo způsobit napěťový průraz přechodu PN. Překročení mezní hodnoty procházejícího mezního proudu má za následek zpravidla přerušování přívodu k elektrodám tranzistoru. Příliš vysoká teplota přechodu může způsobit nevratné změny ve struktuře polovodičového krystalu. Oteplování tranzistoru je způsobeno ztrátovým výkonem, který se mění v tranzistoru na teplo. Největší část z celkového tepla vzniká v přechodu báze-kolektor a z kolektoru je odváděno vyzářením do okolí různými druhy chladičů.

U tranzistoru tedy potřebujeme znát maximální napětí kolektor-emitor U_{CEmax} , maximální kolektorový proud I_{Cmax} a maximální ztrátový výkon P_{tot} . Platí, že $P_{tot} = U_{CE} \cdot I_C + U_{BE} \cdot I_B$. Dále nesmíme překročit maximální proud báze I_{Bmax} , což v případě potřeby zajišťujeme ochranným rezistorem v sérii se vstupem (bází nebo emitorem). Pro tranzistory malého výkonu to bývá zpravidla 5 až 20 mA⁵. Jelikož je přechod B–E navržen s ohledem na dosažení vysoké hodnoty proudového zesílení h_{21E} , nesmíme na bázi přivést záporné napětí (proti emitoru) větší než 5 V (typická hodnota), aby nedošlo k průrazu přechodu B–E. U tranzistoru dále musíme sledovat tzv. mezní kmitočet. Proudové nosiče s rostoucím kmitočtem totiž nestačí sledovat změny na vstupních svorkách. To se projevuje zmenšováním změn výstupního proudu, tranzistor se chová, jako-by ztrácel schopnost zesilovat. Proto udáváme např. mezní kmitočet f_{max} , při němž je výkonové zesílení tranzistoru rovno 1.

⁵pokud není v katalogu uveden, rovná se zpravidla I_{Cmax}

5.14.3 Způsoby zapojení tranzistoru

Protože tranzistor má pouze tři vývody, je jeden z nich využíván společně pro vstup i výstup a hovoříme o třech základních zapojeních. Se společným emitorem (SE), společnou bází ⁶(SB) a společným kolektorem (SC).



Obrázek 5.81: a) zapojení se společným emitorem; b) zapojení se společnou bází c) zapojení se společným kolektorem

Nejčastěji se využívá zapojení se společným emitorem, které má velké proudové, napěťové i výkonové zesílení. Zapojení se společným kolektorem nalezneme u zesilovačů, kde je požadován nízký výstupní odpor. Zapojení se společnou bází se pro svůj malý vstupní odpor používalo ve vstupních obvodech vysokofrekvenčních zesilovačů z důvodu dobrého přizpůsobení impedanci kabelů a antén (50 až 300 Ω).

Tabulka 5.15: Přehled vlastností jednotlivých zapojení

veličina	SE	SB	SC
vstupní odpor (R_{vst})	malý až střední	malý	velmi malý
výstupní odpor (R_{vyst})	velký	velmi velký	malý
napěťové zesílení	velké	velké	menší než 1
proudové zesílení	velké	menší než 1	velké
výkonové zesílení	velké	malé až střední	malé až střední

5.14.4 Použití tranzistoru

- Jako zesilovač signálu – na bázi se přivádí malý řídicí proud, kterým se ovládá velký proud v kolektorovém obvodu.
- Jako spínač – neprochází-li proud bází, je tranzistor zavřený a funguje jako rozepnutý spínač. Při průchodu určitého proudu bází se tranzistor otevírá a funguje jako sepnutý spínač.

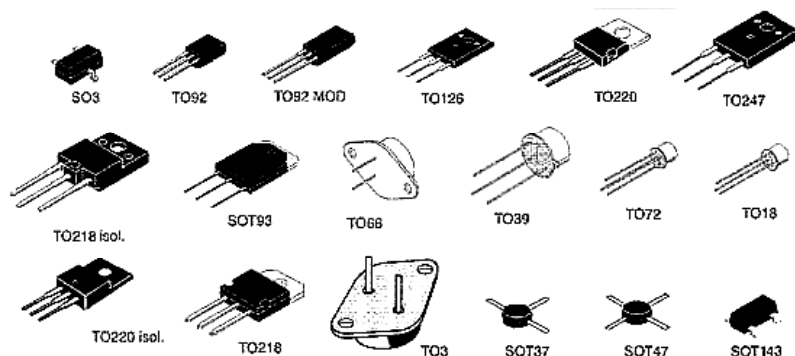
Tranzistor se dá využít také v aktivních filtrech, stabilizátorech, logických obvodech a dalších.

5.14.5 Zapouzdření tranzistorů

Vlastní polovodičový systém tranzistoru má nepatrná rozměry a nachází se v různých pouzdrech. Pouzdra se liší tvarem a materiálem. Vyrábějí se z kovu nebo plastu. Kovová pouzdra

⁶V tomto zapojení byl tranzistor objeven. Krystalu polovodiče (báze – základna) se dotýkaly dva kovové hroty. Jeden hrot do krystalu emitoval – vypouštěl elektrony, druhý je měl sbírat – kolektor (odvod)

(např. TO3) jsou dražší, zato lépe odvádějí ztrátové teplo z tranzistorového systému a jsou tedy vhodná pro tranzistory většího výkonu. Setkáváme se také s kombinací kovu a plastu (např. TO220). Potom z plastového pouzdra vystupuje kovová destička, určená k upevnění na chladič. Jejím prostřednictvím se ztrátové teplo odvádí z tranzistoru. Výrobci se většinou v tvaru a velikosti pouzder neliší, a proto pouzdra nesou mezinárodně používané kódové označení.



Obrázek 5.82: Přehled pouzder tranzistorů

5.14.6 Označování polovodičů

K dispozici je velký výběr druhů a typů polovodičů, které jsou vyráběny ve světě celou řadou výrobců. K nejznámějším patří Texas Instruments, Siemens, Philips, Toshiba On-Semi a další. Ne všichni výrobci však používají důsledně stejné kódování. Dále se budeme zabývat pouze evropským způsobem kódování. To dělí kódování všech polovodičů do dvou skupin. Polovodiče pro průmyslové použití se označují třemi písmeny a dvěma číslicemi polovodiče používané v komerční elektronice (spotřební) se označují dvěma písmeny a třemi číslicemi. Za číselným znakem obvykle následuje další písmeno pro bližší specifikaci (velikost h_{21} , U_{CEmax} apod.).

5.14.7 Kódové značení tranzistorů

První písmeno (v obou jmenovaných skupinách)

- A – germaniové tranzistory
- B – křemíkové tranzistory

Druhé písmeno (v obou jmenovaných skupinách)

- C – nízkofrekvenční tranzistory
- D – nízkofrekvenční výkonové tranzistory
- F – vysokofrekvenční tranzistory
- L – vysokofrekvenční výkonové tranzistory

- S – spínací tranzistory
- U – spínací výkonové tranzistory

Třetí písmeno (ve druhé skupině)

- X, Y, Z - zpravidla výrobce sděluje jiné informace

Číselný údaj za písemným znakem Obsahuje rozlišení ve stejných skupinách týkající se druhu pouzdra, vodivosti NPN/PNP, bipolární – unipolární, velikosti napětí, proudu, mezní kmitočet atd.

Pro tranzistory mimoevropských výrobců je nutno pro vyhledání potřebných údajů použít katalog.

5.14.8 Měření tranzistorů

Potřebujeme-li změřit tranzistor, můžeme použít speciální měřicí přístroje jako jsou např. měřič tranzistorů (BM529).

Pro orientační kontrolu funkčnosti tranzistoru nám však postačí ohmmetr, popřípadě multimetr, který je vybaven testem diod. Z vnitřního zapojení je vidět, že lze tranzistor proměřit jako dvě diody: B–E a B–C. Měříme jak propustný, tak i závěrný směr. V zapojení lze funkčnost tranzistoru odhadnout měřením napětí na elektrodách (E–B–C).



Obrázek 5.83: Náhradní zapojení pro kontrolu tranzistorů

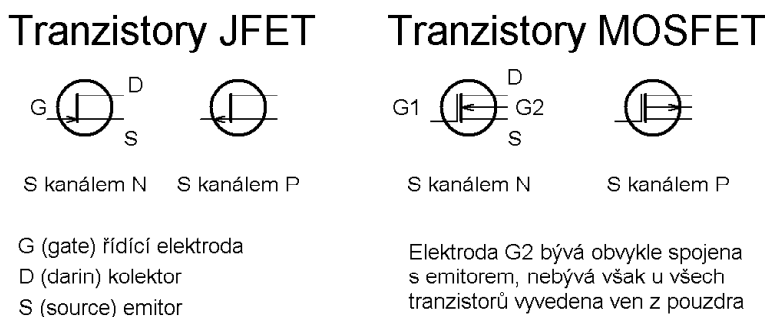
Měřením testem diod lze také určit u neznámého tranzistoru typ (NPN/PNP), popřípadě určit kolektor, bázi, emitor. Je však nutno dát pozor a nezaměnit kolektor s emitorem. Má-li tranzistor kovové pouzdro, je toto pouzdro většinou spojeno s kolektorem. Měření testem diod nelze však použít u tranzistoru typu darlington. Některé multimetry jsou vybaveny soklem pro měření tranzistorů. Na těchto přístrojích lze orientačně změřit parametr h_{21E} – pozor, multimetr obvykle ukáže nějakou hodnotu i pro vadné (proražené) tranzistory, proto toto měření nepoužívejte k testu funkčnosti. V zapojení můžeme odhadnout funkčnost tranzistoru měřením napětí na elektrodách (přechod B–E musí být pólován v propustném směru).

5.15 Unipolární tranzistory

Unipolární tranzistory mají pouze jeden polovodičový přechod, který tvoří tzv. kanál mezi emitorem a kolektorem. Velikost proudu je závislá pouze na napětí řídicí elektrody, kterým se mění vodivost kanálu. Na rozdíl od bipolárních tranzistorů protéká proud kolektorem i při nulovém napětí na řídicí elektrodě. Jeho velikost se v závislosti na U_G pouze zvětšuje nebo zmenšuje.

Při výrobě se využívá dvou základních technologií. U tranzistorů J-FET je řídicí elektroda oddělena polovodičovým přechodem, který je vždy pólován v závěrném směru a neprochází

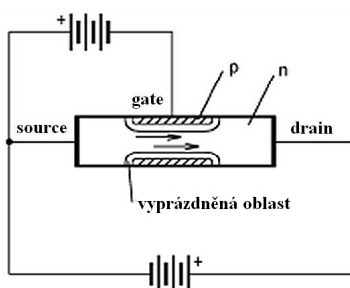
jím tedy téměř žádný proud. Technologie MOS-FET využívá kovové řídicí elektrody, oddělené slabou izolační vrstvou oxidu křemičitého (SiO_2). V obou případech hovoříme o tranzistorech řízených elektrickým polem a jejich vstupní odpor je velmi vysoký. To s sebou však přináší riziko zničení tranzistoru elektrostatickým polem. Proto při manipulaci s nimi musíme pracovat velmi opatrně a k pájení přednostně používat mikropájedel.



Obrázek 5.84: Tranzistory JFET s kanálem N, a kanálem P; Tranzistory MOSFET s kanálem N, a kanálem P

5.15.1 Tranzistor JFET (junction FET)

Princip tranzistoru JFET s kanálem N najdete na obrázku 5.84. Na obrázku je naznačen krystal polovodiče vodivosti N ve tvaru válce nebo hranolu, k jehož krajům jsou připojeny vývody. Vodivost krystalu je dána pohyblivostí volných nosičů náboje (elektronů) a průřezem krystalu, kterým mohou tyto nosiče náboje procházet. Uprostřed krystalu je vytvořena oblast s vodivostí P, která tvoří s již zmíněným krystalem N polovodičový přechod. V okolí přechodu vznikne tzv. vyprázdňená oblast, tj. oblast bez volných nosičů náboje, protože elektrony a díry se vzájemně rekombinují. Tato vyprázdňená oblast zmenšuje průřez krystalu, kterým může procházet proud.



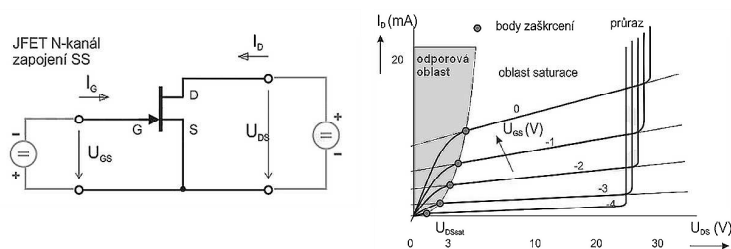
Obrázek 5.85: Princip činnosti tranzistoru JFET

Vyprázdňená oblast se zvětší, přivedeme-li na přechod záporné napětí. Od určitého napětí na přechodu proud krystalem prakticky již neprochází. Napětím na tomto přechodu ovládáme proud procházející krystalem polovodiče. Konce krystalu tvoří vývody *drain* a *source*. U tohoto typu tranzistoru jsou vývody zpravidla rovnocenné a lze je zaměnit. Vývod oblasti P přechodu je řídicí elektroda *gate*. Ve většině aplikací je přechod pólován v závěrném směru a

přechodem prochází jen velmi malý zbytkový proud. Komplementární tranzistor JFET s kanálem P bude mít krystal polovodiče typu P a oblast *gate* s vodivostí N.

Funkce tranzistoru pro zapojení SS (se společným Source).

Pro zjednodušení popisujeme funkci pouze pro N kanál. P kanál funguje analogicky.



Obrázek 5.86: Zapojení tranzistoru se společnou elektrodou S; V-A charakteristiky tranzistoru

PN přechod je pod elektrodou G vždy polarizován v závěrném směru. J-FET bez přiloženého napětí mezi elektrodami G a S je otevřený. Záporným napětím mezi elektrodami *gate* a *source* lze zaškrtnit kanál a tranzistor „uzavřít“, zmenšit tedy vodivost kanálu mezi elektrodami S a D.

Výstupní V–A charakteristiky

Odporová oblast Tato oblast se také někdy nazývá také triodová. Pro malá napětí U_{DS} (cca do 1 V) funguje tranzistor jako napětím řízený odpor (viz. výstupní VA charakteristika). V blízkosti počátku souřadného systému (v blízkosti nuly) jsou pro všechna U_{GS} křivky téměř lineární (rovné). A přímka ve VA charakteristice odpovídá právě rezistoru. Její sklon (a tedy i odpor kanálu mezi elektrodami S a D) je řízen právě napětím U_{GS} .

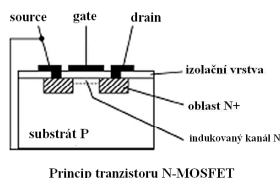
Oblast saturace Pro vyšší hodnoty U_{DS} (cca od 3 V) přechází charakteristiky opět do lineárních úseček. Tomuto místu odpovídají ve výstupních volt-ampérových charakteristikách tzv. body zaškrvení kanálu. Proud se s rostoucím napětím U_{DS} již téměř nezvyšuje. Pro použití tranzistoru JFET jako zesilovače signálu se používá oblast saturace.

Průraz tranzistoru K průrazu dochází při překročení maximální hodnoty součtu absolutních hodnot U_{DS} a U_{GS} . Průraz je způsoben příliš vysokým závěrným napětím PN přechodu pod elektrodou *gate* v místě blíže elektrodě *drain*.

5.15.2 Tranzistor MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor FET)

Princip tranzistoru MOSFET je podobný jako u J-FET. Největší odlišností je použití izolované řídicí elektrody. Do krystalu polovodiče s vodivostí jsou blízko sebe nedifundovány dvě oblasti bohatě dotované příměsí N+. K těm jsou připojeny vývody *drain* (D) a *source* (S) tranzistoru. Povrch krystalu je pokryt tenkou izolační vrstvou SiO_2 (ta se vyrobí oxidací krystalu). Na izolační vrstvě je v prostoru mezi D a S napařena další elektroda tvořící vývod *gate* (G). Není-li na elektrodu G přivedeno žádné napětí, neprochází mezi elektrodami D

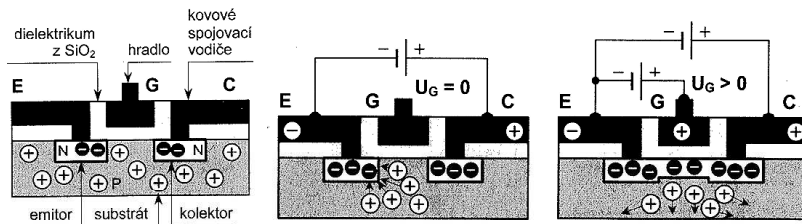
a S žádný proud. Přivedeme-li na G kladné napětí, vznikne mezi elektrodou a krystalem polovodiče elektrické pole.



Obrázek 5.87: Princip tranzistoru MOSFET

Kladný náboj se hromadí na G, záporný těsně pod izolační vrstvou a indukuje v polovodiči inverzní vrstvu (kanál) typu N. Tímto kanálem již může proud procházet. Čím je napětí na elektrodě G větší, tím tlustší je indukovaná vrstva a menší odpor mezi elektrodami D a S. U tohoto tranzistoru s kanálem N prochází proud od určitého kladného napětí mezi elektrodami G a S, při kterém se tvoří inverzní vrstva. Takový tranzistor je v tzv. obohaceném režimu. Technologicky lze kanál mezi elektrodami D a S vytvořit difúzí již při výrobě. U takového tranzistoru může procházet proud mezi elektrodami D a S už při nulovém napětí mezi elektrodami G a S. Zvětšujeme-li napětí na elektrodě G, proud se zvětšuje a naopak. Tento tranzistor pak může pracovat v obohaceném ($U_{GS} > 0$) i ochuzeném režimu ($U_{GS} < 0$). Jednou polaritou napětí U_{GS} lze kanál zúžit (uzavřít) a druhou polaritou lze naopak kanál rozšířit. I tranzistory MOSFET se vyrábějí v komplementárním provedení s kanálem vodivosti P.

U tranzistorů MOSFET nelze zaměnit vývody D a S. Vývod S je totiž spojen se základním krystalem polovodiče. Substrát a opačně dotovaná oblast vývodu D tvoří ve struktuře tranzistoru parazitní diodu, která je v závěrném směru připojena mezi vývody D a S. Při běžném provozu tato dioda nijak neovlivňuje činnost tranzistoru, pokud však prohodíme vývody D a S, bude pólována v propustném směru. Vyhledáním této diody lze identifikovat vývody u neznámého tranzistoru.

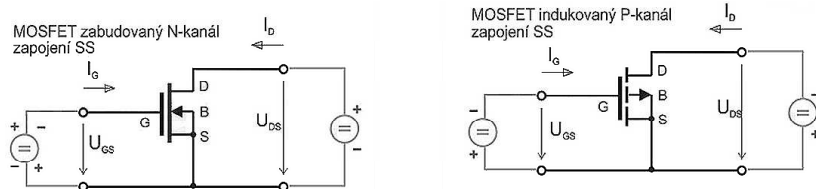


Obrázek 5.88: Grafické znázornění principu MOSFET

Grafické znázornění principu MOSFET

- Díry jsou přitahovány k emitoru, od kolektoru jsou odpuzovány, takže proud obvodem neprochází.
- Po připojení kladného napětí na mřížku G začne kladné elektrické pole hradla díry pod kovovou elektrodou odpuzovat a mezi kolektorem a emitorem se vytvoří vodivý kanál,

jíž mohou elektrony procházet. Tranzistor je otevřen. Čím větší U_G , tím širší je kanál a tím větší proud protéká.



Obrázek 5.89: Příklad zapojení tranzistoru se společným S (source)

Průraz tranzistoru – tranzistor může být proražen (zničen) několika způsoby. Prvním z nich je tzv. měkký průraz, ke kterému dochází vlivem příliš velkého elektrického pole a příliš velkého proudu mezi vývody S a D. K tomuto průrazu dochází tedy při nadměrném zatížení tranzistoru v otevřeném stavu. Průraz může nastat i pokud je tranzistor uzavřený. Mezi vývody S a D tedy neprotéká téměř žádný proud. Ale při překročení maximálního napětí mezi vývody S a D se prorazí PN přechod mezi vývodem D a substrátem – ve výstupních V–A charakteristikách je označen jako „průraz kanálu“. Dalším možným průrazem je průraz dielektrika pod elektrodou G, tzv. „průraz hradla“. K průrazu hradla stačí náboj v řádech 10 až 100 C, tím se překročí elektrická pevnost dielektrika a elektroda G se trvale propojí se substrátem. Tranzistor lze takto prorazit i nábojem vzniklým při neopatrné manipulaci, dotykem lidské ruky apod. V integrovaných obvodech se proto hradla vstupních tranzistorů chrání rychlými diodami.

5.15.3 Porovnání JFET a MOSFET

Tranzistory J-FET jsou určeny pro zpracování malých signálů, výborně se hodí do nf zesilovačů a vf oscilátorů. Tranzistory MOSFET se vyrábějí pro malé i velké proudy. V sepnutém stavu mají velmi malý odpor – pouze několik ohmů, výkonové dokonce pouze několik desetin ohmů. To je předurčuje k použití ve spínaných zdrojích, impulsních regulátorech apod. Pro svoji podobnost charakteristik s elektronkou se např. používají v nf zesilovačích. Pro úplnost je třeba dodat, že tranzistory MOSFET jsou základním prvkem všech číslicových integrovaných obvodů s velkou hustotou integrace. V operačních zesilovačích jsou používány jak tranzistory MOSFET, tak i J-FET.

Unipolární tranzistory se vyrábí v různých pouzdrech a s různými vlastnostmi, které určují jejich využití. Jejich cena je vyšší než tranzistorů unipolárních. Pro některé své výhodné vlastnosti (vysoký vstupní odpor nebo malý odpor v sepnutém stavu) je však jejich použití opodstatněné. Příklady několika typů:

- 2N 3820 – P-FET; 20 V, $I_{Dss} > 0,3 \text{ mA}$; $U_p < 8 \text{ V}$; TO92; D-G-S, 7e
- BUZ11 – N-MOSFET (V-MOS); 50 V; 30 A; 75 W; 0,04Ω; TO220; G-D-S-D; 17p
- BUZ91A – N-MOSFET (V-MOS-SMPS) 600 V; 8 A; 150 W; TO220; G-D-S-D; 17p

Vybrané charakteristiky BUZ11

Pro porovnání najdete na obrázku 5.90 několik vybraných charakteristik tranzistoru BUZ11, pouzdro a značku. Pošiměte si podobnosti s V–A charakteristikou bipolárního tranzistoru.

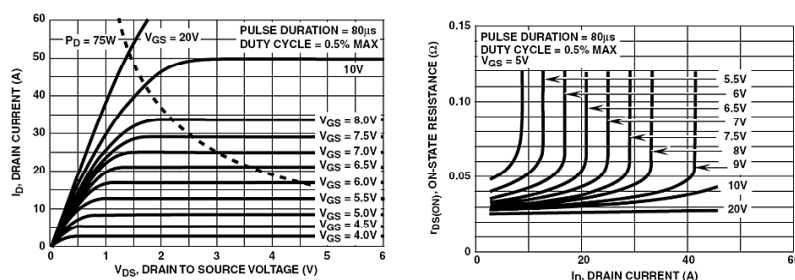
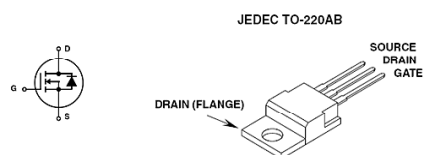


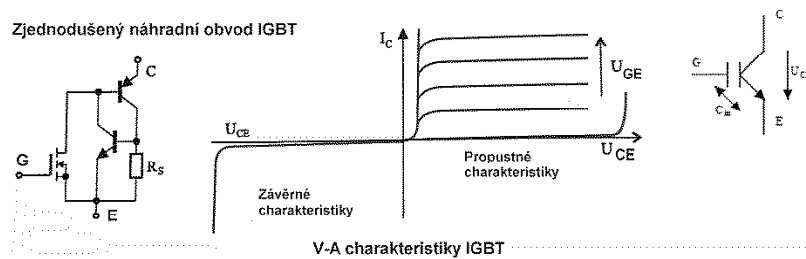
FIGURE 7. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT



Obrázek 5.90: Vybrané charakteristiky tranzistoru MOSFET; Značka a pouzdro tranzistoru MOSFET

5.15.4 Tranzistory IGBT (Insulated Gate Bipolar Tranzistor)

Jsou určeny pro spínání velkých proudů při vysokém napájecím napětí. Využívá ve své konstrukci princip bipolární a princip unipolární. IGBT jsou dnes dostupné v několika napěťových třídách od 600 V do 4500 V. Mezní hodnoty proudů jsou od několik desítek ampér do jednotek kiloampér. Značku a vybrané charakteristiky naleznete na obrázku 5.91.



Obrázek 5.91: Zjednodušené zapojení tranzistoru IGBT; V-A charakteristiky tranzistoru IGBT; Značka tranzistoru IGBT

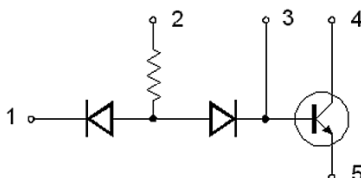
5.16 Integrované obvody

Integrovaný obvod (IO) je celek s pasivními i aktivními prvky, který tvoří určitý funkční analogový nebo číslicový obvod a je umístěn v jedné křemíkové destičce – čipu. Podstatné vlastnosti jsou: velká spolehlivost, malé rozměry a váha, nízká spotřeba elektrické energie.

Nejrozšířenější výrobní technologií je tzv. planární technologie. Základní surovinou pro výrobu čipu bývá obvykle křemík, ze kterého se po složitém zpracování a čištění získává monokrystal křemíku ve tvaru válce – ingot. Během výroby těchto monokrystalických ingotů je možné do taveniny přidávat definované množství příměsí, takže vytvořený monokrystalický materiál pak bude typu P nebo N. Ten se pak reže na tenké destičky cca 0,2 mm, vybrousí, leští

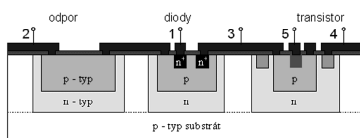
a na povrchu uměle zoxiduje (oxid křemíku je dielektrikum, čili izolant). Na jednu takovou destičku se umístí asi sto čipů IO.

Základními prvky monolitických obvodů jsou tranzistory. Další funkční prvky (odpory, kapacity, diody) mají struktury, které se technologicky vytvářejí úpravami tranzistorových struktur: dioda – vynecháním jedné vrstvy, kondenzátor – emitor a kolektor jsou elektrody, báze dielektrikum (lze realizovat pouze velmi malé hodnoty).



Obrázek 5.92: Vnitřní zapojení IO

Na obrázcích 5.92, 5.93 je znázorněn jednoduchý elektronický obvod (invertor v DTL logice) obsahující odpor, dvě diody a jeden tranzistor ve schematickém zobrazení a jako řez destičkou polovodiče, na které je tento obvod vytvořen tzv. planárně epitaxní technologií výroby polovodičových součástek.



Obrázek 5.93: Provedení IO

Vyrobený čip s již realizovaným obvodem se přitmelí na kovovou, skleněnou nebo keramickou podložku s fyzickými vývody. Vývody obvodu na čipu se propojí nejčastěji zlatými drátky s vývody na podložce. Celek se hermeticky zapouzdří do ochranného pouzdra.

Podle počtu prvků na jednom čipu hovoříme o stupni integrace integrovaného obvodu. Pro označení stupně integrace se obecně používá těchto názvů a zkratk:

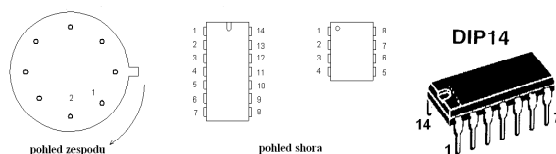
- Obvody malé integrace – SSI (small scale integration) – do 1000 prvků na čipu
- Obvody střední integrace – MSI (middle scale integration) – do 10 000 prvků na čipu
- Obvody velké integrace – LSI (large scale integration) – do 10 000–100 000 prvků na čipu
- Obvody velmi vysoké integrace – VLSI (very large scale integration) – do 1 000 000 prvků na čipu
- Obvody ultra vysoké integrace – ULSI (ultra scale integration) – nad 1 000 000 prvků na čipu

Z hlediska vyráběného sortimentu a požadavků zákazníků lze IO rozdělit na obvody:

1. Standardní (katalogové) IO – tvoří nejrozsáhlejší skupinu. Patří sem obvody s danou (neměnitelnou) funkcí na všech úrovních integrace. Do této skupiny patří i mikroprocesory, paměti RAM.

2. Programovatelné IO – paměti PROM, EPROM, EEPROM, EAPROM a programovatelné pole. Uživatel si obsah paměti nebo potřebné logické funkce vytváří sám.
3. Zákaznické IO – které se vyrábějí dle požadavků zákazníka. Výroba těchto obvodů je ekonomická až při větších sériích.

5.16.1 Zapouzdření integrovaných obvodů



Obrázek 5.94: Pouzdření IO

Integrované obvody jsou umístěny v pouzdrech různých tvarů a velikostí, vyrobených z různých materiálů. Pro analogové obvody se používají pouzdra kovová s osmi až dvanácti vývody, pouzdra plastová DIL (dvouřadá) z plastu nebo keramického materiálu s šesti až čtyřiceti vývody a jednořadá plastová, s možností montáže na chladič (například PENTAWATT). Pro číslicové obvody se používají pouzdra DIL. Počet vývodů bývá u obvodů SSI a MSI nejčastěji 14 nebo 16, u složitějších obvodů se počet vývodů zvětšuje na 24, 28 nebo 40. Pro velmi složité číslicové obvody se používají pouzdra PGA, která mohou mít až 256 vývodů v několika řadách.

Vývody na kovových pouzdrech se počítají při pohledu zdola (od vývodů) od klíče po směru hodinových ručiček. Pouzdra mají různá označení podle počtu vývodů a velikosti pouzdra nejčastěji jsou TO8 s osmi vývody, TO12 se čtyřmi vývody, TO77 s osmi vývody, TO74 s deseti vývody a TO73 s dvanácti vývody.

Vývody na DIL (Dual In Line, můžeme se setkat s názvem DIP - Dual In Pine) pouzdrech se počítají shora vlevo od klíče proti směru hodinových ručiček. Klíč může být buď kruhový prolis nebo oválný zářez na hraně pouzdra. Používají se pouzdra DIL6, DIL8, DIL14, DIL16, DIL18, DIL24, DIL28, DIL40 (číslo určuje počet vývodů).

Rejstřík

μ A1458, II:65

h_{21E} , I:143

I_{MAX} , I:114

U_T , I:114

U_{MAX} , I:114

2N3820, I:150

2SJ201, II:79

2SJ352, II:79

2SK1530, II:79

2SK2221, II:79

4xxx, II:117

74Cxx, II:116

74HCTxx, II:116, II:117

74HCxx, II:116, II:117

74SCxx, II:116

78xx, II:33

79xx, II:33

1458, II:65

4001, II:116, II:118

4002, II:116

4006, II:116

4007, II:116

4008, II:116

4011, II:118

4026, II:118

4049, II:118

7400, II:115

7403, II:115

7404, II:115

7405, II:115

7410, II:115

7420, II:115

7430, II:115

7450, II:115

AC, I:29

ADC, II:121

AKO, II:109

aktivovaná kalafuna, I:63

akumulátor, I:100

alkalický, I:100

kadmiový, I:100

lithium-iontový, I:100, I:104

lithium-polymerový, I:100, I:104

metal-hybridový, I:100

niklo-kadmiový, I:103

niklo-metal-hybridový, I:104

olověný, I:100, I:102, I:105

stříbro-zinkový, I:100

algebra

Booleho, II:115

Alternating Current, I:29

ALU, II:119

Analog to Digital Converter, II:121

AND, II:116, II:117

anoda, I:100, I:129, II:23

architektura

harvardská, II:119

arsenid galia, I:120

astabilní klopný obvod, II:109

astigmatismus, I:33

AT89C2051, II:119

baterie, I:100

formování, I:103

kapacita, I:103

lithium-iontová, I:104

lithium-polymerová, I:104

niklo-kadmiová, I:103

niklo-metal-hybridová, I:104

olověná, I:105

báze, I:140

BC546, II:53

bezeztrátová regulace, II:24

bistabilní klopný obvod, II:107

BKO, II:107

nesouměrné spouštění, II:108

- souměrné spouštění, II:108
- bleskojistka, I:124, II:137
 - plynová, II:139
 - růžková, II:137
 - ventilová, II:138, II:139
- bleskojistky, I:124
- blok
 - odporový, II:138
- BM529, I:146
- bod
 - světelný, I:32
- Boole, II:115
- BRX45, I:132
- BT136/600, I:134
- Buck, II:112
- BUZ11, I:150
- BUZ91A, I:150
- bypass, II:74
- BZW06-12V, I:128
- cesta
 - kurýrní, I:108
 - propojení, I:64
 - přerušená, I:65
- cínová lázeň, I:48, I:61
- cínování, I:49
 - elektrochemické, I:49
 - mechanické, I:49
- citlivost
 - vstupní, II:49
- cívka, I:85, I:108
 - válcová, I:86
 - ztráty, I:86
- CMOS, II:116
- CMOS 4000, II:117
- CPU, II:119
- cupal, I:101
- cuprextit, I:47
- cyklus
 - nabíjecí, I:103
- časovač, II:121
- četnost spínání, II:102
- činitel
 - jakosti, II:84
 - zesilovací, I:143
- čip
 - vývody, I:152
- čítač, II:121
 - programový, II:119
- článek
 - alkalický, I:100
 - derivační, II:15, II:81
 - galvanický, I:100
 - galvanický místní, I:101
 - integrační, II:15, II:81
 - Leclancheův, I:100
 - lithium-iontový, I:104
 - lithium-polymerový, I:104
 - niklo-kadmiový, I:103
 - niklo-metal-hydridový, I:104
 - olověný, I:105
 - primární, I:100
 - příčkový, II:85
 - sekundární, I:100
 - T dvojitý, II:85
 - útlumový, II:13
 - Voltův, I:100
 - Wienův, II:81
 - zpožďovací, I:128, II:138
- čtyřpól, II:79
 - lineární, II:79
- DB3, I:136
- DB4, I:136
- DC, I:29
- děj
 - přechodový, I:43
- dělicí sonda
 - kalibrace, I:37
- dělič
 - kapacitní, II:14
 - napětí
 - kompensovaný, II:16
 - napěťový, II:12, II:14
 - odporový, II:12
- derivační článek, II:15
- deska
 - dvouvrstvá, I:47
 - jednovrstvá, I:47
 - keramická, I:47
 - vícevrstvá, I:47
- desky
 - dělení, I:48

- destrukce
 - tepelná, I:116
- diagram
 - Hannův, I:87
- diak, I:134, II:25, II:106
- dielektrikum, I:83
 - průraz, II:137
- digitalizace, II:101
- DIL, I:153
- dioda, I:112, I:113
 - elektroluminescenční, I:121
 - formátování, I:115
 - fotodioda, I:118
 - Gunnova, I:119
 - kapacitní, I:117
 - korekční, II:109
 - laserová, I:121
 - LED, I:121
 - mžiková, I:120
 - PIN, I:119
 - Shottkyho, I:117
 - spínací, II:101
 - stabilizační, II:28
 - supresorová, I:124
 - tunelová, I:116
 - úbytek, II:18
 - úbytek napětí, II:19
 - usměrňovací, I:114
 - vakuová, I:13
 - vysokofrekvenční, I:115
 - hrotová, I:115
 - plošná, I:115
 - s přivařeným zlatým hrotem, I:116
 - Zenerova, I:116, I:124, I:125, II:28, II:137
 - Zenerova supresorová, II:138
 - zhášecí, II:110
- diody
 - značení, I:123
- DIP, I:153
- Direct Current, I:29
- displej, I:139
- doba
 - kyvu, II:108
 - náběhu, I:43
 - odezvy, I:124
 - zotavení, I:117
- dodací list, I:23
- DPS, I:47
- drain, I:147
- dsPIC33, II:121
- dspPIC33, II:121
- DTL, I:152
- EEPROM, II:119
- efekt
 - paměťový, I:103
- EI, I:89
- elektrický odpor, I:79
- elektroda
 - řídící, I:110, I:129, I:146, II:24
- elektrolyt, I:84
 - polosuchý, I:84
- elektrolýza, I:100
- elektromagnet, I:108
- elektronické filtry, II:22
- elektroodpad, II:143
- emitor, I:140
- epoxid
 - zuhelnatělý, I:64
- EPROM, II:119
- fáze signálu, II:38
- fázovací článek, II:96
- fázovací čtyřpól, II:96
- fázové řízení, II:26
- filtr
 - aktivní, II:83
 - Besselův, II:83
 - Butterworthův, II:83
 - Čebyševův, II:83
 - dolní propust, II:81
 - elektronický, II:22
 - filtrační řetězec, II:22
 - horní propust, II:81
 - kmitočtový, II:79
 - pásmový, II:81
 - zádrž, II:82
- filtrace, II:20
- filtrační kondenzátor, II:20
- filtry, II:20
 - odrušovací, II:139
- fine limiter, I:123
- FLASH, II:119
- Flux-pen, I:63

- fólie
 - měděná, I:47
- formátování diody, I:115
- fotocesta, I:53
- fotodioda, I:118
- fotonka, I:118
- fotoodpor, I:82
- fotorezistor, I:82
- fototyristor, I:130
- frekvence
 - kritická, II:97
 - kvazirezonanční, II:98
 - výhybka, II:17
- Frescale, I:20
- frézování, I:53
- funkce
 - logická, II:116, II:117
- funkční generátor, II:43
- funkční vzorek, I:51

- galium, I:116
- gate, I:147
- generátor funkcí, II:43
- germanium, I:113, I:115
- GND, II:54
- Graetzův můstek, II:19
- GTO, I:113
- Gunn J. B., I:119
- Gunnova dioda, I:119

- hard limiter, I:123
- Henry Josef, I:108
- hladina
 - izolační, II:137
 - ochranná, II:137
- hodiny, II:119
- hodnota
 - efektivní
 - skutečná, I:29
- horkovzdušná jehla, I:60
- horkovzdušný nůž, I:48
- horní mezní kmitočet, II:55
- hradlo, II:23
- hrot
 - věčný, I:63
- hrubá ochrana, II:138
- hustota
 - proudová, I:55
- hystereze, II:110

- charakteristika
 - kmitočtová, II:49
 - volt-ampérová
 - dioda stabilizační, II:29
 - vstupní, II:111

- IGBT, I:151
- IGFET, II:105
- impedance
 - normovaná, II:49
 - vstupní, II:49
- impuls
 - kladný, II:107
 - přepěťový vstupní, II:138
 - spouštěcí, II:107, II:109
 - záporný, II:107
- indium, I:115
- indukce
 - elektromagnetická, I:87
 - magnetická, I:86, I:87
- indukčnost, I:48, I:85
 - praralelní řazení, II:15
 - sériové řazení, II:15
- induktivní zátěž, II:110
- instrukční soubor, II:122
- integrační článek, II:15
- integrátor, II:42
- integrátor s OZ, II:42
- IRF450, I:111
- izolace
 - proti okolí, I:106

- jádro, I:85
 - feritové, I:86
 - železové, I:86
- jazyčkové kontakty, I:109
- jednotka
 - ALU, II:119
- jehla
 - horkovzdušná, I:60
- jemná ochrana, II:138
- jev
 - termoelektrický, I:106
- jev piezoelektrický, II:92
- JFET, I:147

- jiskřiště, I:48, I:124, II:137
 - hlavní, II:137
 - ochranné, II:137
 - vzduchové, I:124
 - zapalovací, II:137
- jmenovitý odpor, I:80
- kalafuna, I:63
 - aktivovaná, I:63
- kanál
 - vodivost, I:146
 - vodivý, I:110
- kapacita, I:83
 - bariérová, I:114
 - difúzní, I:114
 - jmenovitá, I:83
 - tolerance, I:84
 - statická, I:114
 - vlastní, II:138, II:139
- kapacitní dělič, II:14
- kartit, I:47
- kaskáda, II:96
- katalog
 - konstrukční, I:18
 - obchodní, I:17
 - online, I:19
 - přehledový, I:17
- katalogový list, I:18
- katoda, I:100, I:129, II:23
- keramický nosič, I:47
- klávesnice
 - počítačová, I:108
- klopný obvod
 - astabilní, II:109
 - bistabilní, II:107
 - monostabilní, II:108
 - Schmitův, II:110
- kmitání, II:109
- kmitočet
 - kompenzace, II:38
 - mezní, I:114, I:143, II:55
 - pásmo, II:55
 - přesnost, II:87
 - rezonanční, II:84
 - výhybka, II:17
- kmitočtový filtr, II:79
- kolektor, I:140
- kombinovaná ochrana, II:138
- komparátor, II:42
 - analogový, II:121
- kompenzovaný dělič napětí, II:16
- kondenzátor, I:48, I:83
 - dolaďovací, I:84
 - elektrolytický, I:84
 - filtrační, II:21
 - keramický, I:84
 - nabíjecí, II:22
 - napěťový dělič, II:14
 - paralelní řazení, II:14
 - sběrací, II:22
 - sériové řazení, II:13
 - svitkový, I:84
 - urychlovací, II:108, II:109
 - vazební, II:56
- konstanta
 - Nagaokova, I:86
- kontakt, I:106
 - jazyčkový, I:109
 - odskoky, I:107
 - pružný, I:108
- kontaktní hluk, I:107
- kontrola, I:27
- korekce RIAA, II:48
- korekční zesilovače, II:66
- kostra, I:92
- krystal, II:92, II:119
- křemík, I:113
- KT201/600, I:132
- kusovník, I:26
- KY130/600, I:115
- kyselina
 - solná, I:100
- L4960, II:112
- lázeň
 - cínová, I:48
- LED, I:121
- leptání, I:48
 - pěnové, I:53
 - probublávací, I:53
 - sprejové, I:53
- Li-Ion, I:100
- Li-Pol, I:100
- linka

- telegrafní, I:108
- list
 - katalogový, I:18
- LM1036, II:70
- LM317, II:34
- LM337, II:34
- LM386, II:73
- LM3886T, II:77
- LM4752T, II:77
- LM7402, II:79
- LM741, II:39
- LME49810, II:79
- logická funkce, II:116, II:117
- logický
 - negovaný součet, II:117
 - negovaný součin, II:117
 - součet, II:117
 - součin, II:117
 - výhradní součet, II:117
- LOUDNESS, II:70
- LSI, I:152
- maska
 - nepájivá, I:49
- MB3735, II:77
- MCU, II:119
- měděná fólie, I:47
- měkký start, II:112
- měření
 - fázového posuvu, I:41
 - indukčnosti, I:42
 - kapacit, I:84
 - kmitočtu, I:39
 - kondenzátorů, I:84
 - napětí, I:29, I:31, I:39
 - osciloskop, I:32
 - proudu, I:29, I:30, I:40
 - V-A charakteristiky, I:42
- metoda
 - dělicích čar, I:51
 - kombinovaná, I:51
 - spojových čar, I:50
- mez
 - průrazu, I:116
- mezera
 - vzduchová, I:86
- MH54xx, II:115
- MH74xx, II:115
- MH84xx, II:115
- mikrokontrolér, II:119
- mikropočítač, II:119
- MKO, II:108
- monostabilní klopný obvod, II:108
- MOSFET, I:148
- Motorola, I:20
- mřížka, I:129, II:23
- MSI, I:152
- MUTE, II:75
- náběh zdroje, II:111
- nabíjení
 - dvoustupňové, I:106
- náboj
 - otevřeného přechodu, II:108
- nadproudová ochrana, II:112
- NAND, II:116, II:117
- napájení
 - symetrické, II:37
- napětí
 - spínací, II:25
 - šumové, I:80
- napětí
 - blokovací, I:135
 - dělič, II:12
 - dělič kompenzovaný, II:16
 - difúzní, I:113
 - elektromotorické, I:101
 - jmenovité, I:84
 - malé, II:137
 - maximální
 - povolené, I:29
 - měření, I:31
 - na oblouku, I:124
 - naprázdno, I:93
 - nejvyšší dovolené, I:80
 - nízké, II:137
 - polarizační, I:101
 - prahové, I:114, II:108
 - primární, I:89
 - přidržené, II:109
 - pulsní, tepavé, II:18
 - rozkladné, I:101
 - rušivé, I:106
 - saturační, I:142, II:103

- sekundární, I:89
- stabilizační
 - měření, II:30
- stabilizátory, II:22
- stejnoseměrné, I:29
- střídavá složka, II:21
- střídavé, I:29
- špička, II:110
- transformace, II:111
- usměrněné, filtrované, II:20
- usměrněné, maximální hodnota, II:18
- usměrněné, střední hodnota, II:18
- ve fázi, II:54
- vlna, II:138
- v protifázi, II:54
- zápalné, I:124
- zapalovací, II:137
- závěrné, I:113
- závěrné maximální, I:114
- Zenerovo, II:28
 - měření, II:30
- zvlnění, II:19, II:21
- napěťová vlna, II:138
- napěťový dělič, II:12
- napěťový komparátor, II:42
- napěťový měnič
 - snižující, II:111
- násobič kapacity, II:22
- nastavitelné korekce, II:66
- National Semiconductors, I:20
- NE5534, II:68
- negistor, I:82
- nelineární člen, II:98
- nepájivá maska, I:49
- NiCd, I:100
- NiMH, I:100
- nízkofrekvenční zesilovač, II:63
- NOR, II:116, II:117
- nosič, I:47
 - keramický, I:47
- NPN, I:140
- NTC, I:82
- nůž
 - horkovzdušný, I:48
- nýt
 - dutý, I:48
- oblast
 - odporová, I:148
 - saturace, I:148
 - zahrazení, II:109
- oblouk, II:137
- obrazec spojů, I:48
- obvod
 - číslicový, II:115
 - digitální, II:115
 - integrováný, I:151
 - magnetický, I:86, I:88
 - monolytický, I:152
 - periferní, II:119
 - zhášecí, II:110
- obvody
 - integrované, I:152
 - programovatelné, I:152
 - zákaznické, I:153
- oddělení
 - galvanické, I:136
- odpor
 - dovolené zatížení, I:80
 - dynamický vstupní, II:111
 - elektrický, I:79
 - jmenovitý, I:80
 - magnetický, I:86
 - nejvyšší dovolené napětí, I:80
 - řízený, II:111
 - šumové napětí, I:80
 - teplotně závislý, II:139
 - teplotní součinitel, I:80
 - tolerance, I:80
 - v rozpojeném stavu, I:106
 - vnitřní, II:111
 - vstupní, II:49, II:55
 - v sepnutém stavu, I:106
 - záporný diferenciální, I:119
 - zatěžovací, II:59
- odsávačka, I:60
- odstup
 - cizích napětí, II:49
- Ohmův zákon, I:79
- ochrana
 - hrubá, I:123, II:138
 - jemná, I:123, II:138
 - kombinovaná, II:138
 - přepěťová, II:137

- oktáva, II:108
- oprava
 - fólií, I:65
 - plošky, I:68
 - prokovení, I:68
 - propojkou, I:66
- oprava DPS, I:64
- optočen, I:136, I:137
- optoelektrický vazební člen, I:136, I:137
- optokopler, I:136, I:137
- OR, II:116, II:117
- oscilátor
 - Clappův, II:91
 - Colpittsův, II:91
 - Hartleyův, II:90
 - krystalový, II:92, II:93
 - krystalový Clappův, II:94
 - krystalový Colpittsův, II:94
 - krystalový doladování, II:94
 - krystalový Pierceův, II:94
 - s fázovacími čtyřpóly RC, II:96
 - s Wienovým článkem, II:97
 - tříbodové, II:90
 - vysokofrekvenční, II:86
- oscilátory RC, II:95
- oscilokop
 - šířka pásma, I:36
- osciloskop, I:32
 - astigmatismus, I:33
 - bezpečnost práce, I:43
 - bod, I:33
 - časová lupa, I:33
 - časová základna, I:33
 - dělicí sonda, I:36
 - kalibrace, I:37
 - dvojitá časová základna, I:34
 - jas, I:33
 - kalibrátor, I:35
 - měření, I:38
 - měření fázového posuvu, I:41
 - měření indukčnosti, I:42
 - měření kmitočtu, I:39
 - měření napětí, I:38, I:39
 - měření proudu, I:40
 - měření V-A charakteristiky, I:42
 - posuv, I:33
 - princip, I:32
 - rastr, I:33
 - synchronizace, I:32, I:34
 - vstupní zesilovač, I:35
 - vyhledání, I:33
 - zobrazovač, I:32
- OTP, II:119
- otvory
 - prokovení, I:48
 - vrtání, I:48
- OVČ, I:136, I:137
- P6KE400-BIDIR, I:128
- P6KE6V8-BIDIR, I:128
- pájecí ploška
 - uvolněná, I:65
- pájecí stanice, I:60, I:61
- pájedla
 - odporová, I:61
 - regulovaná, I:61
 - transformátorová, I:61
- pájedlo, I:59
 - odporové, I:59
 - plynové, I:59
 - transformátorové, I:59
- pájení, I:59
- pájitelnost, I:62
- pájka, I:59
- pájky, I:62
- paměť
 - datová, II:119
 - nonvolativní, II:119
 - operační, II:119
 - RAM, II:119
- pásmo
 - slyšitelné, II:52
 - šířka, I:36
- pasta
 - grafitová, I:48
- PCB, I:47
- PENTAWAT, I:153
- periferie, II:121
- permeabilita, I:86
- pevné korekce, II:66
- PGA, I:153
- PIC10, II:121
- PIC12, II:121
- PIC16, II:121

- PIC16F628A, II:119, II:121–123
 PIC18, II:121
 PIC24, II:121
 pila
 rychloměrná, I:48
 PIN, I:119
 PIN dioda, I:119
 plechy
 EI, I:89
 plnění okénka, I:87
 plocha okénka, I:87
 plošný spoj, I:47, I:64
 pružný, I:47
 výměna součástek, I:69
 PNP, I:140
 počet závitů, I:87
 počítač
 analogový, II:37
 podmínka
 amplitudová, II:90
 fázová, II:90
 vzniku kmitů, II:90
 pojistka, II:137
 polarizace
 galvanická, I:100, I:101
 pole
 magnetické
 střídavé, I:88
 poloha
 klidová, II:107
 poměr
 převodní, II:111
 postup technologický, I:27
 potenciometr, I:81
 logaritmický, II:59
 průběh, I:81
 pozistor, I:82
 pracovní bod
 stejnoseměrný, II:60
 pracovní registr, II:121
 princip spínání stabilizátoru, II:112
 Print Board Pen, I:52
 programátor, II:121
 programování, II:121
 programování MCU, II:121
 programový čítač, II:119
 prokovení, I:48
 propust, II:81
 dolní, II:81, II:83
 horní, II:81, II:83
 pásmová, II:81, II:83, II:84
 proud
 maximální, I:114
 měření, I:30
 naprázdno, I:94
 přidržený, II:26
 vratný, II:24
 závěrný, II:25
 proudový zesilovací činitel, I:143
 průraz
 lavinový, I:113
 nedestruktivní, II:25
 Zenerův, I:113
 průrazka, II:138
 pružný plošný spoj, I:47
 prvek
 hrubé ochrany, II:138
 jemné ochrany, II:138
 regulační, II:32
 pryž
 vodivá, I:108
 přebuditelnost, II:49
 předloha, I:49
 přenos
 amatérsky, I:52
 profesionálně, I:52
 přechod PN, I:113
 přepětí, I:123, II:137
 přepětiová ochrana, II:137
 přerušování, II:121
 maskované, II:121
 nemaskované, II:121
 vlasové, I:65
 příjemka, I:22
 přímka
 mezni, I:142
 zatěžovací, II:111
 PTC, I:82
 puls
 sklon temene, I:43
 Pulse Width Modulation, II:121
 pumpa
 vakuová, I:60
 PWM, II:121

- Q4010LT, I:136
- rail to rail, II:46
- raznice, I:48
- REF, II:70
- registr
pracovní, II:121
- regulace
bezeztrátová, II:24, II:26
- regulátor
odrušení, II:28
- relé, I:108
bistabilní, I:109
časovací, I:109
elektromagnetické, I:108
jazýčkové, I:109
nadproudové, I:109
pohyb kontaktu, I:108
polarizované, I:109
přepínací, I:109
rozpínací, I:109
s definovaným chováním, I:109
se zpožděným odpadem, I:109
se zpožděným přitahem, I:109
spínací, I:109
světelné, I:109
v pevné fázi, I:138
- reostat, I:81
válcový, II:36
- reset, II:121
- rezistor, I:79
dovolené zatížení, I:80
drátový, I:81
hodnota, I:80
měření a kontrola, I:83
napětí
nejvyšší dovolené, I:80
šumové, I:80
napětově závislý, II:137
napětový dělič, II:12
nejvyšší dovolené napětí, I:80
omezovací, II:107
paralelní řazení, II:12
promenný, I:81
řízený, I:82
sérioparalelní řazení, II:13
sériové řazení, II:11
teplotní součinitel, I:80
tištěný, I:48
tolerance, I:80
vrstvový, I:80
- rezonance krystalu, II:93
rezonátor piezokrystalový, II:92
- RMS, I:29
- Root-Mean-Square, I:29
- rozklad
galvanický, I:100
- RTB xx-T-P/N, I:97
- rušivé napětí na spínači, I:106
- rychlost
sepnutí, I:107
unášivá, I:120
- řada
vyvolená, I:80
- řadič
přerušení, II:121
- řadič přerušení, II:121
- řazení
indukčností a kondenzátorů, II:16
paralelní
indukčnosti, II:15
kapacity, II:14
rezistory, II:12
RCL, II:17
sérioparalelní
rezistory, II:13
sériové
indukčnosti, II:15
kapacity, II:13
rezistory, II:11
- řetězec
filtrační, II:22
- řízení
fázové, I:131, I:134, II:26
- SA36-11EWA, I:140
- SFR, II:121
- Shottkyho dioda, I:117
- schéma, I:25
- Schmitův klopný obvod, II:110
- Schmitův klopný obvod s OZ, II:42
- signál
jehlový, I:45

- obdélníkový, I:45
- popis, I:44
- sinusový, I:45
- trojúhelníkový, I:45
- SIOV-S20K20, I:127
- sítotisk, I:53
- skladní karta, I:23
- SKO, II:110
- služba
 - vyhledávací, I:21
- smáčecí úhel, I:62
- smyčka
 - hysterezní, I:87
- SNxxxx, II:115
- solid state relay, I:138
- sonda
 - dělicí, I:36
- soubor
 - instrukční, II:122
- source, I:147
- Special Function Register, II:121
- spínací součástka vícevrstvá, I:129
- spínač
 - diodový, I:112
 - mechanický, I:106
 - můstkový, I:112
 - polovodičový, I:129
- spoj
 - obrazec, I:48
 - plošný, I:47, I:64
 - přerušovaný, I:65
 - šířka, I:55
 - třída, I:54
 - I, I:54
 - II, I:54
 - III, I:54
 - IV, I:54
 - V, I:54
 - VI, I:55
- spojení
 - zkratové, II:137
- spojka
 - vlasová, I:64
- SSH11N90, I:21
- SSI, I:152
- SSR, I:138
- stabilita
 - krátkodobá, II:86
 - stabilita dlouhodobá, II:86
 - stabilita kmitočtu, II:86
 - stabilizace
 - teplotní, II:55
 - stabilizátor, II:22, II:28
 - LM317, II:34
 - LM337, II:34
 - nastavitelný, II:34
 - návrh, II:29
 - paralelní, II:28
 - pevný, II:32
 - poměr převodní, II:111
 - řady 78xx, II:32
 - řady 79xx, II:32
 - s diskrétními součástkami, II:32
 - s integrovaným obvodem, II:32, II:34
 - sériový, II:32
 - spínaný, II:111
 - spínaný princip, II:112
 - stabilizátor napětí, II:22
 - STAND-BY, II:75
 - start zdroje, II:111
 - stav
 - kvazistabilní, II:108
 - provozní normální, II:137
 - stabilní, II:107, II:108, II:110
 - Step-Down Converter Forward Mode, II:112
 - stroj
 - netočivý, I:87
 - struktura
 - tranzistorová, I:152
 - střídavá složka, II:20, II:21
 - stupeň integrace, I:152
 - svodič
 - pomocný, II:137
 - svodič přepětí, II:137
 - synchronizace, I:34
 - šířka pásma, II:84
 - špička
 - napěťová, II:110
 - šum
 - amplitudový, II:89
 - fázový, II:89
 - šumové napětí, I:80

- TA8220, II:77
- tavidla, I:62, I:63
- tavidlo, I:59
- TBA820, II:77
- TDA1515BQ, II:77
- TDA1521, II:76
- TDA1524, II:70
- TDA2003, II:77
- TDA2030A, II:77
- TDA2040, II:77
- TDA2050, II:77
- TDA2052, II:77
- TDA4292, II:70
- TDA7264, II:75
- TDA8560Q, II:77
- TDA8561, II:77
- TDA8571J, II:77
- technika
 - spínací, II:101
- technologie
 - planární, I:151
- telefon
 - mobilní, I:108
- teplotní drift, II:38
- teplotní součinitel odporu, I:80
- termistor, I:82, II:139
- Texas Instruments, I:20
- TIC106M, I:132
- TIC206D, I:134
- TIC263M, I:134
- TL072, II:98
- TL084, II:39
- tlumivka, I:86
- TO12, I:153
- TO220, I:145
- TO3, I:145
- TO73, I:153
- TO74, I:153
- TO77, I:153
- TO8, I:153
- transfer rezistor, I:140
- transformátor, I:87
 - měření
 - izolace, I:93
 - odporu, I:93
 - napětí naprázdno, I:93
 - proud naprázdno, I:94
- toroidní, I:94
- výpočet, I:92
- zkouška
 - elektrické pevnosti, I:93
 - ztráty v železe, I:94
- transil, I:125, I:127
- tranzistor, I:140
 - bipolární, I:13, I:111, I:140
 - blokovací stav, II:102
 - destrukce, II:107
 - dynamické chování, II:102
 - IGBT, I:151
 - JFET, I:147
 - komplementární, II:71
 - koncový, II:73
 - mezní hodnoty, I:143
 - mezní kmitočet, I:143
 - MOSFET, I:110
 - napětí saturační, II:103
 - nasycení, I:142
 - průraz, I:148
 - saturace, I:142
 - spínací, II:102
 - unipolární, I:146, II:78, II:105
 - VA charakteristika, I:142
 - zesílení, I:143
 - ztrátový výkon, I:143
- trhlina
 - vlasová, I:65
- triak, I:113, I:133, II:24, II:106
- trimr, I:81
 - odporový, I:81
- trisol, I:125, I:127
- TRMS, I:29
- trubice
 - vyfukovací, II:137
- True Root-Mean-Square, I:29
- TTL, II:116
- TTL-LS, II:116
- tyristor, I:113, I:129, II:23, II:106
 - sepnutí, II:24
- UCYxxxx, II:115
- úhel
 - otevření, II:26
 - smáčecí, I:62
- ULSI, I:152

- Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter, 1121
 úroveň
 ochranná, I:124
 urychlení, II:107
 USART, II:121
 usměrňovač, II:18
 dvoucestný, uzlový, II:19
 dvoupulsní aktivní, II:20
 dvoupulsní Graetzův, II:19
 dvoupulsní můstkový, II:19
 dvoupulsní, uzlový, II:19
 jednocestný, II:18
 jednopulsní, II:18
 jednopulsní, aktivní, II:18
 řízený, II:26
 útlumový článek, II:13

 V-A charakteristika
 zobrazení, I:42
 vakuová pumpa, I:60
 varaktory, I:118
 variable resistor, I:125
 varikap, I:117
 varistor, I:82, I:124, I:125, II:137, II:138
 vazba
 stejnoseměrná, II:58
 zpětná, II:38, II:54, II:55
 kladná, II:54
 záporná, II:54
 vazební kondenzátor, II:56
 VCR-7D275V, I:127
 věčný hrot, I:63
 vlna napěťová, II:138
 VLSI, I:152
 vnitřní odpor, II:111
 vodič
 pro vinutí, I:92
 průřez, I:87
 vodivá vrstva, I:47
 vodivost
 intrinziční, I:119
 Volta A., I:13
 voltmetr
 nízkofrekvenční, I:29
 vysokofrekvenční, I:29
 vrstva
 uhlíková, I:49
 vodivá, I:47
 vrstva I, I:119
 vstup
 invertující, II:37
 klidový proud, II:38
 napěťová nesymetrie, II:38
 neinvertující, II:37
 výboj
 doutnavý, I:124
 obloukový, I:124
 výbrus, II:92
 výčetka, I:26
 výdejka, I:23
 výhybka
 kmitočtová, II:17
 výkonový zesilovač, II:70
 výkres
 grafitového potisku, I:25
 nepájivé masky, I:25
 osazení, I:25
 potisku, I:25
 spojů, I:24
 vrtání, I:25
 výkres zlacení, I:25
 vyvolená řada, I:80
 vzdálenost
 povrchová, I:56
 vzdušná, I:56
 vzorek
 funkční, I:51

 Watch Dog Timer, II:121
 WDT, II:121
 Wienův článek, II:96, II:97
 wolfram, I:115
 WTD, II:121

 XOR, II:117

 zádrž, II:82
 pásmová, II:82, II:83, II:85
 úzkopásmová, II:85
 základna
 časová, I:32
 zákon
 Ohmův, I:79
 Zákon o odpadech, II:143

- zapojení
 - kaskádní, II:138
- zapojení s komplementárními tranzistory, II:71
- záření
 - koherentní, I:121
- zátěž
 - indukční, II:110
- zatěžovací přímka, II:111
- zatížení
 - dovolené, I:80
- zatížitelnost zdroje, II:111
- zdroj
 - hodin, II:119
 - měkký start, II:112
 - náběh, II:111
 - nadproudová ochrana, II:112
 - přetížení, II:111
 - start, II:111
 - zatížitelnost, II:111
- zdroj hodin, II:119
- zdroj signálu
 - nízkoúrovňový, II:48
 - vysokoúrovňový, II:48
- zesílení, II:50
 - napěťové, II:89
- zesilovač
 - dvoustupňový, II:58
 - jednostupňový, II:56
 - jednotranzistorový, II:52
 - koncový, II:52
 - korekční, II:51, II:66
 - nastavitelný, II:66
 - pevný, II:66
 - napěťový, II:51
 - nastavení pracovního bodu, II:52
 - nízkofrekvenční, II:52
 - nízkofrekvenční s OZ, II:63
 - operační, II:37, II:61
 - bez zpětné vazby, II:42
 - BIFET, II:37, II:38
 - BIMOS, II:37, II:38
 - diferenční, II:41
 - generátor funkcí, II:43
 - ideální, II:37
 - integrační, II:42
 - invertující, II:40, II:61
 - katalogové údaje, II:38
 - kmitočtová kompenzace, II:38
 - komparátor, II:42
 - kompenzace vstupní proudové nesymetrie, II:41
 - konstrukční požadavky, II:39
 - napěťová nesymetrie, II:38
 - neinvertující, II:40, II:62
 - nízkofrekvenční, II:63
 - pouzdrění, II:38
 - rozdílový, II:41
 - rychlost přeběhu, II:38
 - Schmitův klopný obvod, II:42
 - součtový, II:41
 - sumační, II:41
 - vlastnosti, II:37
 - vstupní klidový proud, II:38
 - předzesilovač, II:52
 - přenosový řetězec, II:51
 - stabilita, II:55, II:60
 - třída A, II:52, II:72
 - třída AB, II:52, II:72, II:73
 - třída B, II:52, II:72
 - třídy, II:52
 - třístupňový, II:60
 - vstupní odpor, II:55
 - výkonový, II:51, II:52, II:70
 - zhasnutí oblouku, I:125
 - zkrat, I:64
 - zkreslení, II:50
 - činitel harmonického zkreslení, II:50
 - harmonické, II:50
 - intermodulační, II:50
 - zlacení, I:49
 - zobrazovač, I:139
 - zobrazovače LCD, I:140
 - zpětná vazba, II:54
 - ztráta
 - tepelná, II:101
 - ztráty
 - tepelné, II:102
 - zvlnění, II:21

Literatura

- [1] ABE.tec. Desky pro výrobu plošných spojů [online]. 2008, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <http://www.prototypdps.cz/dps/dps_desk1.htm>
- [2] AHMADI H. Calculating Creepage and Clearance Early Avoids Design Problems Later [online]. 2006, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://www.ce-mag.com/ce-mag.com/archive/01/03/ProductSafety.html>>
- [3] BEČKA R. Určenie dolného a horného kmitočtu dvojbrány pomocou osciloskopu. Praha: Sdělovací technika č. 9 (str. 359), 1993
- [4] Ing. BELZA J. Zapojení s operačními zesilovači. Praha: AMARO spol. s r. o. Konstrukční elektronika A Radio č. 3, 1996, ISSN 1211-3557
- [5] BEZDĚK M. Elektronika 1. [České Budějovice?]: Kopp [2002?]. ISBN 80-7232-171-4
- [6] BORISOV, V. G. Mladý radioamatér. Praha: Naše Vojsko, 1953
- [7] Ing. ČERMÁK J. CSc. Kurs polovodičové techniky. Praha: SNTL, 1976
- [8] European commision. Frequently Asked Question on Directive 2002/95/EC on the Restriction of Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) and Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) [online]. Evropská komise 2003 [citováno 25. září 2008]. Dostupné z: <http://ceho.vuv.cz/CeHO/CeHO/Elektroodpad/FAQ_WEEE_guidance_EU.pdf>
- [9] Evropská komise. Časté otázky u směrnic 2002/96/ES a 2002/95/ES (pracovní překlad) [online]. Praha: VÚV T.G.M - CeHO 2006 [citováno 29. září 2008]. Dostupné z: <http://ceho.vuv.cz/CeHO/CeHO/Elektroodpad/FAQ_OEEZ_CeHO_2000.doc>
- [10] Gatema s.r.o. Výroba plošných spojů – technické podmínky [online]. 2006 [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://www.gatema.cz/cz/vyroba-plosnych-spoju/technicke-podminky>>
- [11] GIJZEN B. IC-Prog Prototype Programmer [online]. 2008, poslední úpravy 6. září 2008 [citováno 17. prosince 2008]. Dostupné z: <<http://www.ic-prog.com>>
- [12] HALÍK L. Aktivní proudové sondy. Praha: Sdělovací technika č. 12 (str. 483), 1993
- [13] HALÍK L. Kurzory a zprávy na obrazovce. Praha: Sdělovací technika č. 2 (str. 57), 1994
- [14] HALÍK L. Osciloskop se vstupním odporem 50 Ω. Praha: Sdělovací technika č. 1 (str. 11), 1994

- [15] HALÍK L. Použití sond k osciloskopu. SNTL, Sdělovací technika č. 8 (str. 285), 1990
- [16] HALÍK L. Připojení měřeného objektu k osciloskopu. Praha: Sdělovací technika č. 11 (str. 441), 1993
- [17] HANUS, S., SVAČINA, J. Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika – přednášky. Skripta FEI VUT. MJ Servis, Brno 2000
- [18] HAVÍŘOVÁ B. Monitorování průběhů pomocí osciloskopu [online]. 2003, [citováno 16. února 2009]. Dostupné z: <<http://www.math.muni.cz/stastna/dp/04.htm>>
- [19] HONG S. A History of the Regeneration Circuit [online]. 2004 [citováno 13. června 2008]. Seoul: Seoul National University. Dostupné z: <http://www.ieee.org/portal/cms_docs_iportals/iportals/aboutus/history_center/conferences/che2004/Hong.pdf>
- [20] HRUBÝ J. CSc. Návrh aktivních dolních a horních propustí RC s jediným operačním zesilovačem. Praha: Sdělovací technika č. 12 (str. 443), 1975
- [21] i-spec. Circuit Separation [online]. 2003, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <http://www.i-spec.com/Basics/circuit_separation.html>
- [22] Ing. KALA S. Program pro výpočet útlumového článku. Praha: Naše Vojsko, Amatérské rádio – konstrukční příloha (str. 65), 1988
- [23] katalog. Katalog elektronických součástek č. 5. Tesla Rožnov: Rožnov 1989 (strana 128 až 179)
- [24] kol. Elektrotechnická měření. Praha: BEN, 2006, ISBN 80-7300-022-9
- [25] kol. Obsah – výuka ZÁSOBOVÁNÍ [online]. Centrum pro rozvoj ekonomického vzdělávání, 2009 [citováno: 1.1.2009]. Dostupné z: <http://www.ceed.cz/podnik_ekonomika/zasobovani_logistika/Obsah_vyuka.htm>
- [26] kol. Technická dokumentace [online]. CVUT 2004, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://k312.feld.cvut.cz/vyuka/tdo/dokumentace/texty/lectures/Electro.pdf>>
- [27] kol. Technická příprava výroby [online]. 2008 [citováno: 1.1.2009]. Dostupné z: <http://www.skolasnov.ic.cz/matury/technicka_priprava_vyroby__master.pdf>
- [28] kol. Tutoriál 1 (KNFE) VUT Brno Úvod do nízkofrekvenční techniky. [Brno?]: VUT Brno
- [29] KRAUS A. Moderní výkonové zesilovače. Praha: AMARO spol. s r. o. Amatérské rádio č. 10 (str. 25), 2007, ISSN 0322-9572
- [30] KRAUS A. Poweramp [online]. 2008 [citováno 17. prosince 2008]. Dostupné z: <<http://www.poweramp.eu>>
- [31] KRYŠKA L. prom. fyz, Zuska J. Aplikace operačních zesilovačů. Praha: Naše Vojsko, Amatérské rádio pro konstruktéry č. 6, 1977
- [32] KRŮŽEK, V. Když rádio bylo mladé. [Praha?]: Elli 2005. ISBN 80-239-2284-X.

- [33] KULHÁNEK M. Základy elektrického měření. Plzeň: SOUE 2007
- [34] MATUŠKA A. Nízkofrekvenční aktivní filtry s operačními zesilovači. Praha: Naše Vojsko, Amatérské radio pro konstruktéry č. 4 (str. 137), 1979
- [35] Ministerstvo vnitra. Sbírka zákonů, částka 123/2005. Praha: Tiskárna MV 2005. ISSN 1211-1244
- [36] Ing. SIGMUND M. CSc. Aktivní filtry RC 3. řádu s jedním operačním zesilovačem. Praha: MAGNET, Amatérské rádio – konstrukční příloha (str. 41), 1990
- [37] PINKER J., POUPA M. Číslicové systémy a jazyk VHDL, Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-198-5
- [38] printed. Konstrukční a zadávací podmínky [online]. 2001-2006 [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://printed.webove-aplikace.com/konstrukcni-a-zadavaci-podminky>>
- [39] sinclar. Elektronky II – princip funkce elektronek a historie [online]. 2003 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <<http://www.zesilovace.cz/view.php?cislocianku>=2003031202>>
- [40] ŠTEVÁNKA D. Návrh aktivních pásmových propustů. Praha: SNTL, Sdělovací technika č. 12 (str. 456), 1975
- [41] Ing. TKOTZ K. a kol. Fachkunde Elektrotechnik. Europa Lehrmittel Verlag, 2008. ISBN 3-8085-3159-2
- [42] VACKÁŘ J. Amatérská měřicí technika. Praha: SNTL, 1990
- [43] VESELOVSKÝ J., DANÍŠ S., Elektrotechnické kreslení pro SOU. Praha: SNTL, 1988
- [44] Ing. VÍT V. Televizní technika, anténní rozvody a signálové obvody přijímačů. Praha: AZ SERVIS, 1993
- [45] Ing. VÍT V. a kol. Televizní technika. Praha: SNTL, 1979
- [46] VOŽENÍLEK L., ŘEŠÁTKO M., Základy elektrotechniky 1. Praha: SNTL, 1984
- [47] SVOBODA J. BRDA J. Elektroakustika do kapsy. Praha: SNTL, 1981
- [48] TOMEK G. VRÁNKOVÁ V. Řízení výroby a nákupu, Grada publishing, Praha 2007, ISBN 978-80-247-1479-0
- [49] Wikipedia. Alessandro Volta [online]. 2008, poslední úpravy 13. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta>
- [50] Wikipedia. History of the transistor [online]. 2007, poslední úpravy 22. května 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_transistor>
- [51] Wikipedia. Edwin Howard Armstrong [online]. 2007, poslední úpravy 2. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_H._Armstrong>

- [52] Wikipedia. Jack Kilby [online]. 2008, poslední úpravy 10. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Jack_Kilby>
- [53] Wikipedia. John Ambrose Fleming [online]. 2007, poslední úpravy 26. května 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/John_Ambrose_Fleming>
- [54] Wikipedia. Julius Edgar Lilienfeld [online]. 2006, poslední úpravy 7. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Julius_Edgar_Lilienfeld>
- [55] Wikipedia. Hans Christian Ørsted [online]. 2008, poslední úpravy 12. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted>
- [56] Wikipedia. Lee De Forest [online]. 2007, poslední úpravy 12. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lee_De_Forest>
- [57] Wikipedia. Georg Ohm [online]. 2008, poslední úpravy 6. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Ohm>
- [58] Wikipedia. Greenleaf Whittier Pickard [online]. 2004, poslední úpravy 6. května 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Greenleaf_Whittier_Pickard>

DÍLENSKÁ PŘÍRUČKA – ELEKTRONIKA I.

První díl
kolektiv autorů

Sazba autor, tisk TYPOS Plzeň
Toto vydání neprošlo jazykovou ani redakční úpravou.

Vydalo Sdružení energetických a elektrotechnických škol a učilišť
jako svou 4. publikaci. 173 stran. Plzeň 2009.
Druhé přepracované vydání.

Střední odborné učiliště elektrotechnické, Vejprnická 56, 318 00 Plzeň.
<http://www.souepl.cz>, *e-mail* centrum@souepl.cz

SDRUŽENÍ ENERGETICKÝCH A ELEKTROTECHNICKÝCH UČILIŠŤ A ŠKOL

DÍLENSKÁ PŘÍRUČKA

ELEKTRONIKA I

Druhý díl

Druhé přepracované vydání

Sestavil Ondřej Weisz

Kolektiv autorů:

Václav Besta

František Paskuda

Petr Kaleta

Jan Kašpar

Petr Matyáš

Jaromír Nový

Jan Pošvář

Libor Salajka

Václav Slabihoudek

Ondřej Weisz

Toto vydání neprošlo jazykovou ani redakční úpravou.

© Sdružení energetických a elektrotechnických škol a učilišť, 2009

- SOUE Plzeň
- SOŠ a SOU Dubno
- SPŠ Sokolnice
- SŠE Ostrava
- SOŠE–COP Hluboká nad Vltavou
- SPŠ Třebíč
- SOŠ a SOU Hradec Králové

Dílenská příručka Elektronika I vznikla ve spolupráci se Sdružením energetických a elektrotechnických učilišť a škol a je určena širokému okruhu čtenářů z řad žáků středních škol a poslouží též pokročilým amatérům. V publikaci jsou uvedena typická zapojení různých obvodů s příslušnými komentáři a vysvětlením.

Dílenskou příručku Elektronika I lze využít při výuce odborného výcviku v odborných elektrotechnických dílnách slaboproudého zaměření a při instruktážích mistrů odborného výcviku.

Druhé přepracované vydání přináší inovovaný odborný obsah příručky Elektronika I. Při revizi proběhlo sjednocení témat s cílem přiblížit se jednotnějšímu způsobu výuky odborného výcviku v části obecné elektroniky. Příručka slouží i jako teoretické minimum potřebné pro úspěšné absolvování praktické části jednotného zadání závěrečné zkoušky tříletých učebních oborů se zaměřením na elektroniku.

Obsah

II	Zapojování dle schémat, vlastnosti a kontrola obvodů	9
6	Základní lineární obvody	11
6.1	R–C–L aneb pasivní součástky	11
6.1.1	Rezistory	11
6.1.2	Kondenzátory	13
6.1.3	Indukčnosti	15
6.1.4	R–C články	15
6.1.5	Řazení L–C	16
6.1.6	L–C	17
6.1.7	Řazení R–C–L	17
6.2	Diodové usměrňovače a filtry	17
6.2.1	Usměrňovače	18
6.2.2	Jednopulsní jednocestný usměrňovač	18
6.2.3	Jednopulsní jednocestný usměrňovač s operačním zesilovačem	18
6.2.4	Dvoupulsní dvoucestný usměrňovač	19
6.2.5	Můstkové zapojení usměrňovače – Graetzův můstek	19
6.2.6	Dvoupulsní dvoucestný usměrňovač s operačním zesilovačem	20
6.2.7	Filtrační obvody	20
6.2.8	Informativní tabulka filtračních kondenzátorů	21
6.2.9	Měření na usměrňovačích a filtrech	22
6.3	Regulátory s tyristory a triaky	23
6.3.1	Tyristor	23
6.3.2	Triak	24
6.3.3	Diak	25
6.3.4	Řízené usměrňovače	26
6.3.5	Fázové řízení	26
6.3.6	Nabíječ akumulátorů	27
6.3.7	Řízení otáček motoru regulátorem s triakem	28
6.3.8	Regulátor s triakem	28
6.4	Stabilizátory napětí	28
6.4.1	Postup při návrhu	29
6.4.2	Měření	31
6.4.3	Cvičení	31
6.4.4	Stabilizátory napětí s diskrétními součástkami	32
6.4.5	Stabilizátory pevného napětí s integrovanými obvody	32
6.4.6	Stabilizátory nastavitelného napětí s integrovanými obvody	34

6.4.7	Nastavitelný zdroj souměrného napětí	35
6.4.8	Cvičení	35
6.5	Stejnoseměrné zesilovače	36
6.6	Operační zesilovače	37
6.6.1	Základní informace	37
6.6.2	Vlastnosti	37
6.6.3	Katalogové údaje	38
6.6.4	Konstrukční požadavky	39
6.6.5	Neinvertující zesilovač	40
6.6.6	Invertující zesilovač	40
6.6.7	Sumační (součtový) zesilovač	41
6.6.8	Diferenční (rozdílový) zesilovač	41
6.6.9	Operační zesilovač bez zpětné vazby (komparátor)	42
6.6.10	Schmittův klopný obvod s OZ	42
6.6.11	Integrátor	42
6.6.12	Generátor funkcí	43
6.6.13	Cvičení	44
6.6.14	Souhrn základních poznatků	44
6.7	Přístrojové zesilovače	44
6.7.1	Použití	45
6.7.2	Hlavní vlastnosti přístrojových zesilovačů	46
6.7.3	Poznámky k aplikacím přístrojových zesilovačů	46
6.7.4	Připojení zdroje referenčního napětí	47
6.8	Nízkofrekvenční zesilovače	47
6.8.1	Vlastnosti a parametry zesilovačů	49
6.8.2	Nízkofrekvenční zesilovače v přenosovém řetězci	51
6.8.3	Základní rozdělení zesilovačů	52
6.8.4	Nastavení a stabilizace pracovního bodu tranzistoru	52
6.8.5	Zpětná vazba v zesilovačích	54
6.8.6	Příklady jednoduchých tranzistorových zesilovačů	56
6.8.7	Operační zesilovače	61
6.8.8	Nízkofrekvenční zesilovače s OZ	63
6.8.9	Korekční předzesilovače	66
6.8.10	Výkonové zesilovače – tranzistorové, integrované	70
6.8.11	Integrované obvody pro koncové zesilovače	73
6.8.12	Použití unipolárních tranzistorů v zesilovačích	78
6.8.13	Aktivní filtry s operačními zesilovači (OZ)	79
6.8.14	Pásmové propusti	81
6.8.15	Pásmové zádrže	82
6.8.16	Dolní propust 2 a 3 řádu	83
6.9	Vysokofrekvenční oscilátory	86
6.9.1	Základní parametry vysokofrekvenčních oscilátorů	86
6.9.2	Zpětnovazební vysokofrekvenční oscilátory LC	89
6.9.3	Základní zapojení vysokofrekvenčních oscilátorů LC	90
6.9.4	Kontrolní otázky k vysokofrekvenčním oscilátorům LC	92
6.10	Krystalem řízené oscilátory	92
6.10.1	Princip krystalu	92

6.10.2	Základní zapojení oscilátoru s krystalem	93
6.10.3	Kontrolní otázky k oscilátorům s krystalem	95
6.11	Nízkofrekvenční oscilátory RC	95
6.11.1	Základní zapojení nízkofrekvenčních oscilátorů RC	95
6.11.2	Kontrolní otázky k nízkofrekvenčním oscilátorům RC	98
6.12	Praktické cvičení	98
6.12.1	Kontrolní otázky k praktickému cvičení	99
7	Spínací obvody	101
7.1	Spínací diody	101
7.2	Spínací tranzistor	102
7.2.1	Zapojení bipolárního tranzistoru ve funkci spínače	103
7.2.2	Sonda pro hlídání hladiny vody v nádrži	104
7.2.3	Hlídání hladiny vody	104
7.3	Použití unipolárních tranzistorů	105
7.4	Tyristor, triak, diak	106
7.4.1	Tyristor	106
7.4.2	Triak	106
7.4.3	Nabíječka automobilových akumulátorů	107
7.5	Klopné obvody	107
7.5.1	Bistabilní klopné obvody	107
7.5.2	Monostabilní klopné obvody	108
7.5.3	Astabilní klopné obvody	109
7.5.4	Schmittův klopný obvod	110
7.6	Spínání indukční zátěže	110
7.7	Spínané stabilizátory napětí	111
7.7.1	Srovnání sériového a spínaného stabilizátoru napětí	112
7.7.2	Princip spínaného stabilizátoru napětí	112
8	Číslicové obvody	115
8.1	Základní číslicové obvody	115
8.1.1	Porovnání číslicových IO	116
8.1.2	Pravdivostní tabulky funkcí	117
8.1.3	Zapojení některých obvodů CMOS	118
8.2	Mikrokontroléry	119
8.2.1	Úvod	119
8.2.2	MCU firmy Microchip	121
8.2.3	Instrukční soubor PIC16F628A	122
8.2.4	Běžící světlo s PIC16F628A	122
8.2.5	Programátor	123
III	Rozšíření a doplňky	125
9	Zapojení konektorů vybraných zařízení	127
9.1	PC	127
9.1.1	LPT – Tiskový kabel (centronic)	127

9.1.2	COM – Modem 9pin – 25pin	128
9.1.3	COM – Modem 25pin – 25pin	128
9.1.4	COM – Nullmodem 9pin – 9pin	128
9.1.5	COM – Nullmodem 25pin – 25pin	129
9.1.6	COM – Modem 9pin – 25pin	129
9.1.7	COM – redukce – 9pin – 25pin	130
9.1.8	COM – PS/2 redukce	130
9.1.9	Klávesnice – redukce – DIN – MiniDIN	130
9.1.10	Klávesnice – redukce – MiniDIN – DIN	130
9.1.11	Joystick – redukce – Pc – Joy1 a Joy2	131
9.1.12	Grafická karta – DVI	131
9.1.13	Grafika – Redukce 9pin – 15pin VGA	131
9.1.14	Datová síť – Ethernet 10/100Base	132
9.2	Audio – Video	133
9.2.1	HDMI	133
9.2.2	SCART TV – Video	134
9.3	Telefonní konektor	134
10	Přepěťová ochrana	137
10.1	Druhy přepěťových ochran	137
10.1.1	Polovodičové ochrany	137
10.1.2	Ochranné jiskřiště	137
10.1.3	Růžková bleskojistka	137
10.1.4	Vyfukovací trubice	137
10.1.5	Ventilová bleskojistka	138
10.1.6	Průrazka	138
10.2	Obvodové zapojení přepěťových ochran	138
11	Česká republika a elektroodpad	143
11.1	Definice elektroodpadu	143
11.1.1	Příloha č. 7 zákona	143
11.2	Financování nakládání s OEEZ z domácností	145
11.3	Financování nakládání s OEEZ jiným než elektroodpadem z domácností	145
11.4	Prováděcí vyhláška k problematice elektroodpadu	145
12	Odborné slovníčky	147
12.1	Česko–anglicko–německý odborný slovníček	147
12.2	Anglicko–česko–německý odborný slovníček	152
12.3	Německo–česko–anglický odborný slovníček	156

Část II

Zapojování dle schémat, vlastnosti a kontrola obvodů

Kapitola 6

Základní lineární obvody

6.1 R–C–L aneb pasivní součástky

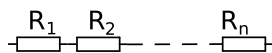
V zapojeních se nesetkáváme s jedinou součástkou, ale součástky jsou navzájem spojeny a navzájem se ovlivňují. Složitost řešení obvodů vzrůstá s počtem součástek. Nejrůznější kombinace jsou navíc ovlivněny skutečností, že reálné součástky nepředstavují jen čistou fyzikální veličinu, ale velmi často kombinaci všech (např. rezistor není jen ohmický odpor, ale zároveň na něm můžeme naměřit kapacitu mezi vývody a indukčnost danou konstrukcí rezistoru). Základní zapojení s pasivními součástkami jsou snadno řešitelná. Postupy a základní vzorce vycházejí ze základů elektrotechniky.

6.1.1 Rezistory

Při spojování rezistorů vycházíme z Ohmova a Kirchhoffových zákonů. Pokud pracujeme pouze se stejnosměrným napětím, můžeme parazitní kapacity a indukčnosti zanedbat.

Sériové řazení

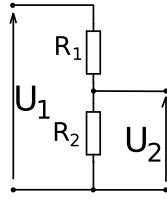
Používá se převážně při konstrukci napěťových děličů. Samotné sériové spojení použijeme tam, kde pracujeme s napětím vyšším než nejvyšší dovolené napětí jednotlivého rezistoru, nebo potřebujeme získat hodnotu odporu mimo vyráběnou řadu.



Obrázek 6.1: Sériové řazení rezistorů

$$R = \sum_{n=1}^n R_n = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad [\Omega; \Omega, \dots] \quad (6.1)$$

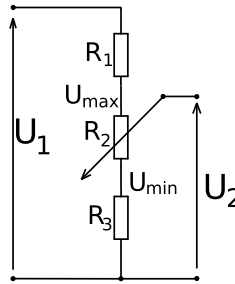
Výsledná hodnota odporu sériového řazení rezistorů (obrázek 6.1) je rovna součtu jednotlivých odporů (viz rovnice 6.1). Na jednotlivých rezistorech vznikne úbytek napětí přímo úměrný jejich velikosti (větší odpor, větší napětí). Výkonové zatížení jednotlivých rezistorů je také přímo úměrné jejich velikosti, větší rezistor je zatěžován vyšším ztrátovým výkonem.



Obrázek 6.2: Napěťový dělič

Napěťový dělič

$$U_2 = U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \quad [V; V; \Omega, \Omega] \quad (6.2)$$



Obrázek 6.3: Proměnný napěťový dělič s nastavením krajních hodnot

$$R_1 = \frac{U_1 - U_{max}}{\frac{R_2}{U_{max} - U_{min}}} \quad [\Omega; \Omega, V, V] \quad (6.3)$$

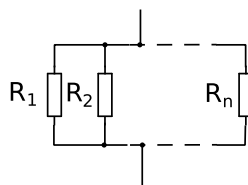
$$R_3 = \frac{U_{min}}{\frac{R_2}{U_{max} - U_{min}}} \quad [\Omega; \Omega, V, V] \quad (6.4)$$

Velmi často se setkáváme s problémem zmenšení vstupního napětí. K tomuto účelu slouží odporový dělič napětí (obrázek 6.2). Výstupní napětí (u nezatíženého děliče) se řídí vztahem 6.2. U střídavých napětí vyšších kmitočtů již parazitní kapacity v obvodu ovlivňují přenos děliče – musíme používat kapacitně kompenzovaný dělič. Pokud potřebujeme výstupní napětí nastavovat, používáme proměnný dělič – potenciometr. Často se setkáváme s úlohami typu – nastavit výstupní napětí v mezích od–do. V takovém případě doplňujeme potenciometr dvojicí sériově zapojených odporů, které vymezí napětí na krajích dráhy potenciometru (obrázek 6.3). Napětí na dolním konci dráhy vypočítáme z rovnice 6.3, napětí maximální (na horním konci dráhy) z rovnice 6.4.

Paralelní řazení

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\sum_{n=1}^n R_n} = \frac{1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} \quad [\Omega; \Omega, \dots] \quad (6.5)$$

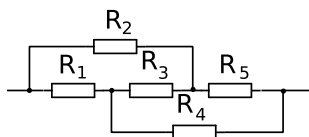
Výsledný odpor paralelního zapojení (obrázek 6.4) je vždy menší než hodnota odporu nejmenšího rezistoru v řazení (rovnice 6.5). Proudů jednotlivými rezistory a výkonové zatížení je nepřímo úměrné jejich velikosti (nejmenším odporem poteče největší proud). Toto zapojení najdeme na místech, kde potřebujeme buď malé hodnoty odporu, nebo větší výkonová zatížení



Obrázek 6.4: Paralelní řazení rezistorů

(snímače proudu, omezení apod.). Méně často se používá pro získání hodnoty mimo vyráběnou řadu (vzhledem k složitější rovnici než v případě sériového zatížení).

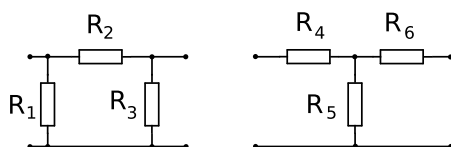
Séριο-paralelní řazení



Obrázek 6.5: Séριο-paralelní řazení odporů

V praxi se séριο-paralelními obvody (např. na obrázku 6.5) setkáme například v zapojení zatížených napěťových děličů nebo při úpravách průběhů potenciometrů (připojením rezistoru mezi kraj a běžec potenciometru změni lineární charakteristiku na jinou). Při řešení kombinovaných obvodů postupujeme metodou postupného zjednodušení. V některých případech je nutné k přepočítání použít transfigurace.

Útlumové články

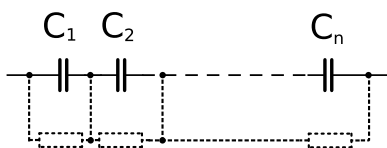
Obrázek 6.6: Nesymetrické útlumové články a) článek II b) článek T

V některých zapojení se setkáváme s potřebou zmenšit vstupní napětí, přičemž musí zůstat zachována velikost vstupní a výstupní impedance. V takovém případě musíme použít útlumové články (obrázek 6.6) – kombinaci rezistorů, která takovému zadání splňuje. Řešení útlumových článků je dostatečně popsáno v literatuře [45], [22].

6.1.2 Kondenzátory

Sériové řazení

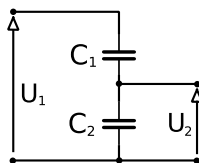
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\sum_{n=1}^n R_n} = \frac{1}{C_1 + C_2 + \dots + C_n} \quad [F; F, \dots] \quad (6.6)$$



Obrázek 6.7: Sériové řazení kondenzátorů

Sériově spojujeme kondenzátory především v případech, kdy napájecí napětí přesahuje maximální napětí jednotlivých kondenzátorů. V tomto případě je vhodné doplnit zapojení rezistory (na obrázku 6.7 čárkovaně), jejichž úkolem je zajistit vyrovnaní napětí na jednotlivých kondenzátorech. Výsledná hodnota kapacity je vždy menší (rovnice 6.6) a napětí na kondenzátorech se rozloží nepřímo úměrně velikosti jejich kapacity. Toto zapojení kondenzátorů se používá zcela vyjíměčně, protože rozměrově vychází sériová kombinace vždy větší než jednotlivý kondenzátor na vyšší napětí. Se sériovou kombinací dvou filtračních kondenzátorů se můžeme setkat u vstupního usměrňovače a filtru spínaných zdrojů vybavených přepínačem 220/110 V. Přepínač umožňuje přepojit vstupní usměrňovač do režimu zdvojovače napětí, který dvojici sériově zapojených kondenzátorů vyžaduje.

Kapacitní dělič

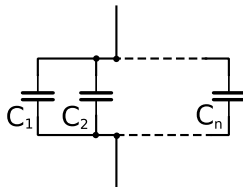


Obrázek 6.8: Kapacitní dělič

$$U_2 = U_1 \left(\frac{C_2}{C_1} + 1 \right) \quad [V; V, F, F] \quad (6.7)$$

Pokud potřebujeme snížit velikost vstupního střídavého napětí, můžeme použít kapacitní dělič (obrázek 6.8). Napětí na výstupu děliče bude určeno velikostí jednotlivých kondenzátorů dle rovnice 6.7.

Paralelní řazení



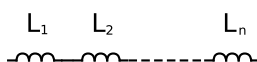
Obrázek 6.9: Paralelní řazení kondenzátorů

V případech, kdy potřebujeme větší kapacitu, používáme paralelního řazení kondenzátorů (obrázek 6.9). Výsledná kapacita je dána součtem jednotlivých kapacit.

6.1.3 Indukčnosti

Při spojování indukčností musíme vzít v úvahu nejenom velikost indukčností jednotlivých cívek, ale i provedení magnetického obvodu. Pokud je magnetický obvod otevřený, dochází k vzájemnému ovlivňování cívek prostřednictvím magnetického pole (vznikne vlastně transformátor), a výsledná hodnota nebude odpovídat prostému součtu indukčností jednotlivých cívek. Z těchto důvodů se sériové nebo paralelní spojování cívek pro zvýšení indukčnosti nebo proudového zatížení téměř nepoužívá. Naopak se cívky spojují v laděných obvodech, kde se vazby magnetickým polem využívá (laděné obvody, pásmové filtry apod.)

Sériové řazení

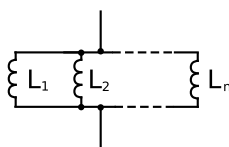


Obrázek 6.10: Sériové řazení cívek

$$L = \sum_{n=1}^n L_n = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad [H; H, \dots] \quad (6.8)$$

Výsledná indukčnost sériové kombinace cívek (obrázek 6.10) je rovna součtu jednotlivých indukčností (rovnice 6.8). To platí pouze tehdy, pokud se cívky vzájemně neovlivňují svým magnetickým polem.

Paralelní řazení



Obrázek 6.11: Paralelní řazení cívek

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{\sum_{n=1}^n L_n} = \frac{1}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \quad [H; H, \dots] \quad (6.9)$$

Výsledná indukčnost paralelní kombinace cívek (obrázek 6.11) se vypočítá podle rovnice 6.9. Tato rovnice platí pouze v případě, že se cívky neovlivňují magnetickým polem, a jen tehdy, pokud mají zanedbatelný činný odpor.

6.1.4 R–C články

Integrační a derivační článek

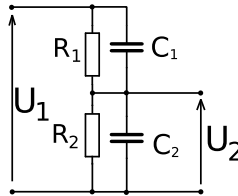
Se vzájemným spojením odporů a kondenzátorů se setkáme velmi často. Zapojení na obrázku 6.12a – integrační článek nalezneme jako filtr RC v napájecích zdrojích, časovací RC člen v monostabilních a astabilních obvodech a jako kmitočtově závislý člen v nízkofrekvenčních zařízeních (korektor). Zapojení podle obrázku 6.12b – (derivační článek) nachází použití



Obrázek 6.12: a) Integrační článek; b) Derivační článek

v obvodech pro oddělení střídavých signálů, při úpravách pulsů ve spínacích obvodech a také jako kmitočtově závislý člen v nízkofrekvenčních zařízeních.

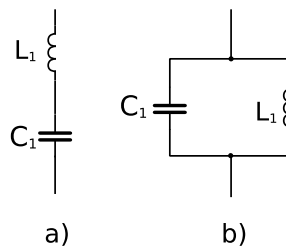
Kompenzovaný napěťový dělič



Obrázek 6.13: Kompenzovaný napěťový dělič

Pokud potřebujeme snížit velikost střídavého vstupního napětí, setkáme se s problémem kmitočtové závislosti vstupního děliče. Tato závislost je způsobena parazitními kapacitami v obvodech. Pro kompenzaci parazitních kapacit, doplňujeme prostý rezistorový dělič kompenzačními kapacitami (obrázek 6.13). Napěťový přenos bude nezávislý na kmitočtu jen v případě, že dělicí poměry odporového a kapacitního děliče budou stejné (poměr R_1/R_2 bude stejný jako poměr C_1/C_2).

6.1.5 Řazení L–C



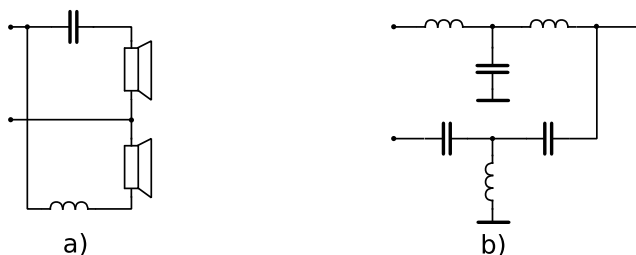
Obrázek 6.14: Sériový a paralelní rezonanční obvod

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [Hz; H, F] \quad (6.10)$$

Zatímco s kombinací cívky a rezistoru se v praxi téměř nesetkáme, kombinaci cívky a kondenzátoru naopak používáme velmi často. Sériové spojení kondenzátoru a cívky (obrázek 6.14) můžeme najít v odlaďovačích kmitočtů a paralelní v laděných obvodech. V obou případech

takto spojené prvky vykazují jev nazvaný rezonance – na určitém kmitočtu (daném Thompsonovým vztahem 6.10) se vyrovnají vnitřní reaktance jednotlivých prvků a obvod vykazuje pro střídavý signál buď velmi malou (sériový), nebo velmi velkou (paralelní) impedanci.

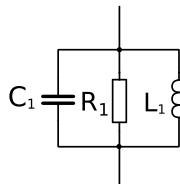
6.1.6 L–C



Obrázek 6.15: Příklad kmitočtové výhybky a) reproduktorová soustava; b) anténní slučovač

Složitější obvody LC se používají v případech, kdy potřebujeme oddělit signály různých kmitočtů. Pěkným příkladem může být rozdělení kmitočtů v reproduktorové soustavě (obrázek 6.15) nebo anténní slučovač. Řešení složitějších LC obvodů již není triviální, neboť obvody se ovlivňují navzájem.

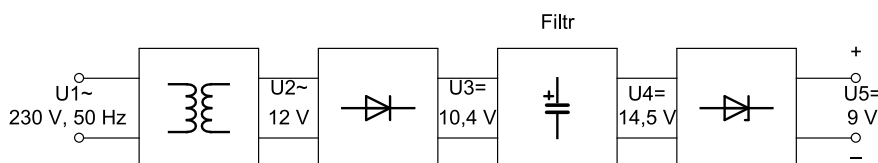
6.1.7 Řazení R–C–L



Obrázek 6.16: Ztlumený rezonanční obvod

Při řešení LC obvodů se často setkáváme s požadavky na určitou šířku přenášeného pásma, vyrovnanou fázovou charakteristiku nebo určitou výstupní impedanci. Požadovaných parametrů se dosahuje ztlumením LC obvodů pomocným rezistorem (obrázek 6.16). Řešení kombinovaných obvodů přesahuje rámec této publikace a je dostatečně popsáno v literatuře [46].

6.2 Diodové usměrňovače a filtry



Obrázek 6.17: Blokové schéma stabilizovaného zdroje 9 V

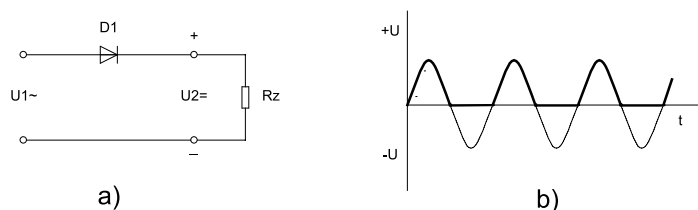
- U_1 – síťové napětí 230 V, 50 Hz
- U_2 – transformované napětí střídavé 12 V, 50 Hz
- U_3 – usměrněné napětí můstkovým usměrňovačem 10,4 V
- U_4 – vyfiltrované napětí 14,5 V
- U_5 – stabilizované napětí 9 V

6.2.1 Usměrňovače

Usměrňovač je elektronické zařízení, které ze střídavého napětí vytváří napětí stejnosměrné pulzující.

6.2.2 Jednopulsní jednocestný usměrňovač

Do cesty střídavého proudu je vložena dioda, která propouští proud jen jedním směrem. Usměrněné napětí je pulsní, tepavé. Jednopulsní usměrňovač je konstrukčně velmi jednoduchý zapojení obsahuje pouze jednu diodu, ale je vhodný jen pro velmi malou spotřebu proudu.



Obrázek 6.18: Jednopulsní usměrňovač

Maximální hodnota usměrněného napětí U_{2max} je menší než maximální hodnota střídavého napětí U_{1max} o úbytek napětí na diodě ΔU_d , který je na křemíkové diodě asi 0,7 V.

$$U_{2max} = U_{1max} - \Delta U_d \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}] \quad (6.11)$$

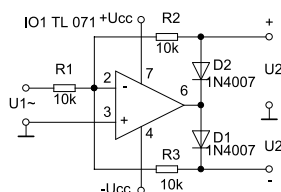
Střední hodnota jednopulsně usměrněného napětí

$$U_{2str} = \frac{U_{2max}}{\pi} = 0,318 \cdot U_{2max} \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (6.12)$$

- U_1 – vstupní střídavé napětí
- U_2 – výstupní, usměrněné napětí
- U_{2str} – střední hodnota usměrněného napětí
- U_{2max} – maximální hodnota usměrněného napětí
- ΔU_d – úbytek napětí na diodě

6.2.3 Jednopulsní jednocestný usměrňovač s operačním zesilovačem

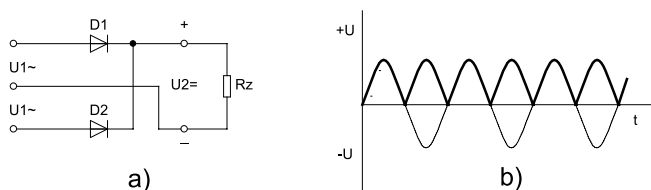
Usměrňovače s operačními zesilovači se využívají v přístrojích. Jejich výhodou je to, že usměrněné napětí má stejnou maximální hodnotu jako střídavé.



Obrázek 6.19: Aktivní usměrňovač s operačním zesilovačem

6.2.4 Dvoupulsní dvoucestný usměrňovač

Vyžaduje dvě usměrňovací diody a transformátor s dvojným sekundárním vinutím, kterým se získávají dvě střídavá napětí, vzájemně fázově obrácená. Na obrázku zapojení jsou vyznačeny průběhy vstupního střídavého napětí a výstupního usměrněného napětí. Protože každá z diod usměrňuje jednu půlvlnu střídavého napětí a usměrněné půlvlny z obou diod se střídají, je na výstupních svorkách stále napětí, s výjimkou okamžiku, kdy střídavé vstupní napětí prochází nulou. Zvlnění usměrněného napětí je menší než u jednopulsního usměrňovače. Maximální hodnota usměrněného napětí je nižší než maximální hodnota střídavého napětí o úbytek napětí na jedné diodě, což je u křemíkové diody asi 0,7 V.



Obrázek 6.20: Dvoupulsní usměrňovač uzlový

$$U_{2max} = U_{1max} - \Delta U_d \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}] \quad (6.13)$$

Střední hodnota jednopulsně usměrněného napětí

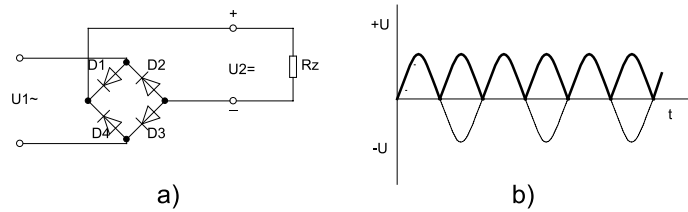
$$U_{2str} = \frac{2 \cdot U_{2max}}{\pi} = 0,637 \cdot U_{2max} \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (6.14)$$

- U_1 – vstupní střídavé napětí
- U_2 – výstupní, usměrněné napětí
- U_{2str} – střední hodnota usměrněného napětí
- U_{2max} – maximální hodnota usměrněného napětí
- ΔU_d – úbytek napětí na diodě

6.2.5 Můstkové zapojení usměrňovače – Graetzův můstek

Usměrnění obou půlvln střídavého proudu bez zvláštního transformátoru s dvojným sekundárním vinutím umožňuje můstkový usměrňovač. Jeho nevýhodou je potřeba čtyř diod.

V první půlperiodě střídavého napětí je na horní svorce usměrňovacího můstku kladné napětí. Diody D_1 a D_3 jsou otevřené, takže může procházet proud. Polarita napětí na výstupních



Obrázek 6.21: Dvoupulsní usměrňovač můstkový

svorkách je patrná z obrázku 6.21. Diody D_2 a D_4 jsou zavřené. Při následující půlperiodě střídavého proudu je na horní svorce usměrňovacího můstku záporné napětí, na dolní svorce je však kladné napětí. Nyní jsou otevřeny diody D_2 a D_4 , které na horní výstupní svorku přivádějí kladné napětí a na dolní svorku záporné napětí. Na horní svorce je tedy trvale kladné napětí, na dolní svorce záporné napětí. Jeho průběh odpovídá průběhu napětí při dvoupulsním usměrňování, ale maximální napětí je menší o úbytek napětí na dvou diodách.

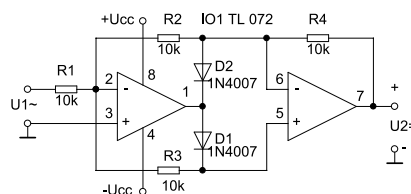
$$U_{2max} = U_{1max} - 2 \cdot \Delta U_d \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}] \quad (6.15)$$

Střední hodnota jednopulsně usměrněného napětí

$$U_{2str} = \frac{2 \cdot U_{2max}}{\pi} = 0,637 \cdot U_{2max} \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (6.16)$$

- U_1 – vstupní střídavé napětí
- U_2 – výstupní, usměrněné napětí
- U_{2str} – střední hodnota usměrněného napětí
- U_{2max} – maximální hodnota usměrněného napětí
- ΔU_d – úbytek napětí na diodě

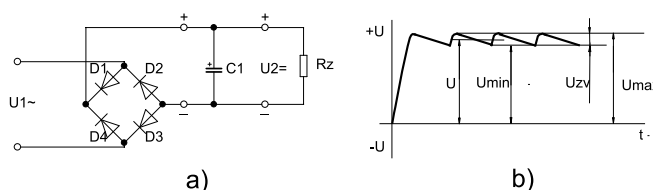
6.2.6 Dvoupulsní dvoucestný usměrňovač s operačním zesilovačem



Obrázek 6.22: Dvoupulsní usměrňovač aktivní s operačním zesilovačem

6.2.7 Filtrační obvody

Filtrační rozumíme odstranění, nebo zmenšení střídavé složky z napájecího napětí. Nejčastěji se pro tento účel využívá kondenzátorů, rezistorů a tlumivek. Typickým příkladem je filtrační kondenzátor připojený k výstupu usměrňovače.



Obrázek 6.23: a) usměrňovač s připojeným filtrem b) průběh vyfiltrovaného napětí

Činitel zvlnění

$$p = 100 \cdot \frac{U_{zv}}{U} \quad [%; V, V] \quad (6.17)$$

- U_{zv} – mezivrcholová hodnota střídavé složky (zvlnění) stejnosměrného napětí
- U – střední hodnota zvlněného napětí
- U_{max} – maximální hodnota výstupního zvlněného napětí
- U_{min} – minimální hodnota výstupního zvlněného napětí

$$U_{zv} = U_{max} - U_{min} \quad (6.18)$$

Kondenzátor by měl mít takovou kapacitu, aby zvlnění nepřesáhlo 10 až 15 %. Pro výpočet můžeme použít následující zjednodušené vzorce:

a) jednopulsní usměrňovač

$$C = \frac{600 \cdot I}{p \cdot U} \quad [\mu F; mA, \%, V] \quad (6.19)$$

b) dvoupulsní usměrňovač

$$C = \frac{300 \cdot I}{p \cdot U} \quad [\mu F; mA, \%, V] \quad (6.20)$$

6.2.8 Informativní tabulka filtračních kondenzátorů

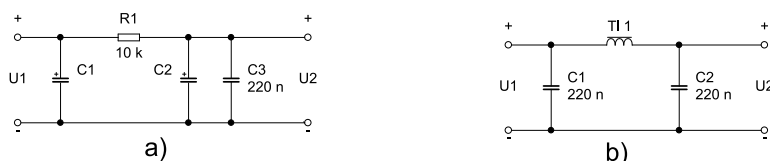
Následující informativní tabulka uvádí typy kondenzátorů v závislosti na vstupním střídavém napětí dvoucestného usměrňovače a zatěžovacím proudem při zvlnění maximálně 15 %. Použity jsou běžné elektrolytické radiální kondenzátory (viz. katalog součástek).

Tabulka 6.1: Informativní tabulka filtračních kondenzátorů

I [mA]	6 V	9 V	12 V	15 V	18 V	24 V
200	E1000M/10V	E470M/16V	E330M/16V	E330M/25V	E220M/25V	E220M/35V
400	E2200M/10V	E1000M/16V	E1000M/16V	E1000M/25V	E470M/25V	E330M/35V
600	E2200M/10V	E2200M/16V	E1000M/16V	E1000M/25V	E1000M/25V	E1000M/35V
800	E3300M/10V	E2200M/16V	E2200M/16V	E1000M/25V	E1000M/25V	E1000M/35V
1000	E3300M/10V	E2200M/16V	E2200M/16V	E2200M/25V	E2200M/25V	E1000M/35V
1200	E4700M/10V	E3300M/16V	E2200M/16V	E2200M/25V	E2200M/25V	E1000M/35V
1400	E4700M/10V	E3300M/16V	E3300M/16V	E2200M/25V	E2200M/25V	E2200M/35V
1600	E10000M/16V	E4700M/16V	E3300M/16V	E2200M/25V	E2200M/25V	E2200M/35V
1800	E10000M/16V	E4700M/16V	E3300M/16V	E3300M/25V	E2200M/25V	E2200M/35V
2000	E10000M/16V	E4700M/16V	E3300M/16V	E3300M/25V	E2200M/25V	E2200M/35V

Filtrační řetězce

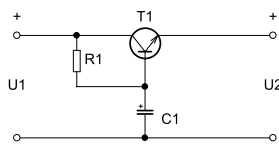
Filtrační řetězce se používají pro dosažení nižších hodnot zvlnění. V sérii je vložen rezistor nebo tlumivka. Je třeba počítat s úbytkem napětí na tomto prvku. Takové zapojení není vhodné do obvodů s velkým proudovým odběrem. Filtrační řetězce bývají často součástí zapojení daného obvodu. Tlumivka je využíváno zejména k odfiltrování vyšších frekvencí, například ve vysokofrekvenčních zesilovačích nebo spínaných zdrojích. Výhodou tohoto řešení je, že tlumivka klade střídavé složce signálu daleko vyšší odpor (daný její reaktancí) než stejnosměrnému proudu. Nevýhodou je poměrně malý sortiment běžně vyráběných tlumivek a frekvenční závislost daná použitým materiálem jádra i tvarem vinutí.



Obrázek 6.24: a) složený RC filtr b) složený LC filtr

Keramický kondenzátor C_3 na obrázku 6.24 vlevo zlepšuje vlastnosti filtru na vysokých kmitočtech. Filtr na obrázku 6.24 vpravo je vhodný pro napájecí obvod vysokofrekvenčního zesilovače.

Elektronické filtry



Obrázek 6.25: Filtr s tranzistorem

Elektronické filtry využívají zesílení tranzistoru. Někdy jsou také nazývány násobiči kapacity. Kapacita kondenzátoru zapojeného v bázi tranzistoru je násobena proudovým zesilovacím činitelem tranzistoru. Nevýhodou uvedeného zapojení je malá odolnost proti zkratu (dochází ke zničení tranzistoru).

Na výstupu filtrů bývají často zapojeny stabilizátory napětí, jejichž druhotnou funkcí je také filtrace napájecího napětí. Proto se k filtraci zpravidla používá pouze jednoho (tzv. sběracího nebo nabíjecího) kondenzátoru v kombinaci se stabilizátorem.

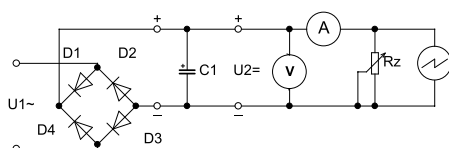
Upozornění! Při zapojování je bezpodmínečně třeba dodržet polaritu a maximální napětí použitých elektrolytických kondenzátorů. Při prepólování nebo překročení napětí se kondenzátory intenzivně zahřívají a hrozí nebezpečí jejich roztržení.

6.2.9 Měření na usměrňovačích a filtrech

- Můstkový usměrňovač s filtračním kondenzátorem připojte ke zdroji bezpečného střídavého napětí a na výstup připojte stejnosměrný voltmetr. Ověřte, že bez připojené zátěže

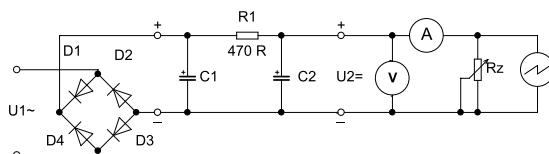
se výstupní napětí blíží maximální hodnotě vstupního střídavého napětí a po odpojení filtračního kondenzátoru výrazně poklesne.

- Na výstup dále připojte osciloskop a proměnný zatěžovací odpor. Postupně zvyšujte zatěžovací proud, měřte výstupní napětí pomocí voltmetru a zvlnění pomocí osciloskopu. Naměřené hodnoty zapište do tabulky a v grafu vyjádřete závislost výstupního napětí ve voltech a zvlnění v procentech na zatěžovacím proudu v miliampérech. Během měření nepřekračujte maximální hodnotu zatěžovacího proudu danou typem usměrňovače a zdrojem střídavého napětí.



Obrázek 6.26: Měření na usměrňovači s filtrem

- Stejný postup měření zopakujte s jednocestným usměrňovačem a porovnejte naměřené hodnoty.



Obrázek 6.27: Měření na usměrňovači a složeném RC filtru

- Filtr doplňte o rezistor a další kondenzátor. Znovu změřte výstupní napětí a zvlnění. Změřené hodnoty zapište do tabulky a zakreslete do grafu. Vyhodnoťte vliv doplněných součástek na velikost výstupního napětí a zvlnění.

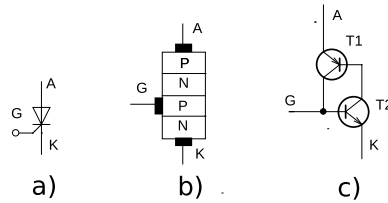
6.3 Regulátory s tyristory a triaky

6.3.1 Tyristor

Základním spínacím prvkem je tyristor. Tyristor je čtyřvrstvý spínací prvek, tj. prvek obsahující tři přechody PN, NP, PN. Můžeme si jej představit jako dva bipolární tranzistory, jeden PNP a druhý NPN, zapojené podle obrázku 6.28c.

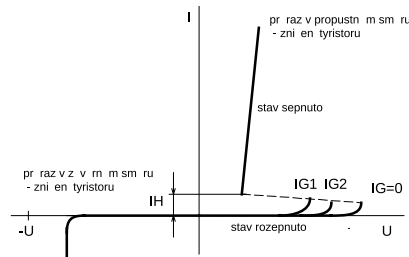
Elektrody tyristoru jsou:

- A – anoda
- K – katoda
- G – řídicí elektroda (hradlo – *gate*)



Obrázek 6.28: a) Značka tyristoru; b) Struktura; c) Náhradní zapojení

Připojíme-li na anodu kladné a na katodu záporné napětí, tyristor bude uzavřen. Teprve přivedením kladného napětí na řídicí elektrodu se tyristor otevře a zůstane otevřený i tehdy, jestliže napětí na řídicí elektrodě G přerušíme. To znamená, že pro zapnutí tyristoru stačí přivést na řídicí elektrodu jen krátký časový puls. V sepnutém stavu tyristor setrvává, dokud proud procházející tyristorem neklesne pod hodnotu vratného proudu I_H . Potom nastane vypnutí tyristoru



Obrázek 6.29: V-A charakteristiky tyristoru

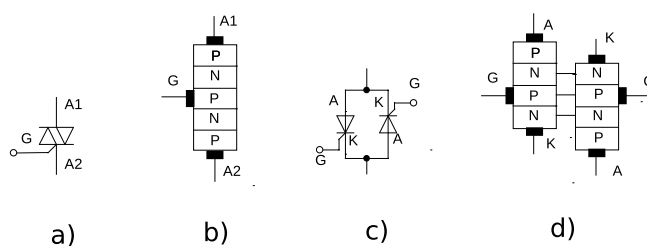
K sepnutí tyristoru potřebujeme jen časově velmi krátký impuls, řádově milisekundy. Tyristory se vyrábějí pro napětí od stovek voltů do několika kV a pro proudy od jednotek ampér do několika kA.

Tyristor se používá pro beztrátovou regulaci výkonu. Jeho použití je zejména vhodné v obvodech střídavého napětí, neboť každý průchod napětí nulou automaticky vypne tyristor a ten čeká na další zapnutí. Jediné, co je zapotřebí k regulaci výkonu pomocí tyristoru, je zařízení, které „vyrobí“ spouštěcí impuls do řídicí elektrody tyristoru ve vhodné fázi periody střídavého napětí. Nejjednodušší je použít pro řízení fáze jednoduchého RC členu s měnitelnou časovou konstantou RC , například pomocí proměnného odporu.

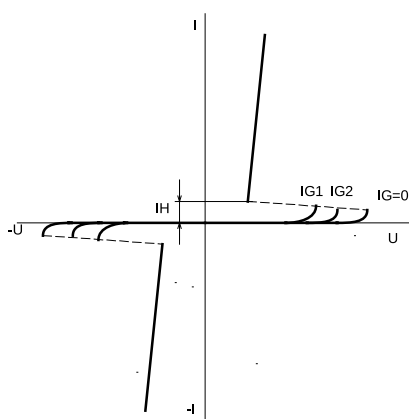
6.3.2 Triak

Triak je obousměrný tyristor s pětivrstvou strukturou PNPNP a se čtyřmi přechody. Triak vznikne vnitřním uspořádáním (antiparalelním zapojením dvou tyristorů), které mohou propustět proud v obou směrech. Propustnost triaku v obou směrech vyjadřuje voltampérová charakteristika.

Zatímco tyristory byly vyrobeny pro řízení výkonů až do řádu megawattů, triaky vzhledem ke své složitější struktuře, a tím větší náchylnosti na průraz, zůstávají doménou pro regulaci intenzity domácího osvětlení, otáček vrtaček, vysavačů a podobných nízkovýkonových elektrických spotřebičů, jejich výhoda tkví v jednoduchosti zapojení.



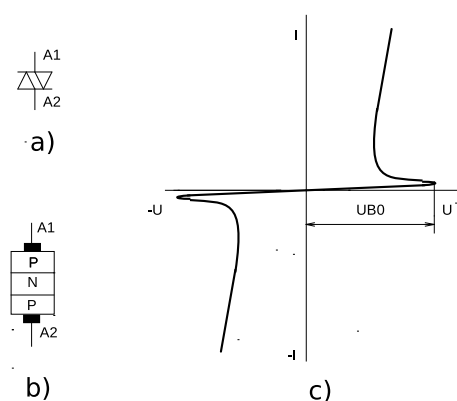
Obrázek 6.30: a) Značka triaku; b) Struktura; c) Náhrada pomocí dvou tyristorů; d) Struktura náhradního zapojení



Obrázek 6.31: V-A charakteristika triaku

6.3.3 Diak

Diak je součástka se třemi vrstvami různého typu vodivosti, u kterého mohou oba přechody pracovat v lavinovém průrazu.



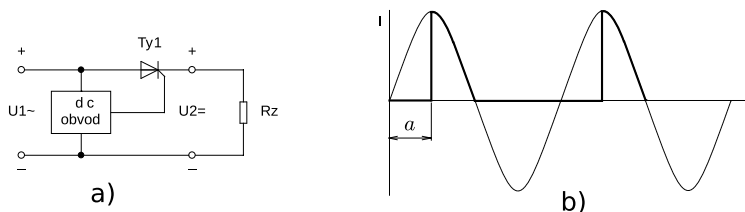
Obrázek 6.32: a) Značka diaku; b) Struktura; c) V-A charakteristika

Diak je spínáný přiloženým napětím. Je-li na svorkách menší napětí než spínací napětí U_{B0} , je jeden z přechodů zavřen a diakem prochází jen malý závěrný proud. Diak je vypnutý v blokovacím stavu. Dosáhne-li napětí hodnoty spínacího napětí U_{B0} , nastane nedestruktivní

průraz a diak sepne do vodivého stavu. Tak jako tyristor vypíná se diak zmenšením proudu mezi anodou a katodou pod určitou hodnotu přídržného proudu. Diak je jednoduchá a spolehlivá součástka, která se používá v zapínacích a řídicích obvodech tyristorů a triaků.

6.3.4 Řízené usměrňovače

Řízené usměrňovače jsou zařízení, kde se velikost proudu řídí přímo v usměrňovači. Ve výkonových řídicích usměrňovačích se používají hlavně tyristory. Tyto usměrňovače dělíme na jednofázové a vícefázové, jednopulzní a několika pulzní. Nejjednodušší řízený usměrňovač je jednofázový a jednopulzní. Dokud na řídicí elektrodu tyristoru nepřivedeme kladný puls, tyristor nevede proud. Jakmile v kladné periodě přivedeme na řídicí elektrodu tyristoru řídicí puls, tyristor se otevře a zůstane otevřený, dokud napětí U_2 neklesne na nulu. Tyristor se sám zavře a po dobu záporné půlperiody zůstává zavřený. V další kladné půlperiodě ho musíme proudovým pulsem přiloženým na řídicí elektrodu znovu otevřít. Posuneme-li řídicí puls o úhel α v rozmezí $0-180^\circ$ posuneme i okamžik otevření tyristoru, a tím měníme proud v zátěži.



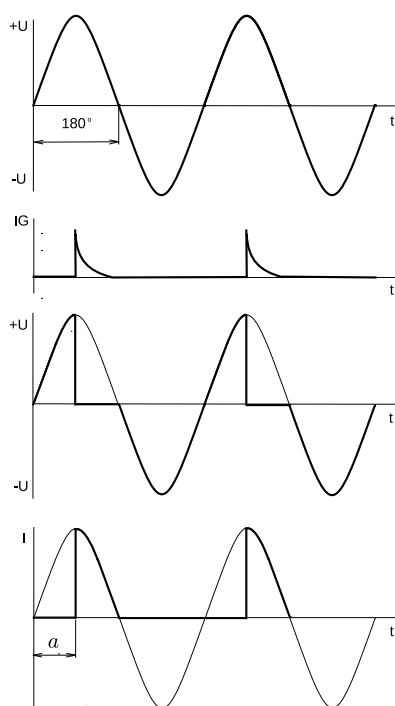
Obrázek 6.33: a) blokové schéma řízeného usměrňovače; b) průběh na výstupu řízeného usměrňovače

6.3.5 Fázové řízení

Fázové řízení tyristoru je jeden ze způsobů, jak řídit činnost tyristoru. Tyristorovou regulaci výkonu považujeme za téměř bezztrátovou, a proto našla velké využití v obvodech střídavého proudu, nebo v obvodech tepavého usměrněného proudu. Princip fázového řízení spočívá v tom, že se jednoduchým způsobem reguluje otevření tyristoru v době kladné půlperiody. Tyristor není otevřen po celou půlperiodu, ale kratší dobu. Úhel otevření je menší než 180° a odpovídá velikosti proudu, který projde obvodem. V okamžiku, kdy se kladný puls dostane na řídicí elektrodu G , tyristor se otevře a zátěži teče proud.

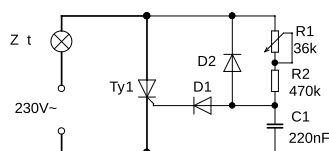
Při nejjednodušším způsobu fázového řízení se používá RC člen. Kondenzátor C_1 se nabíjí přes sériový odpor $R_1 + R_2$ od začátku kladné půlperiody, přičemž doba nabíjení odpovídá časové konstantě RC členu. Když napětí na kondenzátoru dosáhne zapínacího napětí tyristoru U_G , obvodem proteče zapínací proud I_G . Prakticky to znamená, že kladný puls z kondenzátoru pronikne přes diodu D_1 na řídicí elektrodu G tyristoru a pokračuje otevřeným přechodem $G-K$. Současně se otevře obvod anoda–katoda. Otevření je trvalé, takže po zbytek kladné půlperiody teče tyristorem proud. Jakmile kladná půlperioda skončí, proud zaniká a tyristor se zavře.

V daném případě se jedná o střídavý proud, takže s příchodem záporné půlplny je dioda D_2 pólována v propustném směru a připojí kondenzátor k zápornému napětí. Tím jej zbaví zbytkového náboje a připraví pro další cyklus nabíjení. Dioda D_1 zamezí zápornému napětí dostat se na řídicí elektrodu tyristoru. Při záporné půlplně tyristorem proud neteče. Časový



Obrázek 6.34: Průběhy napětí při fázovém řízení

úsek od začátku průběhu kladné půlvlny do doby otevření tyristoru označujeme ve stupních jako tzv. úhel sepnutí α . Úhel α vyjadřuje zpoždění, které vznikne od začátku půlvlny do otevření tyristoru. Na obrázku je zakreslen úhel $\alpha = 90^\circ$ a představuje zpoždění poloviny půlperiody.

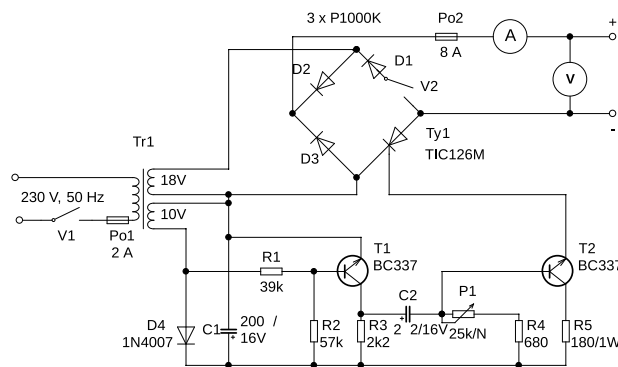


Obrázek 6.35: Jednoduchý obvod s fázovým řízením

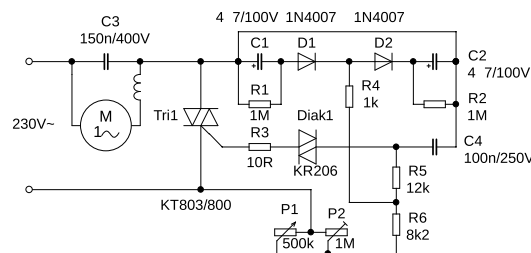
6.3.6 Nabíječ akumulátorů

Nabíječ autoakumulátorů funguje jako jednopulzně řízený usměrňovač. Tyristorem je řízená jedna půlvlna. Pokud je rozeptnutý vypínač V_2 zapojený do série s diodou D_1 , lze řídit nabíjecí proud od nuly do poloviny maximálního proudu.

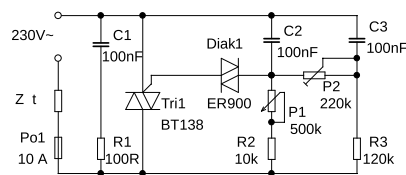
Pokud je vypínač sepnut, lze proud řídit od poloviční hodnoty do hodnoty maximální. Jedna půlvlna je řízena a druhá je neřízena.



Obrázek 6.36: Schéma nabíječe akumulátorů



Obrázek 6.37: Schéma regulátoru otáček



Obrázek 6.38: Schéma triakového regulátoru

6.3.7 Řízení otáček motoru regulátorem s triakem

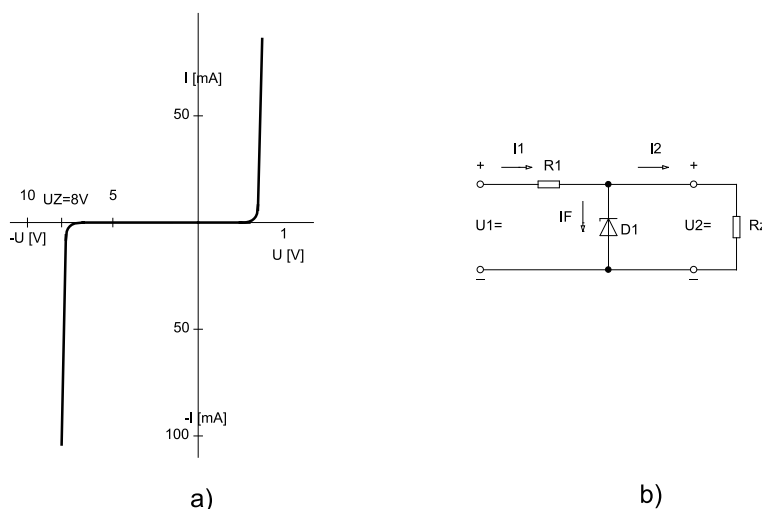
6.3.8 Regulátor s triakem

Upozornění! Regulátory s triaky jsou připojeny na síťové napětí 230 V, proto je nutno při jejich používání dodržovat veškeré bezpečnostní předpisy.

Dříve než opustíme tuto kapitolu o spínacích polovodičových prvcích, je třeba si zdůraznit potřebu odrušení těchto regulátorů. Existuje řada amatérských konstrukcí těchto regulátorů, které sice bezchybně fungují, ale zamořují ovzduší širokým spektrem vyzařovaných kmitočtů.

6.4 Stabilizátory napětí

Podle připojení regulačního prvku rozdělujeme stabilizátory na paralelní a sériové. Nejjednodušším paralelním stabilizátorem je zapojení se Zenerovou diodou. Zenerova dioda je součástka, u níž dochází v závěrném směru k rychlému nárůstu proudu při pomalém nárůstu napětí. Tato hodnota se nazývá Zenerovo napětí. Zenerovy diody se vyrábí s hodnotami výkonu 0,5 až 5 W (součin Zenerova napětí a proudu) a s napětím 0,8 až 200 V.



Obrázek 6.39: Zapojení stabilizační diody

Obvykle volíme $I_F > I_2$ tak, aby při $I_2 = 0$ nebyla dioda přetížena nadměrnou hodnotou proudu I_F , a naopak, aby při maximální hodnotě I_2 neklesl proud diodou pod minimální hodnotu, kdy začíná napětí na diodě v okolí kolena voltampérové charakteristiky prudce klesat.

6.4.1 Postup při návrhu

1. Vycházíme ze zadaných hodnot vstupního a výstupního napětí, minimálního a maximálního výstupního proudu I_2 , přičemž podmínkou správné činnosti je, že vstupní napětí musí být vždy vyšší než výstupní.
2. Nejprve musíme vypočítat velikost odporu R_1 , přičemž I_1 je součtem maximálního výstupního proudu I_{2max} , ke kterému připočteme přibližně $I_{Fmin} = 10$ mA (tento proud závisí na typu diody a musí být tak velký, aby neklesl pod minimální hodnotu, při které již dochází k poklesu Zenerova napětí).

$$I_1 = I_{2max} + I_{Fmin} \quad [\text{A}; \text{A}, \text{A}] \quad (6.21)$$

$$R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I_1} \quad [\Omega; \text{V}, \text{V}, \text{A}] \quad (6.22)$$

3. Abychom mohli správně určit konkrétní typ rezistoru, musíme také vypočítat požadovanou zatížitelnost ze vzorce

$$P = (U_1 - U_2) \cdot I_{2max} \quad [\text{W}; \text{V}, \text{V}, \text{A}] \quad (6.23)$$

4. Požadované výstupní napětí se musí shodovat se Zenerovým napětím diody.
5. Vhodný typ Zenerovy diody určíme na základě výpočtu výkonové ztráty. Tou je dioda namáhána tehdy, je-li výstupní proud minimální. Vycházíme z následujícího vzorce

$$P = U_2 \cdot \left(\frac{U_1 - U_2}{R_1} - I_{2min} \right) \quad [\text{W}; \text{V}, \text{V}, \Omega, \text{A}] \quad (6.24)$$

6. Nyní můžeme z katalogu součástek vybrat konkrétní typy rezistoru a Zenerovy diody.

Příklad výpočtu

1. Vstupní údaje: $U_1 = 12 \text{ V}$, $U_2 = 8 \text{ V}$, $I_{2max} = 100 \text{ mA}$, $I_{2min} = 40 \text{ mA}$.
2. Výpočet hodnoty rezistoru

$$I_1 = I_{2max} + I_{Fmin} = 0,1 + 0,01 = 0,11 \text{ A}$$

$$R_1 = \frac{U_1 - U_2}{I_1} = \frac{12 - 8}{0,11} = \frac{4}{0,11} = 36,6 \Omega$$

Aby byla zajištěna správná činnost stabilizátoru, zvolíme nejbližší nižší hodnotu 33Ω

3. Výpočet výkonové ztráty na rezistoru

$$P = (U_1 - U_2) \cdot I_1 = (12 - 8) \cdot 0,11 = 4 \cdot 0,11 = 0,44 \text{ W}$$

4. Zvolíme rezistor s vyšší zatížitelností, to je 2 W .
5. Výpočet výkonové ztráty na Zenerově diodě

$$P = U_2 \cdot \left(\frac{U_1 - U_2}{R_1} - I_{2min} \right) = 8 \cdot \left(\frac{12 - 8}{33} - 0,04 \right) = 0,65 \text{ W}$$

6. Z katalogu vybereme rezistor RR W2 E033 hodnoty 33Ω se zatížitelností 2 W a Zenerovu diodu BZY008.2 se Zenerovým napětím $7,7$ až $8,2 \text{ V}$ a výkonovou ztrátou 2 W .

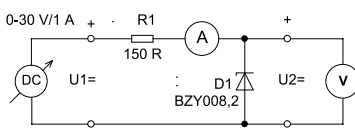
Při návrhu konstrukčního uspořádání musíme brát v úvahu, že obě součástky se budou za provozu zahřívat.

Pro rychlé orientační měření Zenerova napětí můžeme využít stabilizovaného zdroje s regulací výstupního napětí i proudu. Zdroj nastavíme na minimální výstupní napětí a minimální proudové omezení. Připojíme Zenerovu diodu katodou na kladnou svorku. Zvyšujeme zvolna napětí, až se rozsvítí signálka proudového omezení. Odečteme nastavené napětí a tím zjistíme, jaké je napětí Zenerovy diody.

Pozor! Po rozsvícení signálky proudového omezení reagujte rychle. Odečtete hodnotu napětí a regulátor stáhněte na nulu. Pokud byste po rozsvícení signálky nechali diodu připojenou déle, mohla by se zničit.

Tabulka 6.2: Parametry Zenerových diod

Zenerovy diody 0,5 W			Zenerovy diody 1,3 W			Zenerovy diody 2 W		
Pouzdro DO-35			Pouzdro DO-41			Pouzdro DO-41		
Typ	U_Z	I_Z	Typ	U_Z	I_Z	Typ	U_Z	I_Z
BZX83V002,7	2,5-2,9V	135mA	BZX85V003,9	3,7-4,1V	290mA	BZY005,1	4,8-5,4V	300mA
BZX83V003,0	2,8-3,2V	117mA	BZX85V004,3	4,0-4,6V	260mA	BZY005,6	5,2-6,0V	275mA
BZX83V003,3	3,1-3,5V	109mA	BZX85V004,7	4,4-5,0V	235mA	BZY006,2	5,8-6,6V	245mA
BZX83V003,6	3,4-3,8V	101mA	BZX85V005,1	4,8-5,4V	215mA	BZY008,2	7,7-8,7V	165mA
BZX83V003,9	3,7-4,1V	92mA	BZX85V005,6	5,2-6,0V	193mA	BZY009,1	8,5-9,6V	165mA
BZX83V004,3	4,0-4,6V	85mA	BZX85V006,2	5,8-6,6V	183mA	BZY010	9,4-10,6V	135mA
BZX83V004,7	4,4-5,0V	76mA	BZX85V006,8	6,4-7,2V	157mA	BZY011	10,4-11,6V	135mA
BZX83V005,1	4,8-5,4V	67mA	BZX85V007,5	7,0-7,9V	143mA	BZY012	11,4-12,7V	110mA
BZX83V005,6	5,2-6,0V	59mA	BZX85V008,2	7,7-8,9V	127mA	BZY013	12,4-14,1V	110mA
BZX83V006,2	5,8-6,6V	54mA	BZX85V009,1	8,5-9,6V	117mA	BZY015	13,8-15,8V	98mA
BZX83V006,8	6,4-7,2V	49mA	BZX82V010	9,4-10,6V	105mA	BZY016	15,3-17,1V	90mA
BZX83V007,5	7,0-7,9V	44mA	BZX85V011	10,4-11,6V	94mA	BZY018	16,8-19,1V	80mA
BZX83V008,2	7,7-8,7V	40mA	BZX85V012	11,4-12,7V	85mA	BZY020	18,8-21,2V	72mA
BZX83V009,1	8,5-9,6V	36mA	BZX85V013	12,4-14,1V	78mA	BZY024	22,8-25,6V	60mA
BZX83V010	9,4-10,6V	33mA	BZX85V015	13,8-15,8V	70mA	BZY027	25,1-28,9V	53mA
BZX83V011	10,4-11,6V	30mA	BZX85V016	15,3-17,1V	63mA	BZY033	28,0-35,0V	48mA
BZX83V012	11,4-12,7V	28mA	BZX85V018	16,8-19,1V	57mA	BZY036	31,0-35,0V	44mA
BZX83V015	12,4-14,1V	25mA	BZX85V020	18,8-21,2V	52mA	BZY039	34,0-38,0V	40mA
BZX83V016	13,8-15,6V	23mA	BZX85V022	20,8-23,3V	48mA	BZY043	37,0-41,0V	37mA
BZX83V018	15,3-17,1V	20mA	BZX85V024	22,8-25,6V	42mA	BZY047	40,0-46,0V	33mA
BZX83V020	16,8-19,1V	18mA	BZX85V027	25,1-28,9V	38mA	BZY051	44,0-50,0V	30mA
BZX83V022	18,8-21,2V	17mA	BZX85V030	28,0-32,0V	35mA	BZY056	48,0-54,0V	27mA
BZX83V024	20,8-23,3V	16mA	BZX85V033	31,0-35,0V	31mA	BZY062	52,0-60,0V	25mA
BZX83V027	22,8-25,6V	13mA	BZX85V036	34,0-38,0V	29mA	BZY068	58,0-66,0V	21mA
BZX83V030	25,1-28,9V	12mA	BZX85V039	37,0-41,0V	26mA	BZY082	64,0-72,0V	20mA



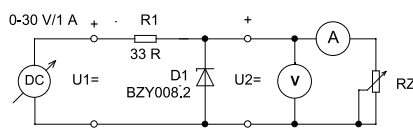
Obrázek 6.40: Schéma stabilizátoru s diodou

6.4.2 Měření

1. Schéma zapojení:
2. Přístroje zapojte podle schématu a před zapnutím zdroje zkontrolujte, je-li nastaveno minimální výstupní napětí.
3. Postupně zvyšujte výstupní napětí zdroje a do připravené tabulky zapisujte naměřené hodnoty proudu a napětí.
4. Během měření nesmíte překročit maximální povolenou hodnotu proudu I_Z (135 mA).
5. Z naměřených hodnot nakreslete charakteristiku Zenerovy diody.

6.4.3 Cvičení

1. Zapojte jednoduchý stabilizátor se Zenerovou diodou se součástkami podle předešlého výpočtu a ověřte jeho činnost.
2. Schéma zapojení:
3. Výstupní napětí stabilizovaného zdroje nastavte na 12 V.



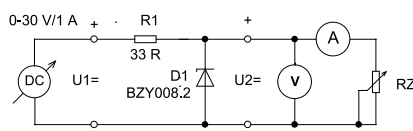
Obrázek 6.41: Schéma stabilizátoru

4. Skutečné Zenerovo napětí se může mírně lišit od katalogové hodnoty 8,2 V.
5. Změřte zatěžovací charakteristiku stabilizátoru.
6. Při minimálním a maximálním zatěžovacím proudu změřte velikost napětí a proudu na rezistoru a Zenerově diodě, vypočítejte výkon a porovnejte s vypočtenými a mezními hodnotami. Během měření průběžně kontrolujte teplotu součástek.
7. Změřené hodnoty zapište do tabulky a vytvořte zatěžovací charakteristiku (graf).
8. Porovnejte změřené hodnoty se zadáním a výsledek uveďte do zhodnocení.

Stabilizátor se Zenerovou diodou je vhodný pro malý výstupní proud bez požadavků na vysokou teplotní stabilitu. Pro měřicí techniku, kde jsou požadavky vyšší, jsou určeny zdroje referenčního napětí (napěťové reference). Vyrábí se pro výstupní napětí 1,2 až 10 V, zpravidla v pouzdrech se třemi vývody a s možností přesného nastavení napětí.

6.4.4 Stabilizátory napětí s diskretními součástkami

Jednoduchým doplněním stabilizátoru se Zenerovou diodou vznikne sériový stabilizátor. Regulačním prvkem je v tomto případě tranzistor, který je zapojen v sérii se zátěží. Elektrolytické kondenzátory slouží k filtraci výstupního napětí. Nevýhodou uvedeného zapojení je malá odolnost proti zkratu na výstupu.

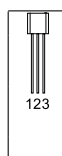
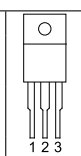


Obrázek 6.42: Stabilizátor s diskretními součástkami

6.4.5 Stabilizátory pevného napětí s integrovanými obvody

V katalogu součástek nalezneme specializované integrované obvody, určené jako stabilizátory stejnosměrného kladného i záporného napětí v rozsahu od 2 do 24 V s výstupním proudem 0,1 až 3 A (tzv. monolitické). Podle výstupního proudu jsou dodávány v pouzdrech se třemi vývody TO92 (mají navíc v označení L, např. 78L05) nebo v pouzdrech TO220 s možností připevnění na chladič. Podle doporučení výrobce je obvod vhodný doplnit kondenzátory zajišťujícími stabilitu. Maximální vstupní napětí je 35 až 40 V, respektive -35 až -40 V. Integrované obvody obsahují proudovou ochranu, a jsou tedy odolné proti zkratu na výstupu. Běžné stabilizátory řady 78xx a 79xx vyžadují pro správnou činnost, aby vstupní napětí bylo alespoň o 3 V vyšší než výstupní. Vyrábí se však i speciální obvody určené zejména

Tabulka 6.3: Zapojení vývodů stabilizátorů 78xx a 79xx

		Vývod číslo	Kladný 78xx	Záporný 79xx
		1	vstup	GND
		2	GND	vstup
		3	výstup	výstup

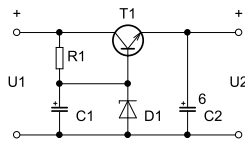
Tabulka 6.4: Katalogové údaje některých vybraných stabilizátorů

Stabilizátory kladného napětí				Stabilizátory záporného napětí			
Typ	Pouzdro	Napětí (V)	Proud (A)	Typ	Pouzdro	Napětí (V)	Proud (A)
78L05	TO92	5	0,1	79L05	TO92	-5	0,1
78L06	TO92	6	0,1				
78L08	TO92	8	0,1				
78L09	TO92	9	0,1				
78L10	TO92	10	0,1				
78L12	TO92	12	0,1	79L12	TO92	-12	0,1
78L15	TO92	15	0,1	79L15	TO92	-15	0,1
78L18	TO92	18	0,1				
7805	TO220	5	1	7905	TO220	-5	1
7806	TO220	6	1				
7808	TO220	8	1	7908	TO220	-8	1
7809	TO220	9	1	7909	TO220	-9	1
7810	TO220	10	1	7910	TO220	-10	1
7812	TO220	12	1	7912	TO220	-12	1
7815	TO220	15	1	7915	TO220	-15	1
7818	TO220	18	1	7918	TO220	-18	1
7820	TO220	20	1				
7824	TO220	24	1	7924	TO220	-24	1
78S05	TO220	5	2				
78S09	TO220	9	2				
78S10	TO220	10	2				
78S12	TO220	12	2				
78S15	TO220	15	2				
78S18	TO220	18	2				
78S24	TO220	24	2				
78T05	TO220	5	3				

do bateriových zařízení, která pracují s menším rozdílem mezi vstupním a výstupním napětím. Použití uvedených obvodů je velmi jednoduché a vyhoví většině běžných napájecích obvodů.

Stabilizátory řady 7905 až 7924 vyžadují pro správnou funkci minimální výstupní zatěžovací proud 5 mA.

Poznámka: Při montáži stabilizátorů v pouzdrech TO220 nesmíme zapomenout, že kovová část je spojena s vývodem číslo 2. Proto se především záporné stabilizátory montují na izolační podložku. K izolaci je použito slídové podložky a ze spodní strany chladiče izolační průchodky. Pro snížení tepelného odporu jsou dotykové plochy potřeny slabou vrstvou silikonové vazelíny. Po namontování je třeba ohmmetrem zkontrolovat izolační stav.

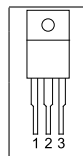


Obrázek 6.43: Doporučená zapojení pevných stabilizátorů

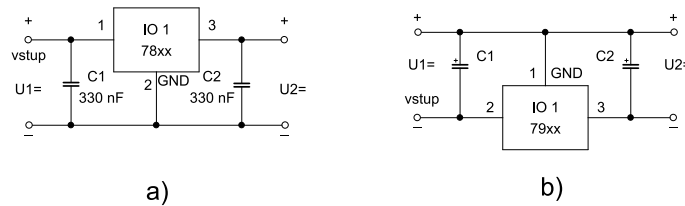
6.4.6 Stabilizátory nastavitelného napětí s integrovanými obvody

Typickými zástupci této skupiny stabilizátorů jsou obvody LM317T pro kladné napětí a LM337T pro záporné napětí. Jsou vyráběny v pouzdrech TO220. Výstupní napětí lze regulovat přibližně v rozsahu 1,2 až 37 V a maximální výstupní proud s dostatečně dimenzovaným chladičem může být až 1,5 A. Vstupní napětí musí být minimálně o 3 V vyšší než výstupní a nesmí přesáhnout 40 V. Minimální výstupní proud je 10 mA. V katalogu součástek jsou uvedeny další typy obvodů v jiných pouzdrech a s většími i menšími výstupními proudy.

Tabulka 6.5: Zapojení vývodů integrovaných obvodů LM317T a LM337T

	Vývod číslo	Kladný LM317T	Záporný LM337T
	1	Regulace napětí	Regulace napětí
	2	výstup	vstup
	3	vstup	výstup

Poznámka: Kovová část pouzdra je spojena s vývodem číslo 2, proto při montáži na chladič spojený s kostrou zařízení používáme izolační podložky.



Obrázek 6.44: Doporučená zapojení nastavitelných stabilizátorů

Porovnejte obě zapojení a povšimněte si, že jsou přepólovány elektrolytické kondenzátory i diody, vektory napětí jsou otočeny a vývody stabilizátorů jsou zapojeny odlišně.

Diody D_1 a D_2 jsou doporučovány výrobcem k ochraně stabilizátoru při vypnutí napájecího napětí. Při vypnutí by mohlo dojít k tomu, že kondenzátory C_2 nebo C_3 by se vybíjely pomaleji než C_1 a na vývodech stabilizátoru by se objevilo napětí opačné polarity, které by jej mohlo poškodit. Při výpočtu R_1 a R_2 vycházíme ze vzorce:

$$U_2 = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad [\text{V}; \Omega, \Omega] \quad (6.25)$$

Při stanovení hodnoty rezistoru R_1 vycházíme z minimálního výstupního napětí, které je rovno napětí mezi vývody 1 a 2 (u kladného stabilizátoru), to je 1,2 V, a z minimálního výstupního proudu 10 mA. Z Ohmova zákona tedy vypočítáme:

$$R_1 = \frac{1,2}{10^{-2}} = 1,2 \cdot 10^2 = 120 \Omega$$

Vzorec pak můžeme zjednodušit:

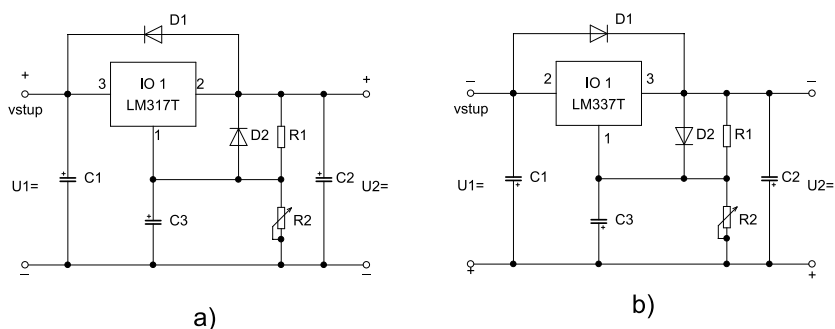
$$U_2 = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{120}\right) \quad [\text{V}; \Omega]$$

Použijeme-li v zapojení potenciometr, odpovídá vypočtené napětí jeho maximální (a tedy i jmenovité) hodnotě. Je-li hřídel potenciometru otočena tak, že jeho odpor je minimální, je výstupní napětí přibližně 1,25 V.

Zpravidla však postupujeme obráceně. Známe požadovanou velikost výstupního napětí a chceme vypočítat potřebnou hodnotu odporu R_2 . Vzorec tedy musíme upravit.

6.4.7 Nastavitelný zdroj souměrného napětí

K napájení operačních zesilovačů se používá souměrného napětí. Znamená to, že potřebujeme kladné i záporné napětí, jehož velikost je shodná. V následujícím zapojení využijeme obou výše popsaných stabilizátorů a pro regulaci napětí tandemový potenciometr.



Obrázek 6.45: Schéma zapojení symetrického stabilizátoru

Odporové trimry R_1 a R_2 slouží k přesnému nastavení výstupního napětí. Aby byla zaručena shodná velikost kladného i záporného napětí, je třeba vybrat tandemový potenciometr s co nejlepším souběhem. Potenciometry s hodnotou 2 k Ω je možné nahradit potenciometry s hodnotou 2,5 k Ω a paralelně připojit rezistor 10 k Ω .

6.4.8 Cvičení

1. Osadte všechny součástky podle schématu zapojení. Pečlivě zkontrolujte polaritu elektrolytických kondenzátorů, orientaci diod a integrovaných stabilizátorů.
2. Integrované stabilizátory přišroubuje přes izolační podložky na chladič.
3. Při připojování potenciometrů dbejte na to, aby v levé poloze byl jejich odpor minimální.
4. Nastavte odporové trimry do střední polohy.
5. Na vstup připojte vhodný zdroj symetrického napětí přes ochranné rezistory hodnoty 470 Ω v kladné i záporné větvi (svorky označená +18 V a -18 V) a na výstup připojte voltmetr.
6. Zapněte zdroj a pomocí voltmetru kontrolujte velikost a polaritu výstupního napětí.
7. Otáčejte potenciometrem a kontrolujte, zdali se výstupní napětí mění.
8. Pokud je vše v pořádku, můžete odstranit ochranné rezistory. V opačném případě okamžitě vypněte zdroj a vše znovu zkontrolujte.

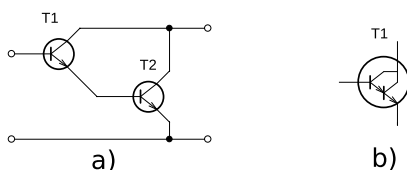
9. Znovu zapněte zdroj, potenciometr otočte do pravé polohy, která odpovídá maximálnímu napětí, a pomocí trimrů postupně nastavte výstupní napětí na $+15\text{ V}$ a -15 V .
10. Na výstup připojte vhodný válcový reostat a změřte zatěžovací charakteristiky kladného i záporného zdroje při různých hodnotách výstupního napětí. Aby bylo možno ověřit činnost proudové ochrany, musí být použit zdroj, který je schopen dodávat minimálně $1,8\text{ A}$ při napětí 18 V .
11. Na výstupu se vyvarujte zkratu, který by mohl stabilizátory poškodit.
12. Během měření kontrolujte teplotu chladiče.

6.5 Stejnoseměrné zesilovače

Jsou to zesilovače, jejichž dolní mezní kmitočet je nula. Používají se v různých aplikacích lékařské techniky (kardiografy, zesilovače biopotenciálů), v chemii (měřiče pH) a mnoho dalších aplikací (např. analogové počítače). Navrhují se jako nízkofrekvenční zesilovače, ovšem s galvanickými vazbami mezi stupni, často se u vícestupňových zesilovačů střídají komplementární tranzistory a zisk zesilovačů se vždy stabilizuje silnými zpětnými vazbami.

Hlavním zdrojem chyb při zesilování stejnosměrných signálů je teplotní nestálost napětí U_{BE} vstupního tranzistoru. Tato nestabilita bývá cca 2 mV K^{-1} . Proto se často používá diferenciální zapojení vstupních tranzistorů, v kterém se jejich chyby vzájemně kompenzují, takže výsledná nestálost bývá menší než 100 mV . V současné době se pro tyto aplikace používají tzv. operační zesilovače, které jsou popsány dále. Stejnoseměrné zesilovače se nyní vyrábí v integrovaném provedení, takže se používají jako jedna součástka (i když uvnitř obsahují desítky tranzistorů). Např. integrovaný obvod MAA725 má celkové zesílení bez zpětné vazby $3 \cdot 10^6$, šířku pásma až do 1 MHz a teplotní nestálost vstupního napětí 5 mV K s^{-1} .

Pro zesilování stejnosměrných napětí pod 1 mV se používá tzv. modulační princip zesilovačů, který spočívá v tom, že se vstupní napětí přemění na střídavé, zesiluje se střídavým zesilovačem, který tyto tepelné nestability nezesiluje a na výstupu se výsledné napětí opět usměrní. Přeměna stejnosměrného napětí na střídavé se provádí modulátory a zpět demodulátory. Dříve se používaly vibrační měniče, které ovšem nejsou pro tyto účely, (i když se vyráběly měniče se zlacenými kontakty) příliš vhodné, protože zanášely do obvodu vlastní rušivé signály. Nyní se s výhodou využívají měniče s tranzistory typu MOSFET nebo se na vstupu používá kmitající kondenzátor. Je to zvláště konstruovaný kondenzátor, který mění svoji kapacitu v rytmu modulační frekvence. Protože obvod je navržen tak, aby výsledný elektrický náboj byl konstantní, mění se napětí na polepech kondenzátoru v rytmu modulační frekvence. Tyto kondenzátory se vyrábí pro modulační frekvence do desítek kilohertzů, takže lze zpracovávat signály až do frekvencí stovek hertzů.



Obrázek 6.46: Darlingtonovo zapojení zesilovačů

Používá se v případech, kdy vyžadujeme velmi stabilní a velké proudové zesílení. Je to v obvodech s velkou vstupní a malou výstupní impedancí. Často se používá i pro koncové zesilovací stupně. Darlingtonovo zapojení si lze představit jako jeden tranzistor, pracující v zapojení *SE*, *SB* nebo *SC*. Velmi často je používané zapojení se společným emitorem.

Jeho výhodou je velký vstupní odpor způsobený malým proudem prvního tranzistoru, velkou strmostí, danou kolektorovým proudem druhého tranzistoru a velkým proudovým zesilovacím činitelem, daným přibližně součinem dílčích proudových zesilovacích činitelů jednotlivých tranzistorů.

Jsou známy i kombinace, kdy se jako první používá unipolární tranzistor J-FET, nebo zapojení pomocí komplementárních tranzistorů.

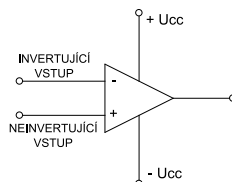
6.6 Operační zesilovače

6.6.1 Základní informace

Název operační zesilovače (OZ) pochází z původní funkce, tedy provádění různých matematických operací v analogových počítačích. Od té doby se konstrukce OZ velmi změnila, ale základní požadavky zůstávají stejné.

Ideální OZ by měl mít následující parametry: nekonečně velké zesílení, nekonečně velkou vstupní impedanci, nulovou výstupní impedanci a nekonečně vysokou rychlost přeběhu. V praxi nelze samozřejmě těchto parametrů dosáhnout, proto se můžeme setkat např. s nízkošumovými OZ, které se používají ve vstupních obvodech, vysokofrekvenčními OZ nebo výkonovými OZ. V současné době se OZ vyrábějí jako integrované obvody často technologií BIFET¹ nebo BIMOS² a v jednom pouzdře mohou být až čtyři.

Protože jedním ze základních požadavků je zpracování stejnosměrných signálů, musí být OZ napájeny symetrickým napájecím napětím (např. $\pm 15\text{ V}$).



Obrázek 6.47: Zapojení operačního zesilovače

Každý OZ (obrázek 6.47) má dva vstupy invertující (–) a neinvertující (+), jeden výstup, vývody pro kladné ($+U_{cc}$) a záporné ($-U_{cc}$) napájecí napětí a případně další pomocné vývody pro nastavení symetrie nebo pro kmitočtovou kompenzaci. Číslování i zapojení vývodů se u jednotlivých typů operačních zesilovačů může odlišovat.

6.6.2 Vlastnosti

Při použití OZ musíme vzít v úvahu reálné vlastnosti, které nemohou dosahovat výše uvedených hodnot ideálního OZ. Kromě toho je třeba počítat s některými omezeními a nedostatky danými použitou technologií a fyzikálními vlastnostmi polovodičů.

¹Na vstupech použity tranzistory J-FET.

²Na vstupech použity tranzistory MOS.

Vstupní napěťová nesymetrie

Protože vstupní obvody nejsou nikdy naprosto stejné, objevuje se na výstupu napětí, i když je na obou vstupech napětí shodné. Kromě toho dochází ke změnám vstupní napěťové nesymetrie i v závislosti na teplotě (teplotní drift), proto je třeba nesymetrii kompenzovat až po zahřátí OZ na provozní teplotu.

Vstupní klidový proud

Je způsoben nestejně velkými vstupními proudy. Na výstupu se projevuje nenulovým napětím a je teplotně závislý, podobně jako v předchozím případě. OZ vyrobené technologií BIFET nebo BIMOS mají velmi malé vstupní proudy a tím i výhodnější vlastnosti. Aby se vliv vstupních proudů projevil co nejméně, je třeba zařadit do obou vstupů shodné rezistory. V praxi to lze obtížně zajistit, je to však velmi důležité při použití velkých hodnot odporu.

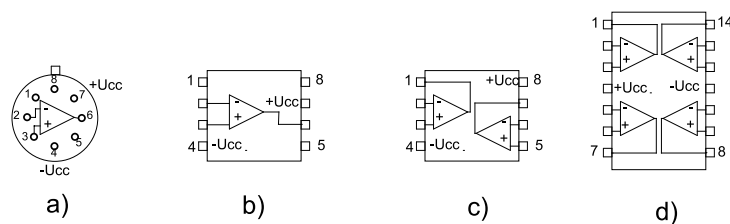
Kmitočtová kompenzace

Při zesilování střídavého napětí se směrem k vyšším kmitočtům snižuje zesílení a mění fáze signálu. To bývá příčinou nestability. Pokud se totiž fáze změní až o 180° , změní se původně záporná zpětná vazba na kladnou a operační zesilovač se rozkmitá. Proto se zavádí kmitočtová kompenzace. Některé OZ mají kmitočtovou kompenzaci vnitřní (uvnitř pouzdra), k ostatním se připojují pasivní součástky podle doporučení výrobce.

Rychlost přeběhu

Rychlost přeběhu znamená rychlost změny výstupního napětí, jakou dokáže OZ reagovat na skokovou změnu vstupního napětí. Udává se ve voltech za mikrosekundu ($V\mu s^{-1}$). Čím vyšší je toto číslo, tím je větší šířka přenášeného pásma a nižší nelineární zkreslení.

6.6.3 Katalogové údaje



Obrázek 6.48: Pouzdra operačních zesilovačů

Pouzdra OZ mohou být různá. Nejčastěji se používá plastových osmi nebo čtrnácti vývodových pouzder (DIL), případně kovových osmivývodových pouzder (TO99). V jednom pouzdře může být umístěno až šest jednotlivých operačních zesilovačů.

Pozor: Pouzdra DIL jsou číslována při pohledu shora, pouzdra TO99 jsou číslována při pohledu zdola.

V katalogu jsou uváděny například následující mezní údaje: napájecí napětí, rozdílové vstupní napětí, vstupní napětí, ztrátový výkon, rozsah pracovních teplot, odolnost proti zkratu apod. Při překročení mezních hodnot hrozí zničení OZ. Charakteristické údaje popisují vlastnosti OZ. Kromě nominálních (typických) hodnot jsou uváděny také minimální nebo maximální hodnoty, které výrobce zaručuje. V následující tabulce 6.6 jsou pro porovnání uvedeny některé charakteristické údaje bipolárního OZ typu LM741, OZ se vstupem JFET typu TL084 a ideálního OZ. V katalogu jsou uvedeny také podmínky, při kterých charakteristické údaje platí.

Tabulka 6.6: Parametry operačních zesilovačů

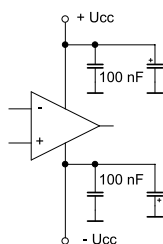
parametr	jednotka	LM741	TL084	ideální OZ
vstupní napěťová nesymetrie	mV	1	3	0
vstupní proudová nesymetrie	nA	20	2	0
vstupní klidový proud	nA	80	7	0
vstupní odpor	M Ω	2	1 000 000	∞
napěťové zesílení bez zpětné vazby	V/mV	200	200	∞
napájecí proud	mA	1,7	2,8	0
šířka pásma	MHz	1,5	3	∞
teplotní drift napěťové nesymetrie	mV/K	15	10	0

6.6.4 Konstrukční požadavky

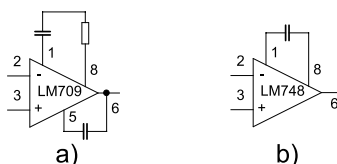
Napájecí napětí (kladné i záporné) je vhodné blokovat kondenzátory kapacity 100 nF, případně i elektrolytickými kondenzátory kapacity 10 až 100 μ F. Uvedené opatření je důležité hlavně, pokud jsou příklady ke zdroji delší, nebo když OZ zpracovává vyšší kmitočty.

Některé typy OZ umožňují pomocí vnějších pasivních součástek kompenzovat napěťovou a proudovou nesymetrii. Způsob kompenzace závisí na doporučení výrobce.

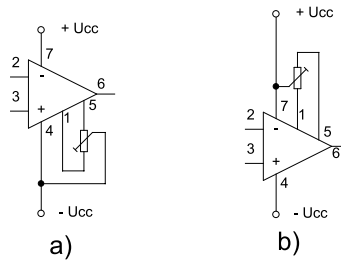
Pokud OZ neobsahuje prvky kmitočtové kompenzace uvnitř pouzdra, je třeba připojit rezistory a kondenzátory podle doporučení výrobce.



Obrázek 6.49: Blokování napájecího napětí

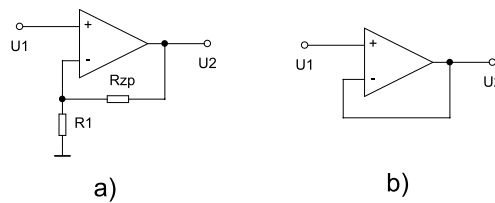


Obrázek 6.50: Kmitočtová kompenzace



Obrázek 6.51: Kompensace vstupní napěťové nesymetrie

6.6.5 Neinvertující zesilovač



Obrázek 6.52: Neinvertující zesilovač

Vstupní napětí se přivádí do neinvertujícího vstupu (+) a invertující vstup (-) je připojen k odporovému děliči složenému z rezistorů R_1 a R_{zp} . U neinvertujícího zesilovače je vstupní signál ve fázi s výstupním a zesílení je vždy větší než jedna.

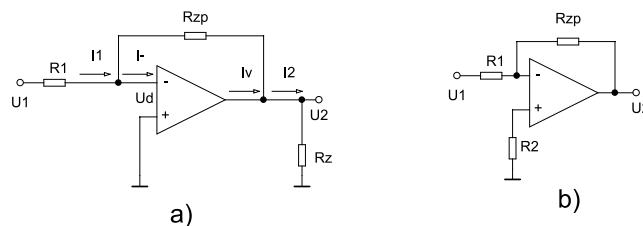
$$U_2 = U_1 \cdot \left(1 + \frac{R_{zp}}{R_1}\right) \quad [\text{V}; \text{V}, \Omega; \Omega] \quad (6.26)$$

$$A_U = 1 + \frac{R_{zp}}{R_1} \quad [-; \Omega, \Omega] \quad (6.27)$$

Významnou vlastností tohoto zapojení je vysoký vstupní odpor (nedochází k zatěžování zdroje signálu připojeného na vstup).

Krajní variantou je zapojení bez R_1 i R_{zp} , kde je invertující vstup přímo spojen s výstupem. Má zesílení 1 a používá se jako impedanční převodník.

6.6.6 Invertující zesilovač



Obrázek 6.53: Invertující zesilovač

Vstup je připojen přes R_1 k invertujícímu vstupu, zatímco druhý vstup je spojen s nulovým potenciálem. K výstupu je připojena zátěž R_z a zpětnovazební rezistor R_{zp} , který určuje velikost záporné zpětné vazby. Vstupní impedance závisí na velikosti rezistoru R_1 .

Pro jednotlivé proudy platí vztahy:

$$I_1 + I_{zp} = 0 \quad [\text{A}; \text{A}, \text{A}] \quad (6.28)$$

$$I_V = I_{zp} + I_2 \quad [\text{A}; \text{A}, \text{A}] \quad (6.29)$$

Kompensace vstupní proudové nesymetrie pomocí rezistoru R_2 , jehož velikost je rovná paralelní kombinaci R_1 a R_{zp} :

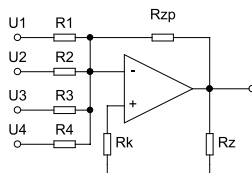
$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{zp}}{R_1 + R_{zp}} \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega, \Omega] \quad (6.30)$$

Výpočet zesílení:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_{zp}}{R_1} \quad [\text{V}; \text{V}, \Omega, \Omega] \quad (6.31)$$

$$A_U = \frac{R_{zp}}{R_1} \quad [-; \Omega, \Omega;] \quad (6.32)$$

6.6.7 Sumační (součtový) zesilovač



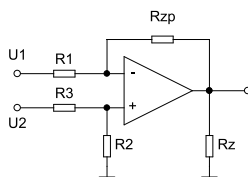
Obrázek 6.54: Sumační zesilovač

Rozšířením základního zapojení invertujícího zesilovače o další vstupy vznikne tzv. součtový zesilovač. Společný bod všech sčítacích rezistorů je připojen k invertujícímu vstupu (virtuální zem), proto se součet proudů všech vstupů musí rovnat proudu procházejícímu zpětnovazebním rezistorem R_{zp} .

Kompenzační rezistor R_k , který je nutný pro kompenzaci proudové nesymetrie vstupů, vypočítáme jako paralelní spojení všech sčítacích rezistorů. Napěťové zesílení jednotlivých vstupů je dáno poměrem R_{zp} a rezistorem příslušného vstupu. Protože se jedná o invertující zesilovač, je výstupní napětí fázově posunuto o 180° oproti vstupnímu.

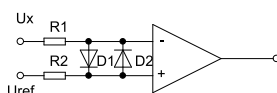
6.6.8 Diferenční (rozdílový) zesilovač

Používá se zejména v měřicí technice ke sledování dvou málo odlišných napětí, přivedených na invertující a neinvertující vstup. Jde v podstatě o kombinaci invertujícího zesilovače, který zesiluje napětí U_1 , a neinvertujícího zesilovače, který zesiluje napětí U_2 . Aby diferenční zesilovač zesiloval pouze rozdílové napětí, musí být zesílení invertujícího i neinvertujícího zesilovače stejné. Dvojice rezistorů R_2 a R_3 musí být ve stejném poměru jako R_{zp} a R_1 .



Obrázek 6.55: Diferenční zesilovač

6.6.9 Operační zesilovač bez zpětné vazby (komparátor)

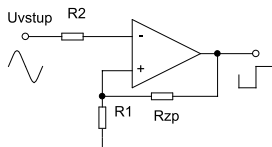


Obrázek 6.56: Zesilovač bez zpětné vazby (komparátor)

Pokud pracuje OZ bez zpětné vazby, stačí velmi malé vstupní napětí k tomu, aby výstup přešel do saturace (výstupní napětí se blíží napájecímu). Saturace je ustálený stav na výstupu, kdy se OZ otevře naplno a na další zvyšování vstupního napětí již nereaguje. Podle toho, ke kterému vstupu a s jakou polaritou přivedeme napětí, objeví se na výstupu kladné nebo záporné napětí.

V praxi se obvykle na jeden vstup přivádí napětí referenční a na druhý vstup napětí neznámé.

6.6.10 Schmittův klopný obvod s OZ

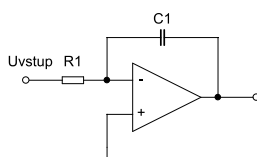


Obrázek 6.57: Schmittův klopný obvod

Používá se k úpravě střídavého signálu libovolného průběhu na obdélníkový (v číslicové technice). Na rozdíl od předchozích zapojení není zavedena žádná záporná zpětná vazba, ale naopak kladná pomocí rezistoru R_{zp} . Tato zpětná vazba stabilizuje stav OZ (zavádí hysterzi). Na rozdíl od komparátoru nedochází ke změně výstupního napětí okamžitě se změnou vstupního napětí, ale je třeba většího napětí k překonání napětí na neinvertujícím vstupu. Napětí se na neinvertující vstup dostává přes R_{zp} a jeho velikost závisí na poměru R_{zp}/R_1 .

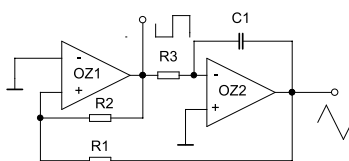
6.6.11 Integrátor

Na rozdíl od všech předchozích zapojení je v obvodu zpětné vazby na místo rezistoru zapojen kondenzátor. To způsobí, že po přivedení vstupního napětí se kondenzátor postupně nabíjí. Rychlost nabíjení závisí kromě kapacity kondenzátoru také na velikosti R_1 . Přivedeme-li na vstup napětí, jehož úroveň se periodicky skokově mění, na výstupu se objeví trojúhelníkový průběh.



Obrázek 6.58: Integrátor

6.6.12 Generátor funkcí



Obrázek 6.59: Funkční generátor, výkladové schéma

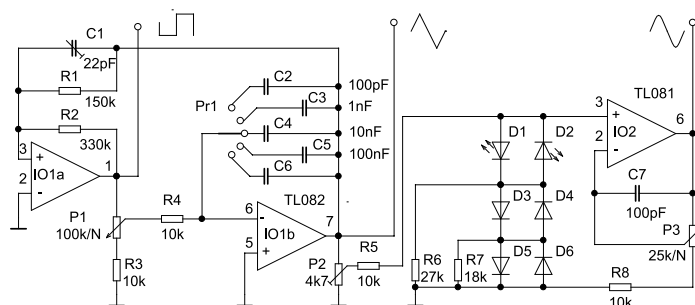
Kombinací komparátoru a integrátoru lze vytvořit velmi jednoduchý generátor funkcí, který je schopen kmitat ve velmi širokém rozsahu frekvencí (0,1 Hz až 1 MHz). Frekvenci generátoru určuje RC člen složený z rezistoru R_3 a kondenzátoru C . Doba jednoho kmitu (perioda) je dána vztahem:

$$T = RC \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad [\text{s}; \Omega, \text{F}, \Omega, \Omega] \quad (6.33)$$

Amplituda výstupního napětí závisí jak na napájecím napětí, tak i na poměru R_1/R_2 . Vypočítá se ze vztahu:

$$\delta_U = 2U_{sat} \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \Omega, \Omega] \quad (6.34)$$

I když existují speciální integrované obvody (např. MAX038), které umožňují snadnou konstrukci generátoru tvarových kmitů, lze pro méně náročná měření v akustickém pásmu použít jednoduché zapojení s operačním zesilovačem. Následující zapojení se skládá z komparátoru, integrátoru a tvarovacího obvodu, který převádí trojúhelníkový signál na sinusový.



Obrázek 6.60: Funkční generátor

6.6.13 Cvičení

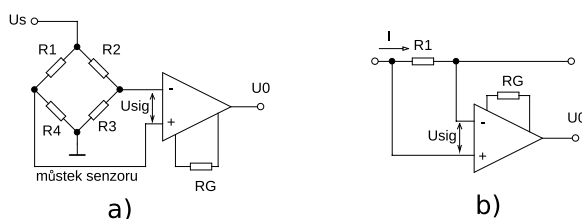
1. Namodelujte obvod na nepájivém poli a ověřte jeho činnost.
2. Trimr C_1 nastavte tak, aby při přeladování generátoru (pomocí P_1) docházelo k minimální změně výstupního napětí.
3. Trimrem P_2 nastavte co nejnižší zkreslení sinusového signálu na výstupu 3.
4. Zkontrolujte rozsah regulace výstupního napětí (potenciometrem P_3) na výstupu 3.
5. Pomocí osciloskopu změřte amplitudu výstupního napětí na všech výstupech.
6. Vypočítejte efektivní hodnotu výstupního napětí na výstupu 3.
7. Změřte výstupní kmitočet generátoru na všech rozsazích a současně kontrolujte, zda generátor správně pracuje ve všech polohách P_{r1} a P_1 .

6.6.14 Souhrn základních poznatků

- Napájecí napětí bývá zpravidla symetrické, tzn. kladné a záporné, stejné velikosti se společným nulovým potenciálem (*GND*).
- Při symetrickém napájení odpovídá nulovému vstupnímu napětí (rozdílovému napětí vstupů) nulové výstupní napětí.
- Při velkém zesílení nebo při zesilování stejnosměrných napětí je třeba korigovat napěťovou a proudovou nesymetrii. Způsob je různý, podle typu operačního zesilovače, a konkrétní zapojení lze nalézt v katalogu.
- Na vstupy OZ lze přivést kladné nebo záporné napětí většinou jen do výše napětí napájecích.
- Jestliže se nachází nebo převažuje napětí na neinvertujícím vstupu, je výstupní napětí ve fázi (fázový posun je 0°). Jestliže se nachází nebo převažuje napětí na invertujícím vstupu, je výstupní napětí v protifázi (fázový posun je 180°).
- O velikosti zesílení rozhoduje výhradně poměr dvou impedancí (odporů), zpětnovazební a vstupní.
- Zpětná vazba do invertujícího vstupu je záporná, do neinvertujícího vstupu kladná.
- Kmitočtová kompenzace bývá u většiny operačních zesilovačů vnitřní (ve vnitřní struktuře OZ), u ostatních se nastavuje vnějšími prvky *RC* v závislosti na zesílení a podle doporučení výrobce.
- Dvě základní skupiny OZ se liší podle technologie výroby vstupních polovodičových prvků (bipolární nebo FET).

6.7 Přístrojové zesilovače

Přístrojový zesilovač je rozdílový zesilovač s uzavřenou smyčkou zpětné vazby, který zesiluje rozdíl vstupních napětí a potlačuje souhlasné napětí přivedeného na jeho vstupy. Má diferenční vstup a jednoduchý výstup vztahený k referenčnímu vstupu.



Obrázek 6.61: a) V uvedeném zapojení se projevuje značná velikost souhlasného napětí, b) využití přístrojového zesilovače k měření proudu

6.7.1 Použití

Přístrojové zesilovače jsou používány k zesilování malých signálů za přítomnosti silného rušení a šumu. Oblast jejich použití je široká, kromě průmyslových aplikací též v automobilech, audiotechnice, počítačích apod. Častým použitím je zesilování signálů z tenzometrickým odporových můstků, teplotních a tlakových čidel, v lékařských zařízeních. Velmi rychlé přístrojové zesilovače mohou být používány ve video a kabelových systémech k zesilování vysokofrekvenčních signálů.

Nastavení zesílení

Zesílení nastavujeme jedním rezistorem označeným R_G . Tento rezistor může být podle provedení umístěn uvnitř, nebo vně pouzdra zesilovače. Konstrukčně přístrojové zesilovače obsahují dva nebo tři operační zesilovače a rezistorovou síť.

Impedance diferenčních vstupů

Impedance je vyvážená, to znamená, že impedance vstupů má stejnou velikost. Vstupní odpor je vysoký, řádově $10^9 \Omega$ až $10^{12} \Omega$.

Vstupní klidové proudy

Dosahují velmi malých hodnot, typicky 1 nA až 50 nA. Z toho vyplývají i poměrně malé chyby způsobené vstupními klidovými proudy a vstupní proudovou nesymetrií.

Výstupní impedance

Výstupní impedance je co nejmenší, na nízkých kmitočtech pouze několik m Ω . Co do funkce se přístrojový zesilovač liší od operačního zesilovače přesně definovaným zesílením. Přístrojové zesilovače umožňují měření malých signálů za přítomnosti značných hodnot souhlasného napětí, mají malou hodnotu, úbytek napětí, který na něm vzniká průtokem měřeného proudu je zesilován přístrojovým zesilovačem.

Šumy

Protože jsou přístrojové zesilovače používány pro zesilování velmi malých signálů, musí vytvářet pouze velmi malé šumy. Je-li vyžadována minimalizace příkonu zesilovače, je nutné vzít v úvahu, že mikrovýkonové přístrojové zesilovače vytvářejí větší úrovně šumů než zesilovače s většími napájecími proudy.

6.7.2 Hlavní vlastnosti přístrojových zesilovačů

Hlavní vlastnosti přístrojových zesilovačů můžeme shrnout do následujících bodů:

1. Zesilující rozdíl dvou signálů, při zesilování malých signálů jsou mnohem efektivnější než klasické operační zesilovače.
2. Vstupní impedance jsou vyváženy a dosahují zpravidla hodnot řádově $10^9 \Omega$ až $10^{12} \Omega$, velké vstupní impedance jsou důležité z toho důvodu, aby zesilovač nezatěžoval zdroje signálů.
3. Vstupní klidové proudy dosahující u bipolárních zesilovačů hodnot typicky od 1 nA do 50 nA, u zesilovačů s unipolárních tranzistory na vstupech 1 pA až 50 pA.
4. Výstupní dynamické impedance jsou, podobně jako u operačních zesilovačů velmi nízké a dosahující na nízkých kmitočtech velikosti několika $m\Omega$.
5. Zesílení zesilovače je buďto pevně nastaveno interně výrobcem, nebo pomocí vývodů připojením vnějšího rezistoru, případně propojením stanovených vývodů, které jsou vyvedeny z vnitřního rezistoru opatřeného odbočkami. Nastavení vnitřními rezistory je přesnější a stabilnější než při použití vnějších rezistorů. Přístrojové zesilovače používají vyváženou síť rezistorů, minimálně páry rezistorů mají stejné hodnoty, stejné teplotní koeficienty a podobně. To umožňuje dosáhnout oproti operačním zesilovačům podstatně lepší teplotní i dlouhodobé stability.
6. Vysoké potlačení stejnosměrného i střídavého souhlasného signálu $CMRR$, které může dosáhnout 80 dB až 120 dB.
7. Malé offsetové napětí a malý drift tohoto napětí. Typické hodnoty driftu $1 \mu V K^{-1}$ až $10 \mu V K^{-1}$.
8. Malá nelinearita, chyby způsobené nelinearitami dosahují hodnot typicky 0,01 %, u vysoce kvalitních zesilovačů až 0,0001 %.
9. Dosahovaná šířka pásma se pohybuje v rozmezí od 500 kHz do 4 MHz.
10. Moderní přístrojové zesilovače musí být často schopné pracovat s nesymetrickým napájecím napětím 5 V nebo menší. Pro tento účel jsou vyráběny *rail to rail* přístrojové zesilovače pro vstup a pro výstup.

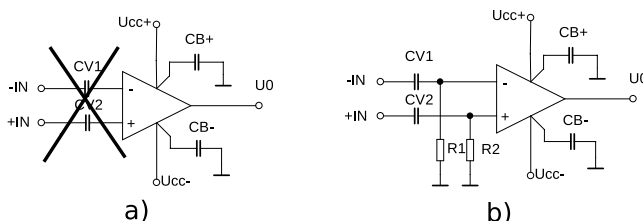
6.7.3 Poznámky k aplikacím přístrojových zesilovačů

Blokovací rušení z napájecí sběrnice

Protože napájecí vedení nemají nulovou impedanci a projevují se u nich kapacitní a indukční vazby s dalšími spoji, způsobují rychlé změny velikosti signálů a napájecích proudů obvodů na desce plošnými spoji úbytky napětí na napájecí sběrnici. Proto je nutné blokovat napájecí svorky zesilovačů pomocí blokovacích kondenzátorů. Mezi napájecí vývody integrovaných obvodů a zem se umísťují kondenzátory o hodnotě 100 nF, spolu s kondenzátory o větších hodnotách kapacit, například $1 \mu F$, $10 \mu F$. Můžeme použít i kombinace $10 \mu F$ a $330 nF$. Vhodné způsoby blokování napájecího napětí jsou zpravidla uvedeny ve firemních dokumentaci k příslušnému typu zesilovače.

Střídavá vazba vstupů

Střídavá vazba umožňuje blokovat stejnosměrná napětí, která jsou přítomna na vstupech zesilovačů. Aby byla umožněna správná činnost zesilovače, musí mít jeho vstupy s napájecím zdrojem galvanickou vazbu. To neumožňuje zapojení podle obrázku 6.62, které je z toho důvodu nefunkční.

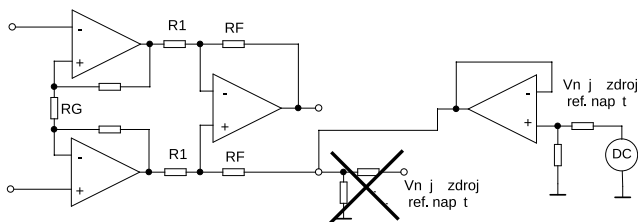


Obrázek 6.62: a) Nesprávné provedení střídavé vazby, b) rezistory R_1 a R_2 vytvářejí cestu pro stejnosměrné klidové proudy I_{B-} a I_{B+}

Rezistory R_1 a R_2 podle obrázku 6.62 umožňují správnou činnost zesilovače. Rozdíl úbytků napětí $I_{B+} \cdot R_2 - I_{B-} \cdot R_1$ tvoří vstupní diferenční napětí U_{IB} , jehož výsledkem je stejnosměrná chyba výstupního napětí způsobená vstupními klidovými proudy. K minimalizaci této chyby je důležité, aby rezistory měly přesně stejnou hodnotu. Při výběru hodnot vazebních kondenzátorů a odporů se vychází z požadavku na mezní kmitočet, na vstupech označených $-I_N$ a $+I_N$ velikost 3 dB. K tomu dochází na kmitočtu $\omega = \frac{1}{(R \cdot C)}$. Aby nedošlo ke vzniku chyby zaviněné souhlasným napětím, je důležité, aby byly obě časové konstanty stejné $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$.

6.7.4 Připojení zdroje referenčního napětí

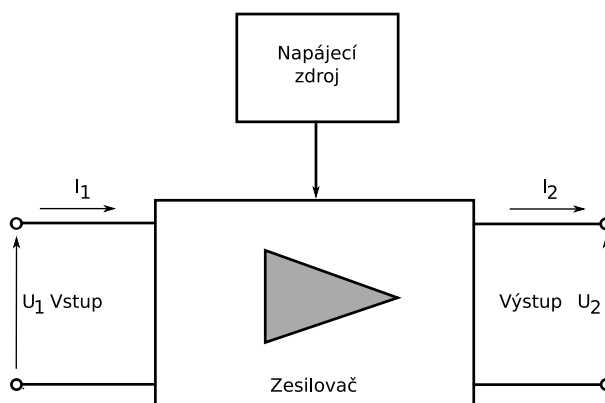
Musíme-li vytvořit referenční napětí pomocí odporového děliče, nemůžeme dělič připojit přímo na referenční vstup přístrojového zesilovače, protože, jak vyplývá z 6.63, vedlo by přímé připojení k ovlivnění hodnoty odporu R_F a tedy zesílení zesilovače. Připojovaný zdroj referenčního napětí musí mít co nejmenší hodnotu vnitřního odporu. Jeden z možných způsobů je použití operačního zesilovače, jak je to na obrázku 6.63 naznačeno.



Obrázek 6.63: Připojení zdroje referenčního napětí

6.8 Nízkofrekvenční zesilovače

Zesilovač je elektronické zařízení, jehož úkolem je zesílení signálu na požadovanou úroveň. Má vstup a výstup, je to tedy čtyřpól, na jehož vstupní svorky přivádíme signál, který chceme zesílit. Blokové schéma zesilovače je na obrázku 6.64.



Obrázek 6.64: Blokové schéma nf zesilovače

Zdrojem signálu může být např.

- mikrofon (elektrodynamický, elektrostatický, piezoelektrický...),
- přenoska (elektromagnetická, magnetodynamická, elektromechanická),
- tuner (rozhlasový přijímač),
- magnetofon (kasetový, cívkový, digitální),
- přehrávač (CD, SACD, DVD...),
- zvukový výstup (TV přijímače, videorekordery, záznamník...).

Zdrojem signálu je v širším smyslu nejen převodník akustického signálu na elektrický, ale i výstup jiného zařízení. Rozlišujeme *nízkoúrovňový zdroj* signálu (stovky μV až mV). Je nutná vysoká vstupní citlivost zesilovače nebo předzesilovače. *Vysokoúrovňový zdroj* signálu (od stovek mV až do $1,5\text{ V}$) – běžná vstupní citlivost zesilovače.

Úroveň výstupního signálu některých zdrojů signálu:

- Tuner – rozhlasový přijímač bez dalších zesilovacích stupňů, má výstupní úroveň nf signálu obvykle 100 až 250 mV
- Gramofon – přenoska – pro magnetodynamickou musíme zařadit předzesilovač, výstupní úroveň nf signálu 1 až 20 mV
- Přehrávač CD, SACD, DVD – linkový výstup s úrovní obvykle $0,775\text{ V}$
- Magnetofon – výstupní úroveň nf signálu 100 až 500 mV
- Zvukový výstup – normalizovaný linkový výstup s úrovní $0,775\text{ V}$ z TV, SAT, HDD rekordérů, kapesních přehrávačů.

Zesilovač ke své činnosti vyžaduje *napájecí napětí*. Část přivedené elektrické energie se mění ve ztrátové teplo a mluvíme tedy o jeho účinnosti. Tato vlastnost je podstatná zejména u výkonových zesilovačů. Vstupní i zesílený výstupní signál mají určitou velikost napětí a mohou dodávat určitý proud. Součin výstupního napětí a proudu pak udává výkon, který zesilovač dokáže odevzdat do zátěže.

6.8.1 Vlastnosti a parametry zesilovačů

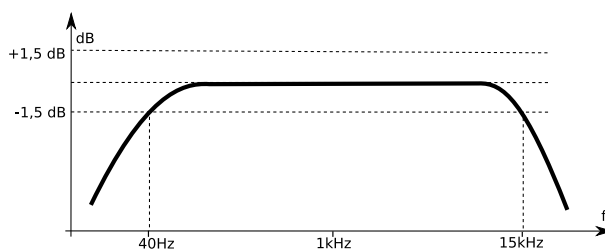
Nejdůležitější charakteristiky uváděné u zesilovačů jsou:

- Vstupní citlivost
- Vstupní impedance
- Výstupní impedance
- Kmitočtová a fázová charakteristika a přenosové pásmo
- Jmenovitý výstupní výkon a hudební výstupní výkon
- Odstup cizích a rušivých napětí
- Přeslechy mezi kanály a jednotlivými vstupy
- Činitel lineárního, harmonického a intermodulačního zkreslení
- Výkonová šířka pásma
- Dynamika, činitel tlumení a další.

Vstupní citlivost – udává velikost vstupního napětí, které je nutné k dosažení jmenovitého napětí na výstupu, případně jmenovitého výstupního výkonu. Pokud zesílujeme signál, který je menší než udávaná vstupní citlivost, zhoršuje se poměr signál/šum (S/N). Důležitou hodnotou je velikost maximálního vstupního napětí, které je zesilovač schopen zpracovat bez většího zkreslení – *přebuditelnost*.

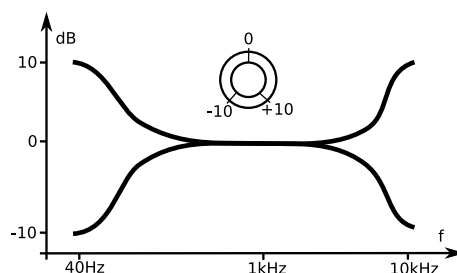
Vstupní impedance – pro optimální přizpůsobení zdroje signálu ke vstupu zesilovače je důležité znát vstupní impedanci. Reálná složka impedance R většinou převládá, a pak mluvíme o vstupním odporu. *Normovaná impedance* vstupů je většinou $47\text{ k}\Omega/250\text{ pF}$. Vstupní impedance zesilovačů by měla být 5 až 10krát větší než výstupní impedance zdroje. Zdroj pak pracuje „naprázdno“ a zesilovač jen málo ovlivní jeho vlastnosti.

Kmitočtová charakteristika – nf zařízení by mělo věrně přenášet signály v minimálním rozsahu (40 Hz až 16 kHz) a u kategorie HiFi by odchylka charakteristiky v tomto pásmu neměla překročit toleranční pole $\pm 1\text{ dB}$. Na obrázku 6.65 naleznete kmitočtovou charakteristiku zesilovače.



Obrázek 6.65: Kmitočtová charakteristika zesilovače (obrázek převzat z [28])

Odstup cizích napětí – udává poměr mezi maximálním užitečným signálem a signálem zbytkovým. Udává se v decibelech. Parametry měření je vstupní citlivost, impedance, kmitočet (zpravidla 1 kHz) a vstupní napětí, na kterém je odstup rušivých signálů udán. Charakteristika se měří v pásmu (32,5 Hz až 20 kHz). Předzesilovače a výkonové zesilovače s výstupním



Obrázek 6.66: Kmitočtová charakteristika pásmového korektoru (obrázek převzat z [28])

výkonem pod 20 W by měly mít odstup cizích napětí větší než 50 dB (1:300), výkonové zesilovače nad 20 W pak více než 60 dB (1:1000). Velmi přísné nároky jsou kladeny na studiové a profesionální zařízení, ta vyžadují odstup více než 100 dB.

Zkreslení – zpravidla se udává činitel harmonického a intermodulačního zkreslení. U lineárního zkreslení nejsou věrně reprodukovány amplitudy, ale frekvence zůstávají nezměněny. Naopak nelineární zkreslení ovlivňuje spektrum signálu. Činitel harmonického zkreslení k – je objektivní mírou posouzení velikosti nelineárního zkreslení. Udává se v procentech a představuje údaj, kolik procent užitečného harmonického signálu představuje směs vyšších harmonických složek, generovaných zesilovačem (THD – Total Harmonic Distortion). Činitel harmonického zkreslení je závislý na velikosti výstupního napětí, resp. na výkonu a na kmitočtu. Pro výkonové zesilovače je maximální přípustný činitel harmonického zkreslení 3 % na kmitočtech 62,5 Hz a 4 kHz a 2 % při 1 kHz (pro jmenovitý výkon). Měření se provádějí také na 40 Hz, 100 Hz, 400 Hz, 1 kHz a 6,3 kHz. U předzesilovače se vyžaduje maximální zkreslení 0,7 % v kmitočtovém pásmu (40 Hz až 4 kHz), u koncového zesilovače se vyžaduje pro plné vybuzení maximální zkreslení 0,7 % v kmitočtovém pásmu (40 Hz až 12,5 kHz) a výkonové zesilovače mají mít celkové harmonické zkreslení pod 1 %.

Zesílení je bezrozměrnou jednotkou a udává, kolikrát se změní příslušný parametr (napětí, proud, výkon).

Napěťové zesílení:

$$A_U = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} \quad [-; \text{V}, \text{V}] \quad (6.35)$$

Proudové zesílení:

$$A_I = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \quad [-; \text{A}, \text{A}] \quad (6.36)$$

Výkonové zesílení:

$$A_P = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \quad [-; \text{W}, \text{W}] \quad (6.37)$$

V praxi se zesílení udává v decibelech – dB. Je to poměrová veličina, která vyjadřuje poměr dvou čísel – míru zesílení – a je definována v logaritmickém měřítku pomocí výkonu, napětí nebo proudu.

Zesílení výkonu:

$$A_P = 10 \log \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \quad [\text{dB}; \text{W}, \text{W}] \quad (6.38)$$

Zesílení napěťové:

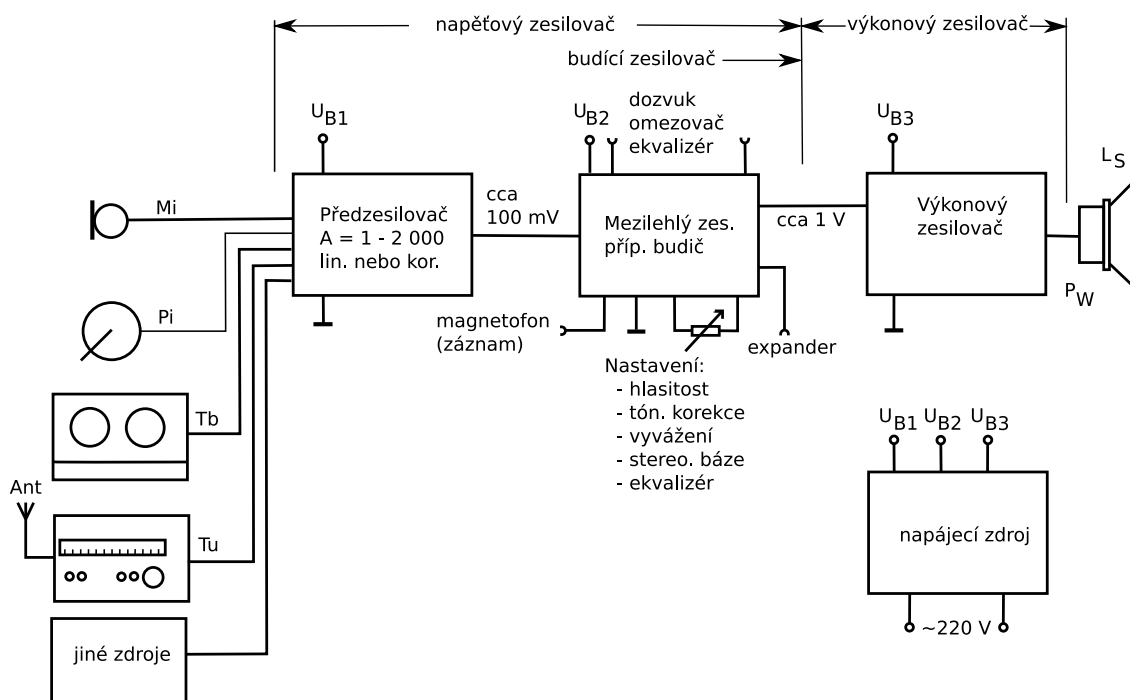
$$A_U = 20 \log \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} \quad [\text{dB}; \text{V}, \text{V}] \quad (6.39)$$

Zesílení proudové:

$$A_I = 20 \log \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \quad [\text{dB}; \text{A}, \text{A}] \quad (6.40)$$

Hodnoty vyjádřené v dB se používají v nízkofrekvenční elektronice k definování zesílení (označení +), útlumu (označení –), frekvenční charakteristiky, odstupu signálu od šumu, přeslechů. . .

Na obrázku 6.67 je zobrazen nízkofrekvenční přenosový řetězec včetně propojení jednotlivých zesilovacích stupňů.



Obrázek 6.67: Blokové schéma nízkofrekvenčního přenosového řetězce (obrázek převzat z [28])

6.8.2 Nízkofrekvenční zesilovače v přenosovém řetězci

- Napěťový zesilovač – předzesilovač, mezifrekvenční a budící zesilovač.
- Korekční předzesilovač (Preamplifier) – nastavení hlasitosti, hloubek a výšek, fyziologická regulace hlasitosti, stereofonní vyvážení.
- Pásmový korektor (Equalizer) – kmitočtová korekce v jednotlivých pásmech kanálů, grafický equalizer, oktávový equalizer, úprava nedostatků frekvenčního rozsahu přehrávaného signálu nebo poslechového prostoru.
- Výkonový zesilovač – koncový zesilovač (Power Amplifier) Napěťově proudový (výkonový) měnič, který vybudí membránu reproduktoru na potřebný elektrický výkon, který se z části přemění na akustický výkon. Výstupní výkon od několika mW (pro sluchátka) až po kW (ozvučovací zařízení). Výkonové prvky (bipolární a MOSFET tranzistory, elektronky) musí snést velké proudové zatížení a je nutné dostatečné chlazení (odvod ztrátového výkonu). Průměrná účinnost 50 až 65 %.

6.8.3 Základní rozdělení zesilovačů

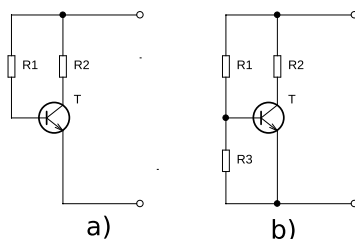
Zesilovače můžeme rozdělit podle různých kritérií, například na zesilovače napětí, proudu a výkonu, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a širokopásmové, dále podle nastavení pracovního bodu a principu činnosti do tříd A, AB, B, C, D, G, H, S a T nebo na předzesilovače a výkonové (koncové) zesilovače.

Nízkofrekvenční zesilovače slouží k zesilování slyšitelného pásma kmitočtů, tj. zhruba 20 Hz až 20 kHz. Vysokofrekvenční zesilovače se používají pro zesílení kmitočtů vyšších než 20 kHz. Nalezneme je nejčastěji v rozhlasových a televizních přijímačích, vysílačích nebo mobilních telefonech. Širokopásmové zesilovače se používají především v měřicích přístrojích (osciloskopy, měřiče kmitočtu, milivoltmetry apod.), kde je třeba pracovat se širokým spektrem kmitočtů.

Zesilovače, pracující ve třídě A, mají pracovní bod nastaven na střed lineární části převodní charakteristiky, mohou tedy s minimálním zkreslením zpracovat kladná i záporná napětí, a proto se používají k zesílení střídavého napětí. Výkonové nízkofrekvenční zesilovače pracují velice často ve třídě AB, s malým klidovým proudem, nebo B s nulovým klidovým proudem. Hlavní výhodou je zvýšení účinnosti. Aby bylo možno zesilovat obě půlvlny střídavého napětí, používá se komplementárních tranzistorů (viz dále). Další třídy zesilovačů nejsou běžně využívány, a proto se jimi dále zabývat nebudeme.

V současné době se převážně setkáte se specializovanými integrovanými obvody a zesilovače s diskretními součástkami se používají jen v jednoduchých aplikacích. Můžeme se však také setkat s elektronkovými zesilovači či digitálním zpracováním signálu.

6.8.4 Nastavení a stabilizace pracovního bodu tranzistoru

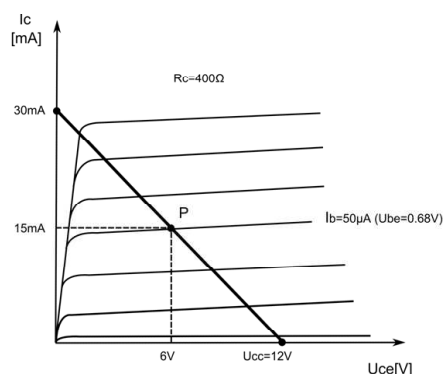


Obrázek 6.68: Schéma jednotranzistorového zesilovače

Nastavením pracovního bodu tranzistoru rozumíme určení vhodné hodnoty stejnosměrného proudu do báze I_B . Tento proud ovlivňuje proud kolektoru I_C a tím i úbytek napětí na kolektorovém rezistoru a napětí na kolektoru U_{CE} . Abychom dosáhli co největší amplitudy výstupního napětí, mělo by U_{CE} být přibližně polovinou napájecího napětí. Obrázek 6.68 ukazuje nejjednodušší možnosti nastavení pracovního bodu.

- Proud I_B vytváří na rezistoru R_1 úbytek napětí a současně určuje jeho velikost.
- V tomto případě je k nastavení pracovního bodu použito děliče napětí, jehož příčný proud je několikanásobně větší než proud báze (tvrdý dělič napětí). Napětí na bázi je stabilní a nekolísá. Nevýhodou takového řešení je, že rezistor R_2 , který je připojen paralelně ke vstupu, snižuje vstupní odpor zesilovače a zatěžuje zdroj vstupního signálu. Měkký dělič napětí s většími hodnotami R_1 a R_2 volíme u takového zapojení, kde prochází malý I_C a v kolektoru je velká hodnota rezistoru R_3 .

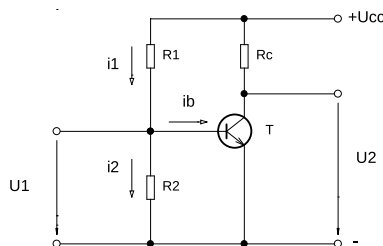
Početní příklad nastavení pracovního bodu tranzistoru:



Obrázek 6.69: Grafická metoda návrhu pracovního bodu

Tranzistor typu NPN, např. BC546. Zapojen se SE a odporovým děličem v bázi. Pracovní bod tranzistoru určují napětí U_{cc} , U_{BE} , U_{CE} , I_B , I_C .

Použití odporové přímky:



Obrázek 6.70: Schéma jednotranzistorového zesilovače

Přímku zakreslíme do výstupní charakteristiky tranzistoru (obrázek 6.70). Odporová přímka svými konci určuje na ose U_{CE} napájecí napětí zapojení tranzistoru (napětí $U_{CE} = U_{cc}$). Na ose I_C určuje proud tekoucí tranzistorem, jestliže bude otevřený do saturace. Připojíme-li na bázi tranzistoru napětí $U_{BE} = 680 \text{ mV}$, bude zároveň vyvolán proud báze $I_B = 50 \mu\text{A}$. Protože má jít o zesilovač střídavého výkonu, buzený sinusovým signálem, musí být zaručeno, že budou zpracovány kladné i záporné signálové změny (půlvlny). Proto je účelné, aby pracovní bod ležel pokud možno ve středu pracovní oblasti – zesilovač pracuje ve třídě A. Pracovní bod je vhodné umístit tak, aby napětí tranzistoru U_{CE} bylo polovinou napájecího napětí U_{cc} .

Celkový ztrátový výkon – výkon odvedený ve formě tepla. $P_{tot} = I_C \cdot U_{CE}$ mW nebo W; záleží na výkonu tranzistoru – $P_{tot} = 300 \text{ mW}$.

Pro tranzistor BC546 porovnáme příslušný katalogový údaj – celkový ztrátový výkon. V našem případě pracovní bod leží v přípustné oblasti výkonů.

$$P_{tot} = I_C \cdot U_{CE} = 15 \text{ mA} \cdot 6 \text{ V} = 90 \text{ mW}$$

K tomu musí být prostřednictvím odporového děliče v bázi zajištěno, aby z napájecího zdroje $U_{cc} = 12 \text{ V}$ vzniklo kladné napětí báze proti emitoru 680 mV , přičemž proud báze bude $0,05 \text{ mA}$. Odpor, z kterého bude odebíráno napětí, zde odpor R_2 , musí být malý v poměru k zatěžovacímu odporu. V tomto případě je to stejnosměrný vstupní odpor tranzistoru.

V praxi volíme proto R_2 ve vztahu k R_{BE} takto:

$$R_2 = \left(1 \div \frac{1}{10}\right) \cdot R_{BE}$$

to znamená, že proud I_2 musí ležet v následujících mezích:

$$I_2 = (1 \div 10)I_B$$

V praxi volíme $I_2 = 5 \cdot I_B$

Odporový dělič musí splňovat následující parametry:

$$I_B = 0,05 \text{ mA}; U_{BE} = 0,68 \text{ mV}; U_{cc} = 12 \text{ V}$$

$$I_2 \text{ vypočítáme: } I_2 = 5 \cdot I_B = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ mA}$$

$$I_2 = 0,25 \text{ mA}$$

Při napětí $U_{BE} = 0,68 \text{ V}$ má odpor R_2 hodnotu:

$$R_2 = \frac{U_{BE}}{I_2} = \frac{0,68}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 2720 \Omega$$

$$R_2 = 2720 \Omega$$

Na odporu R_2 je úbytek napětí $U_{R_2} = 0,68 \text{ V}$ a na odporu R_1 se musí vytvořit napětí $U_{cc} - U_{BE} = 12 - 0,68 = 11,32 \text{ V}$, přičemž proud I_1 tekoucí rezistorem je $I_1 = I_B + I_2 = 0,05 + 0,25 = 0,3 \text{ mA}$

Vypočítáme odpor R_1 :

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_1} = \frac{11,32}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 37800 \Omega$$

$$R_1 = 37800 \Omega$$

Pracovní bod je tedy daný těmito hodnotami: $U_{BE} = 680 \text{ mV}$; $I_B = 0,05 \text{ mA}$; $U_{CE} = 6 \text{ V}$; $I_C = 15 \text{ mA}$. Nesmíme přitom zapomínat, že odpor R_C má rozhodující podíl na stanovení pracovního bodu, neboť při $U_{CE} = 6 \text{ V}$ určuje proud

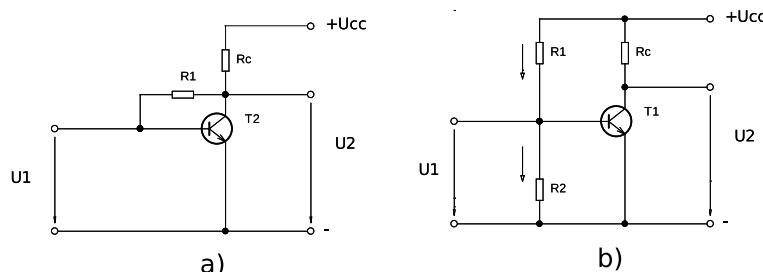
$$I_C = \frac{U_{CE}}{R_C} = \frac{6}{400} = 0,015 \text{ A} = 15 \text{ mA}$$

6.8.5 Zpětná vazba v zesilovačích

Zpětná vazba vznikne přivedením části zesíleného napětí nebo proudu na vstup zesilovače.

Jsou-li tato napětí ve fázi, hovoříme o kladné zpětné vazbě, která zvyšuje zesílení i zkreslení, snižuje vstupní odpor a může způsobit i rozkmitání zesilovače (na výstupu se objeví napětí bez ohledu na přítomnost vstupního signálu). Tento jev je považován za nežádoucí, proto se kladná zpětná vazba v zesilovačích nepoužívá. Při nevhodné konstrukci nebo návrhu desky plošného spoje se však nejčastěji vlivem parazitních kapacit může kladná zpětná vazba projevit. Výsledkem je nestabilita zesilovače nebo jeho rozkmitání. Čím větší je zesílení, tím větší nebezpečí hrozí. Při návrhu se proto snažíme, aby vstupní a výstupní obvody byly od sebe co nejvíce vzdáleny, případně odděleny plochou spojenou s nulovým potenciálem (*GND* – ground). Na přívody se používá stíněných vodičů, jejichž plášť je spojen s nulovým potenciálem.

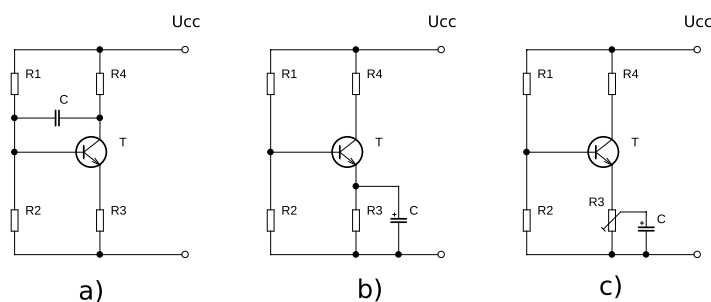
Záporná zpětná vazba, kdy jsou napětí v protifázi (posunutá o 180°), sice snižuje celkové zesílení, ale projevuje se příznivě snížením zkreslení, zvýšením vstupního odporu a stability. V zesilovačích je často používána mimo jiné také k teplotní stabilizaci pracovního bodu tranzistoru.



Obrázek 6.71: Záporná zpětná vazba

- a) Při zvýšení teploty tranzistoru dojde k nárůstu I_C . To se projeví zvýšením úbytku napětí na rezistoru R_2 a snížením napětí U_{CE} . Protože rezistor R_1 , který určuje I_B je připojen ke kolektoru tranzistoru, dojde ke snížení I_B a tím i I_C . Výsledná změna tedy působí proti prvotnímu zvýšení I_C .
- b) Shodného efektu se dosahuje i ve druhém zapojení. Zvýšení I_E vlivem nárůstu teploty způsobí zvětšení úbytku napětí na R_4 . Napětí na bázi, které je dáno děličem napětí však zůstalo stejné. Napětí mezi bázi a emitorem se tedy sníží, a to vyvolá snížení proudu báze, které vede ke snížení I_E . Ve výsledku tedy opět pozorujeme, že původní změna je kompenzována vlivem záporné zpětné vazby a pracovní bod je stabilizován.

V praxi často požadujeme, aby záporná zpětná vazba byla účinná pouze pro střídavý signál, případně pro určité pásmo kmitočtů.



Obrázek 6.72: Záporná zpětná vazba účinná jen pro střídavý signál

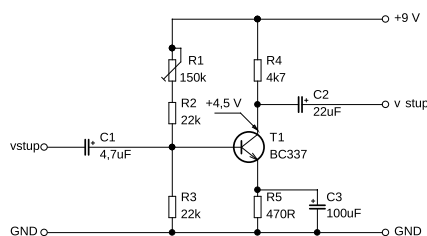
- a) Tohoto zapojení se často využívá k omezení přenášeného pásma (horního mezního kmitočtu). Přes kondenzátor C_1 se část výstupního signálu přivádí na vstup. Protože napětí v kolektoru tranzistoru je fázově posunuto o 180° , jedná se o zápornou zpětnou vazbu. Její velikost závisí na reaktanci kondenzátoru, která se vzrůstajícím kmitočtem klesá. Čím vyšší je tedy přenášený kmitočet, tím je záporná zpětná vazba větší (účinnější). Hodnota kondenzátoru C_1 bývá kolem 100 pF a výsledkem je snížení zesílení u vysokých

kmitočtů. Zabrání se tak pronikání nežádoucích vysokofrekvenčních signálů do zesilovače alepší se jeho stabilita.

- b) Kondenzátor C_1 „propouští“ střídavý signál. Jeho kapacita je výrazně větší než v předchozím případě (50 až $500 \mu\text{F}$). V přenášeném kmitočtovém pásmu se tedy záporná zpětná vazba neprojevuje a R_4 plní funkci stabilizace pracovního bodu.
- c) V emitoru je zapojen odporový trimr, na jehož běžec je připojen elektrolytický kondenzátor. Můžeme tak nastavit velikost záporné zpětné vazby pro střídavý signál a regulovat zesílení.

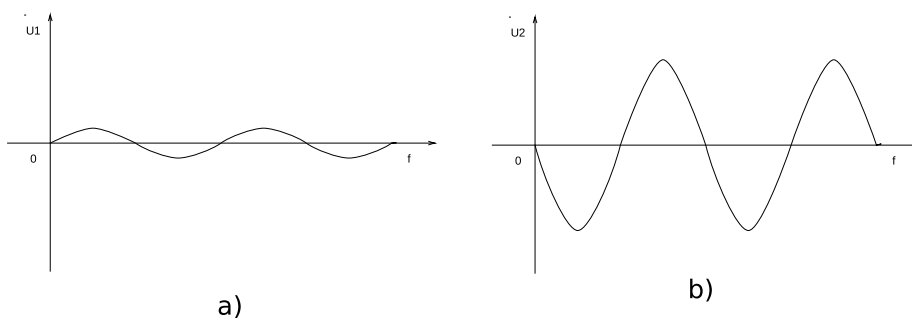
6.8.6 Příklady jednoduchých tranzistorových zesilovačů

Jednostupňový zesilovač



Obrázek 6.73: Jednostupňový zesilovač

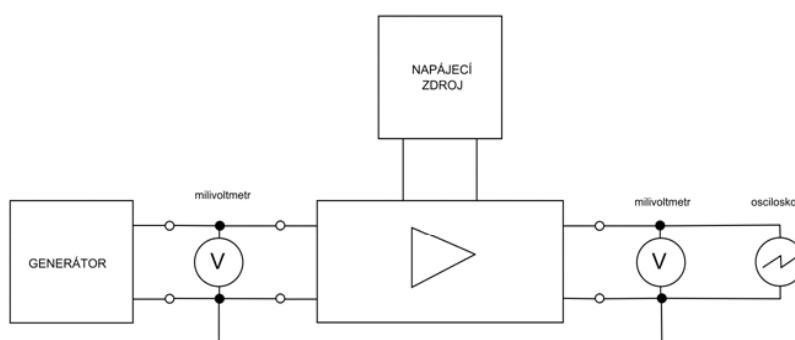
Odporový trimr R_1 slouží k nastavení pracovního bodu. Ochranný rezistor R_2 omezuje maximální hodnotu proudu I_B a zabraňuje zničení tranzistoru. Abychom dosáhli co největší amplitudy výstupního napětí, nastavíme trimrem napětí v kolektoru na 4,5 V. Voltmetr připojíme kladnou svorkou na kolektor a zápornou na zem (GND). Kondenzátory C_1 a C_2 se nazývají vazební a oddělují stejnosměrné napětí v bázi, respektive kolektoru tranzistoru. Protože kondenzátory „propouštějí“ pouze střídavý proud, neměříme na vstupu ani výstupu žádné stejnosměrné napětí. Rezistor R_4 nazýváme pracovní a vlivem změn I_C v rytmu vstupního signálu se na něm vytváří úbytek napětí. R_5 společně s C_3 stabilizují pracovní bod tranzistoru.



Obrázek 6.74: Znázornění vstupního a výstupního signálu

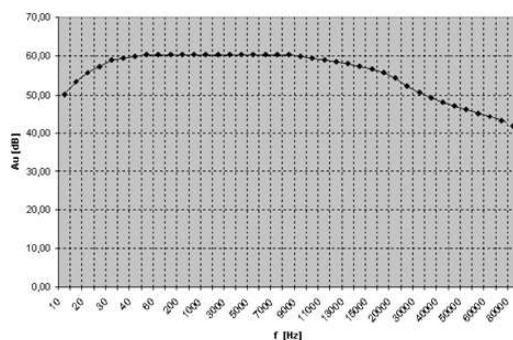
Připojíme-li na vstup zesilovače generátor sinusového signálu, na výstup osciloskop a jemně otáčíme běžcem trimru R_1 , můžeme na obrazovce sledovat změny výstupního signálu. Správné nastavení je takové, kdy jsou obě půlvlny zesíleny bez viditelného zkreslení (prostřední část).

Cvičení Na nepájivém kontaktním poli zapojte jednostupňový zesilovač podle obrázku 6.75. Připojte stabilizovaný zdroj a před jeho zapnutím zkontrolujte, zda-li je výstupní napětí i proud nastaven na minimum. Zapněte zdroj a postupně zvyšujte napětí až na požadovanou hodnotu 9 V. Sledujte odběr zesilovače, který by neměl překročit hodnotu 2 mA. Trimrem R_1 nastavte v kolektoru tranzistoru napětí 4,5 V.



Obrázek 6.75: Schéma zapojení měřících přístrojů

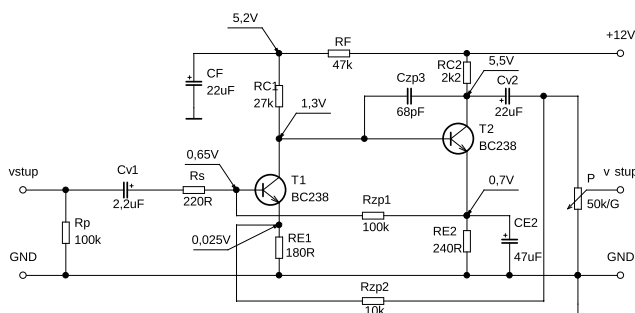
1. Na vstup připojte sinusový generátor a nastavte jeho výstupní napětí na 100 mV a kmitočet na 1 kHz.
2. Na výstup připojte osciloskop a zkontrolujte přítomnost a tvar výstupního napětí.
3. Postupně zvyšujte napětí generátoru, až dojde k limitaci (objeví se zkreslení).
4. Jemným doladěním trimru R_1 při postupném zvyšování výstupního napětí generátoru nastavte co největší nezkreslené výstupní napětí.
5. Pomocí milivoltmetru nebo osciloskopu změřte vstupní a výstupní napětí a vypočítejte napěťové zesílení. Jako milivoltmetru nelze použít běžný digitální multimetr, protože ten je zpravidla určen jen pro měření technických kmitočtů do 50 až 100 Hz.
6. Napětí generátoru snižte na polovinu.
7. Postupně snižujte a poté zvyšujte kmitočet generátoru při zachování stejného napětí. Měřte výstupní napětí zesilovače. Naměřené hodnoty zapisujte do tabulky. Pokračujte tak dlouho, dokud zesílení neklesne o 3 dB.
8. Z naměřených hodnot nakreslete kmitočtovou charakteristiku zesilovače (příklad na obrázku 6.76).
9. Postupně měňte hodnoty součástek C_1 , C_2 , C_3 , R_4 , R_5 a zopakujte měření.
10. Naměřené hodnoty porovnejte a pokuste se odůvodnit, jak se provedené změny projeví na parametrech zesilovače.



Obrázek 6.76: Příklad kmitočtové charakteristiky zesilovače

Dvoustupňový zesilovač

Chceme-li dosáhnout vyššího zesílení, než je schopen poskytnout jednostupňový zesilovač, musíme použít více tranzistorů. Nejjednodušší by bylo zapojit dva jednostupňové zesilovače za sebou (výstup prvního se spojí se vstupem druhého). Výsledné zesílení je pak násobkem zesílení jednotlivých stupňů. V praxi se však častěji používá stejnosměrně vázaný dvou nebo vícestupňový zesilovač (obrázek 6.77).



Obrázek 6.77: Dvoustupňový zesilovač

Všimněte si, že báze druhého tranzistoru je přímo spojena s kolektorem předchozího. Zapojení je již podstatně složitější, proto si popíšeme funkci některých součástek.

- R_F a C_F zajišťují dodatečnou filtraci napájecího napětí. Napětí v kolektoru T_1 je poměrně nízké (1,3 V) a kolektorový proud se pohybuje okolo $140 \mu\text{A}$. Zesilovač je tedy určen ke zpracování malého vstupního napětí.
- R_{zp1} a R_{E2} zajišťují nastavení a stabilizaci pracovního bodu obou tranzistorů. C_{E2} filtruje (propouští) střídavé napětí, záporná zpětná vazba nemá tedy vliv na zesílení.
- Rezistor R_S zvyšuje vstupní odpor zesilovače a zároveň zlepšuje stabilitu na nízkých kmitočtech.
- R_{zp2} a R_{E1} vytvářejí (střídavou) zápornou zpětnou vazbu a určují celkové zesílení dle vzorce 6.41.

$$A_U = \frac{R_{zp2}}{R_{E1}} = \frac{10\,000}{180} = 55,55 \quad (6.41)$$

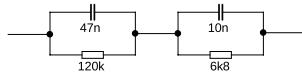
- Použijeme-li místo R_{zp2} kombinaci rezistorů a kondenzátorů, můžeme změnit kmitočtovou charakteristiku zesilovače. Na zesílení má vliv také zatěžovací odpor, který by neměl klesnout pod 50 k Ω .

Zatěžovací odpor určuje potenciometr k regulaci hlasitosti a vstupní odpor následujícího (výkonového) zesilovače.

- Keramický kondenzátor C_{zp3} vytváří další (střídavou) zápornou zpětnou vazbu, která omezuje zesílení vysokých kmitočtů (nad slyšitelným pásmem).
- Logaritmický potenciometr P , připojený na výstup zesilovače, slouží k regulaci hlasitosti.

Cvičení

1. Na nepájivém kontaktním poli zapojte dvoustupňový zesilovač podle obrázku 6.77.
2. Připojte stabilizovaný zdroj a před jeho zapnutím zkontrolujte, zdali je výstupní napětí i proud nastaven na minimum.
3. Zapněte zdroj a postupně zvyšujte napětí až na požadovanou hodnotu 12 V. Sledujte odběr zesilovače, který by neměl překročit hodnotu 3 mA.
4. Pomocí stejnosměrného voltmetru překontrolujte velikosti napětí uvedené ve schématu. K měření použijte voltmetr s dostatečným vstupním odporem (běžný digitální multimetr) a zápornou svorku připojte k nulovému potenciálu (GND).
5. Na vstup připojte sinusový generátor a nastavte jeho výstupní napětí na 20 mV a kmitočet na 1 kHz.
6. Na výstup připojte osciloskop a zkontrolujte přítomnost a tvar výstupního napětí.
7. Postupně zvyšujte napětí generátoru, až dojde k limitaci (objeví se zkreslení).
8. Rezistor R_{E2} nahraďte odporovým trimrem hodnoty 470 Ω a nastavte optimálně pracovní bod (limitace signálu musí být symetrická).
9. Snižte napětí generátoru na 5 mV. Změřte zesílení a kmitočtovou charakteristiku zesilovače v rozsahu 10 Hz až 100 kHz.
10. Naměřené hodnoty zapisujte do tabulky.
11. Z naměřených hodnot nakreslete kmitočtovou charakteristiku zesilovače.
12. Rezistor R_{zp2} nahraďte obvodem podle obrázku 6.78 a znovu změřte kmitočtovou charakteristiku.
13. Obě kmitočtové charakteristiky nakreslete do jednoho obrázku, porovnejte je a pokuste se vysvětlit, proč se liší.

Obrázek 6.78: Náhrada za rezistor R_{zp2}

Třístupňový zesilovač

Trojstupňový zesilovač střídavého signálu je zapojen podle obrázku 6.79. Stejnoseměrná záporná zpětná vazba z výstupu na vstup přes odpor R_1 jednak slouží k nastavení stejnosměrného pracovního bodu celého zesilovače (všech tří tranzistorů současně), jednak opět snižuje zesílení zesilovače na hodnotu přibližně dle vzorce 6.42.

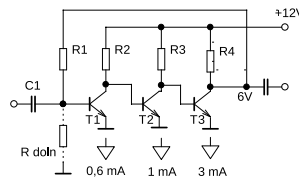
$$K_U = \frac{R_{dolni} \cdot R_1}{R_{dolni}} = 1 + \frac{R_1}{R_{dolni}} \quad (6.42)$$

Dolní odpor děliče je zde tvořen paralelní kombinací dvou odporů (rovnice 6.43).

$$R_{dolni} = \frac{h_{11E} + R_i}{h_{11E} \cdot R_i} \quad [\Omega; -, \Omega] \quad (6.43)$$

kde R_i je vnitřní odpor zdroje signálu a h_{11E} je vstupní odpor tranzistoru.

Poznámka Zavedení zpětné vazby přes tři zesilovací stupně by pravděpodobně způsobilo potíže se stabilitou zesilovače (vznik oscilací na vysokofrekvenčním kmitočtu, při kterém dojde k otočení fáze signálu celkově o 180°). Stabilitu by bylo nutno řešit kmitočtovou korekcí a omezením zesílení na vysokých kmitočtech některého ze tří tranzistorů (např. zapojením korekční kapacity mezi $C-B$), to však není předmětem řešení v této úloze.



Obrázek 6.79: Trojstupňový zesilovač s tranzistory NPN

Zadáno

- Zadání podle obrázku 6.79, $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$, $U_{CC} = 12 \text{ V}$.
- Zanedbejte bázové proudy I_{B1} , I_{B2} , I_{B3} .
- Proud I_{B1} uvažujte pouze při výpočtu odporu R_1 .
- Napětí 6 V v obrázku je měřeno proti zemi.
- Tranzistor T_1 má zesilovací činitel $h_{21E} = 300$.

Určete

- Kolektorová napětí U_{CE1} , U_{CE2} ,
- Proud I_{B1} .
- Odporů R_1 , R_2 , R_3 , R_4 .

Řešení $U_{CE1} = U_{BE2} = 0,6\text{ V}$, $U_{CE2} = U_{BE2} = 0,6\text{ V}$, kolektorová napětí jsou pevně definovaná napětími následujících přechodů $B-E$. Všimněme si, že kolektorová napětí jsou malá. To nevádí, pokud budou oba první tranzistory pracovat s malým rozkmitem signálu. Napětí U_{CE3} je nastaveno na polovinu napájecího napětí, zde už může být rozkmit signálu velký.

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{21E}} = \frac{0,6\text{ mA}}{300} = 0,2\text{ }\mu\text{A} \quad (6.44)$$

$$R_1 = \frac{6\text{ V} + 0,6\text{ V}}{I_{B1}} = \frac{6\text{ V} + 0,6\text{ V}}{2\text{ }\mu\text{A}} = 2,7\text{ M}\Omega \quad (6.45)$$

$$R_2 = \frac{12\text{ V} + 0,6\text{ V}}{I_{C1}} = \frac{12\text{ V} + 0,6\text{ V}}{0,6\text{ mA}} = 19\text{ k}\Omega \quad (6.46)$$

$$R_3 = \frac{12\text{ V} + 0,6\text{ V}}{I_{C2}} = \frac{12\text{ V} + 0,6\text{ V}}{1\text{ mA}} = 11,4\text{ k}\Omega \quad (6.47)$$

$$R_4 = \frac{12\text{ V} + 0,6\text{ V}}{I_{C3}} = \frac{12\text{ V} + 0,6\text{ V}}{3\text{ mA}} = 2\text{ k}\Omega \quad (6.48)$$

6.8.7 Operační zesilovače

Zesilovač pracuje se zápornou zpětnou vazbou, která omezuje zesílení. Jeho převodní charakteristika se skládá ze tří částí:

- lineární část, kde platí vztah 6.49

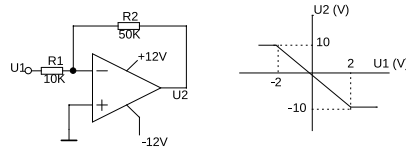
$$U_2 = A_U \cdot U_1 \quad [\text{V}; -, \text{V}] \quad (6.49)$$

- kladná a záporná saturace, kde U_2 závisí pouze na velikosti napájecího napětí.

Základní zapojení zesilovačů

- Invertující zesilovač v symetrickém napájení otáčí polaritu vstupního napětí podle rovnice 6.50 (obrázek 6.80. Při vstupním napětí $U_1 = \pm 2\text{ V} \cdot (\frac{10}{5})$ dochází k zalimitování vstupní signálu.

$$A_U = -\frac{R_2}{R_1} \quad [-; \Omega, \Omega] \quad (6.50)$$



Obrázek 6.80: Invertující zesilovač v symetrickém zapojení

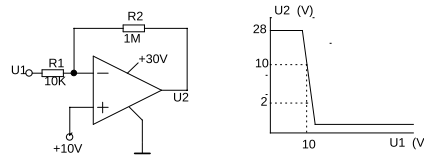
- Invertující zesilovač (obrázek 6.81 v nesymetrickém zapojení s umělou nulou (+10 V), která nemusí být přesně v polovině napájecího napájení. Při střídavém vstupním napětí bude záporná půlvlna výstupního napětí dříve limitovaná podle rovnice 6.51.

$$A_u = 100 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad [-; \Omega, \Omega] \quad (6.51)$$

Převodní charakteristika prochází bodem [10; 10]. Tehdy je na obou vstupech a na výstupu stejné napětí. Převodní charakteristika se při velkém zesílení blíží charakteristice komparátoru. K limitaci dochází při napětí určeném rovnicemi 6.52 a 6.53

$$+U_1 = 10 + \frac{28 - 10}{100} = 10 - 0,18 = 9,82 \text{ V} \quad (6.52)$$

$$-U_1 = 10 + \frac{10 - 2}{100} = 10 - 0,08 = 10,08 \text{ V} \quad (6.53)$$



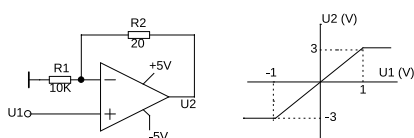
Obrázek 6.81: Invertující zesilovač v nesymetrickém zapojení

- Neinvertující zesilovač v symetrickém zapojení se ziskem 3.

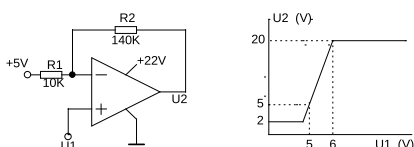
$$A_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad R_2 = 20 \text{ k}\Omega \quad (6.54)$$

Maximální výstupní napětí je $\pm 3 \text{ V}$. K zalimitování výstupního signálu dochází při vstupním napětí $\pm 1 \text{ V}$. Zápornému vstupnímu napětí odpovídá záporné vstupní napětí, kladnému vstupnímu napětí odpovídá kladné výstupní napětí. Schéma zesilovače je na obrázku 6.82.

- neinvertující zesilovač s nesymetrickým napájením (obrázek 6.83) a se ziskem 15. Převodní charakteristika prochází bodem [5; 5]. Výstupní průběh je limitován pro $U_1 < 4,8 \text{ V}$ a pro $U_1 > 6 \text{ V}$.



Obrázek 6.82: Neinvertující zesilovač v symetrické zapojení

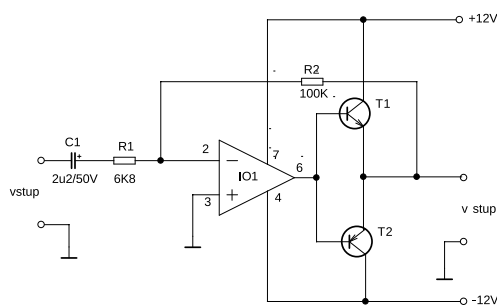


Obrázek 6.83: Neinvertující zesilovač s nesymetrickým zapojením

6.8.8 Nízkofrekvenční zesilovače s OZ

Invertující zapojení OZ

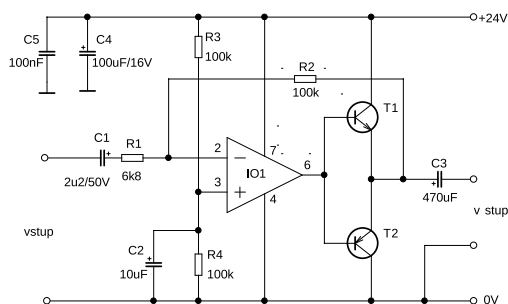
Jedná se o nízkofrekvenční zesilovač v zapojení operačního zesilovače spolu s dvojicí tranzistorů. Tento zesilovač může být zapojen ve dvou různých variantách zapojení. První zapojení (obrázek 6.84) se symetrickým (souměrným) napájením a druhé (obrázek 6.85) s nesymetrickým (nesouměrným) napájením. Výhoda symetrického napájení spočívá v jednoduchosti zapojení při použití menšího počtu součástek než v případě druhém. Nevýhodou je nutnost síťového transformátoru s vyvedeným středem sekundárního vinutí. Obě zapojení mají ovšem stejné parametry. Vstupní signál je přiveden přes vazební kondenzátor C_1 a rezistor R_1 na neinvertující vstup operačního zesilovače. Tento signál je v operačním zesilovači zesílen a přiveden na bázi výkonových tranzistorů T_1 a T_2 . Operační zesilovač funguje jako budič koncových tranzistorů. Koncové tranzistory zesílí signál na potřebnou výstupní úroveň signálu. Celkové zesílení zesilovače jako celku je dáno rezistory R_1 a R_2 . Rezistory R_3 a R_4 je vytvořena umělá nula pro operační zesilovač (platí pouze pro zapojení s nesymetrickým napájením). Výstupní výkon je určen velikostí napájecího napětí a výběrem koncových tranzistorů. Zesilovač není odolný proti zkratu na výstupu.



Obrázek 6.84: Zapojení invertujícího zesilovače se symetrickým napájením

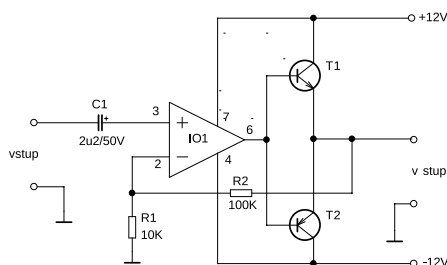
Neinvertující zapojení OZ

Rovněž se jedná o nízkofrekvenční zesilovač v zapojení operačního zesilovače spolu s dvojicí tranzistorů. Tyto zesilovače mohou být zapojeny ve dvou různých variantách zapojení.

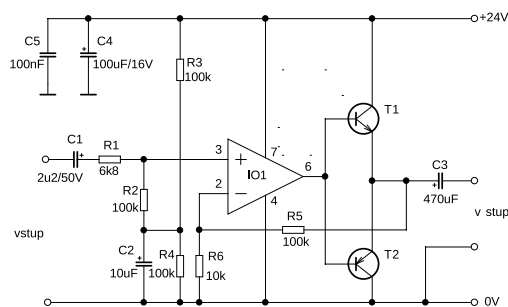


Obrázek 6.85: Zapojení invertujícího zesilovače s nesymetrickým napájením

První zapojení (obrázek 6.86) se symetrickým (souměrným) napájením a druhé (obrázek 6.87) s nesymetrickým (nesouměrným) napájením. Funkce prvků je obdobná jako v předchozím případě.



Obrázek 6.86: Zapojení neinvertujícího zesilovače se symetrickým napájením



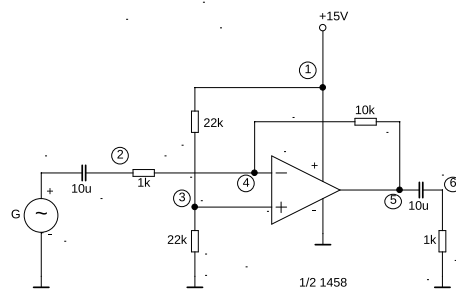
Obrázek 6.87: Zapojení neinvertujícího zesilovače s nesymetrickým napájením

Úloha

U zesilovače z obrázku 6.88 zjistěte stejnosměrná a střídavá napětí ve všech uzlech oproti zemi.

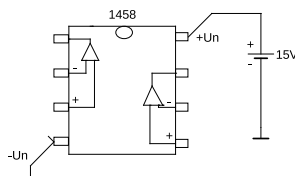
Pokyny k zadání

- PC: Obvody analyzujte simulačním programem.



Obrázek 6.88: Zesilovač k úloze

- LC: Zapojení realizujte na kontaktním nepájivém poli. Nejprve zajistěte stejnosměrné napájení operačních zesilovačů podle obrázku a teprve pak zapojujte ostatní součástky.

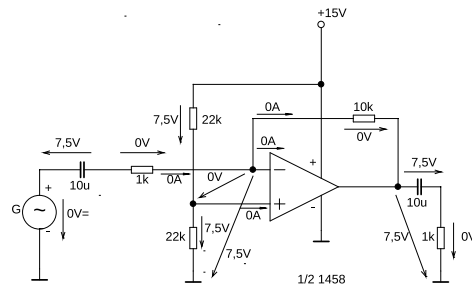
Obrázek 6.89: Zapojení μA 1458

- PC: Zvolte nesymetrické stejnosměrné napájení operačního zesilovače (viz obrázek 6.89). Vypočtěte stejnosměrná napětí ve všech uzlech oproti zemi (analýza „Dynamic DC“). V druhé fázi časové průběhy napětí na všech uzlech, má-li napětí generátoru G amplitudu 1 V a kmitočet 1 kHz (analýza „Transient“). V třetí fázi zobrazte kmitočtové charakteristiky (analýza „AC“) přenosů napětí do jednotlivých uzlů. Vyhodnoťte podle pokynů učitele.
- LC: Zapojte nesymetrické stejnosměrné napájení OZ. Odpojte generátor signálu G a vstupní bránu zkratujte. Multimetrem změřte stejnosměrná napětí uzlů 1 až 6 oproti zemi, srovnajte s hodnotami z přípravy a z PC.

Odstraňte zkrat vstupní brány a připojte generátor harmonického napětí o kmitočtu asi 1 kHz. Na první kanál osciloskopu přiveďte napětí z generátoru, na druhý kanál napětí na uzlu 5. Zapněte zobrazení stejnosměrné složky. Napětí generátoru nastavte tak, aby výstupní napětí nevykazovalo ořezávání v důsledku saturace OZ. Změřte velikost vstupního a výstupního napětí a určete střídavé zesílení. Postupně zobrazujte napětí na uzlech 1 až 6 a proveďte jejich náčrt pro srovnání do jediného grafu. Dbejte na dodržování měřítek, zakreslete správně stejnosměrná posunutí jednotlivých signálů. Snažte se o detailní pochopení funkce obvodu.

Rozebory a návrhy – Střídavý zesilovač s nesymetrickým napájením

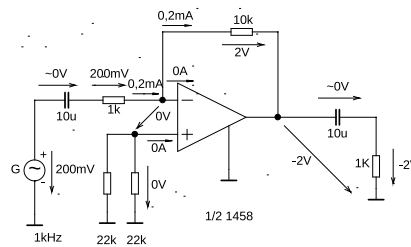
- Analýza stejnosměrných poměrů – obrázek 6.90



Obrázek 6.90: Stejnoseměrné poměry v zesilovači s nesymetrickým napájením

V obvodu působí záporná zpětná vazba (odpor $10\text{ k}\Omega$ z výstupu na invertující vstup OZ). Proto je možné pokládat diferenční napětí mezi vstupy OZ za nulové. Na každém z rezistorů $22\text{ k}\Omega$, které tvoří nezatížený dělič napětí, je polovina napájecího napětí, tj. $7,5\text{ V}$. V důsledku nulového diferenčního napětí je toto napětí i mezi invertujícím vstupem OZ a zemí. Rezistorem $1\text{ k}\Omega$ připojeným k invertujícímu vstupu neteče proud (je v sérii s kondenzátorem), proto je na něm nulové napětí. Proud neteče ani rezistorem $10\text{ k}\Omega$. Výstupní napětí OZ je tedy $7,5\text{ V}$. Celé toto napětí je na „výstupním“ kondenzátoru, na zátěži $1\text{ k}\Omega$ není úbytek napětí, protože zde neteče stejnosměrný proud.

- Analýza střídavých poměrů – obrázek 6.91



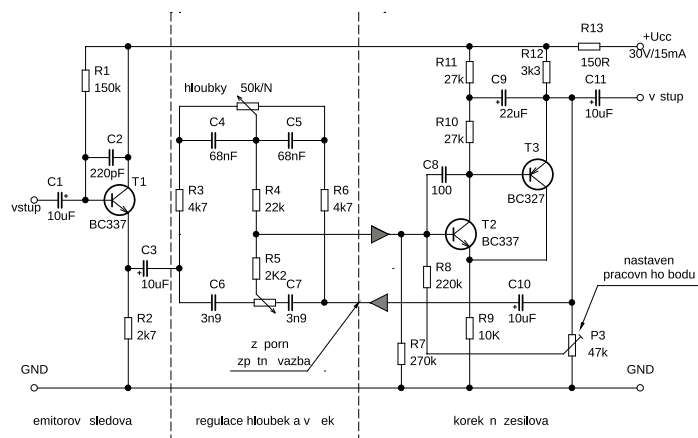
Obrázek 6.91: Střídavé poměry v zesilovači s nesymetrickým napájením

Po vyřazení napájecího zdroje zkratováním dostaneme zjednodušený model na obrázku 6.91. Kapacitě $10\text{ }\mu\text{F}$ odpovídá na kmitočtu 1 kHz reaktance přibližně $16\text{ }\Omega$. Protože oba kondenzátory jsou v sérii s rezistory o odporech $1\text{ k}\Omega$, můžeme úbytky na kondenzátorech zanedbat. Na paralelních rezistorech $22\text{ k}\Omega$ není žádné napětí, protože jimi netečou proudy. Napětí na rezistoru $1\text{ k}\Omega$, připojenému k invertujícímu vstupu OZ, je tedy 200 mV a teče jím proud $0,2\text{ mA}$. Tento proud celý teče do rezistoru $10\text{ k}\Omega$ a vytváří na něm úbytek napětí 2 V . Toto napětí se invertované objeví na výstupu OZ a následně i na zátěži $1\text{ k}\Omega$. Střídavé zesílení stupně je tedy -10 .

6.8.9 Korekční předzesilovače

Korekční zesilovače se používají k úpravě kmitočtové charakteristiky. Korekce jsou buď nastaveny pevně a zesilovače vyrovnávají kmitočtové charakteristiky magnetofonové hlavy nebo magnetodynamické přenosky gramofonu (viz bod 12 cvičení na stránce 59), nebo mají potenciometry a umožňují odděleně nastavit zesílení nízkých a vysokých kmitočtů.

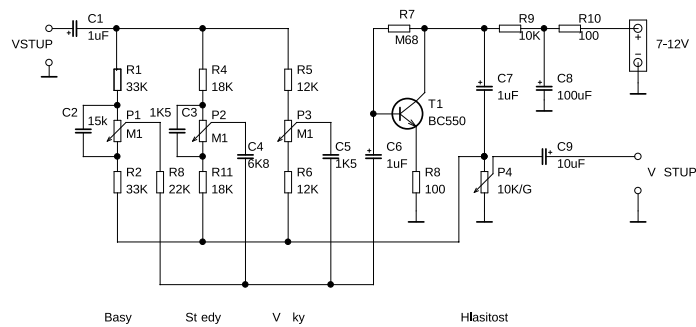
Příklady korekčních předzesilovačů



Obrázek 6.92: Aktivní dvoupásmový korektor s tranzistorem

Cvičení

1. Na nepájivém kontaktním poli zapojte korekční zesilovač podle obrázku 6.92.
2. Připojte stabilizovaný zdroj a před jeho zapnutím zkontrolujte, zdali je výstupní napětí i proud nastaven na minimum.
3. Zapněte zdroj a postupně zvyšujte napětí až na požadovanou hodnotu 30 V. Sledujte odběr zesilovače, který by neměl překročit hodnotu 12 mA.
4. Pomocí trimru P_3 nastavte na kolektoru T_3 napětí 15 V ($\frac{U_{cc}}{2}$).
5. Na vstup připojte sinusový generátor a nastavte jeho výstupní napětí na 100 mV a kmitočet na 1 kHz.
6. Potenciometry P_1 a P_2 nastavte do střední polohy.
7. Na výstup připojte osciloskop a zkontrolujte přítomnost a tvar výstupního napětí.
8. Změřte zesílení a kmitočtovou charakteristiku zesilovače od 20 Hz do 20 kHz.
9. Postupně nastavte P_1 a P_2 do levé a pravé krajní polohy a znovu změřte zesílení a kmitočtovou charakteristiku zesilovače.
10. Naměřené hodnoty zapisujte do tabulky.
11. Z naměřených hodnot nakreslete kmitočtovou charakteristiku (do jednoho grafu zaznamenejte charakteristiky odpovídající střední i krajním polohám potenciometrů P_1 a P_2).



Obrázek 6.93: Třípásmový korektor s tranzistorem

Třípásmový korektor s tranzistorem

Cvičení na tranzistorovém korekčním zesilovači

1. Na nepájivém kontaktním poli zapojte korekční zesilovač dle obrázku 6.93.
2. Připojte napájecí zdroj o napětí 9 V.
3. Změřte odběr, který by neměl přesáhnout hodnotu 10 mA.
4. Na vstup připojte sinusový generátor, jehož výstupní napětí nastavte na 80 mV.
5. Potenciometry P_1 , P_2 , P_3 nastavte do levé krajní polohy, potenciometr P_4 (hlasitost) nastavte do střední polohy.
6. Na výstup zesilovače připojte osciloskop a zkontrolujte přítomnost a tvar výstupního napětí.
7. Změřte zesílení a kmitočtovou charakteristiku zesilovače od 20 Hz do 20 kHz.
8. Postupně nastavte potenciometry P_1 , P_2 , P_3 do pravé krajní polohy a znovu změřte zesílení a kmitočtovou charakteristiku zesilovače.
9. Naměřené hodnoty запиšte do tabulky.
10. Z naměřených hodnot nakreslete kmitočtovou charakteristiku. Jeden graf nakreslete pro levou krajní polohu potenciometrů a druhý graf pro pravou krajní polohu potenciometrů P_1 , P_2 , P_3 .

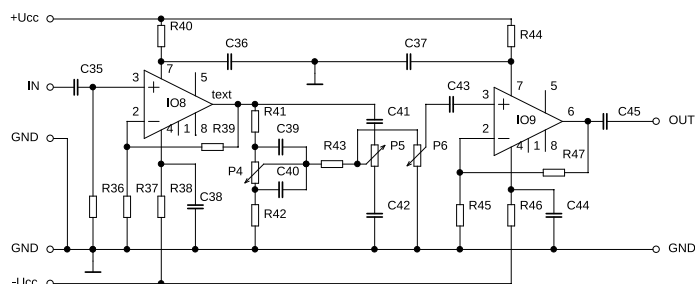
Pasivní korekční zesilovač s obvodu NE5534

U pasivního korektoru je zesílení aktivních prvků zesilovače v celém akustickém pásmu konstantní a korekční obvody jsou zařazeny pouze v přímé cestě nízkofrekvenčního signálu. Korektor obsahuje vstupní a výstupní zesilovače, mezi které jsou zařazeny pasivní korekční obvody a regulátor hlasitosti. Vstupní zesilovač je zapojen s operačním zesilovačem typu NE5534 (IO_8). Nízkofrekvenční signál se přivádí přes oddělovací kondenzátor C_{35} na neinvertující vstup 3 IO_8 . Vstupní odpor korekčního předzesilovače je určen odporem rezistoru R_{36} a je obvyklých 47 k Ω . Zpětná vazba je zavedena děličem s rezistory R_{37} a R_{39} . Jeho dělicím poměrem je nastaveno napěťové zesílení $A_U = 11$. Napájecí vývody IO_8 jsou zablokovány

kondenzátory C_{36} a C_{38} . Vstupní zesilovač také působí jako převodník impedance – jeho malý výstupní odpor je nutný pro správnou funkci následujících korekčních obvodů.

Za vstupním zesilovačem jsou zapojeny pasivní korekční obvody nízkofrekvenčního signálu. Obvod s potenciometrem P_4 koriguje hloubky a obvod s potenciometrem P_5 koriguje výšky. Pokud jsou běžce potenciometrů P_4 a P_5 ve střední poloze, není přenos nízkofrekvenčního signálu korekčními obvody nijak frekvenčně ovlivněn. Jsou-li potenciometry nastaveny mimo střední polohu, uplatní se kmitočtově závislý přenos připojených článků RC a hloubky nebo výšky jsou zdůrazněny nebo potlačeny. V krajních polohách běžců potenciometrů lze na kmitočtech 100 Hz a 10 kHz dosáhnout změny asi ± 10 dB proti přenosu na kmitočtu 1 kHz. Zlomový kmitočet pro korekci hloubek je určen kapacitou kondenzátoru C_{39} a C_{40} , regulační rozsah je omezen rezistory R_{41} a R_{42} . Zlomový kmitočet pro regulaci výšek je určen kapacitou kondenzátorů C_{41} a C_{42} . Rezistor R_{43} zabraňuje vzájemnému ovlivňování korekčních obvodů. Z korekčních obvodů je nízkofrekvenční signál veden na regulátor hlasitosti – logaritmický potenciometr P_6 . Z regulátoru hlasitosti signál postupuje do výstupního zesilovače, jehož úlohou je vyrovnat ztráty zesílení v pasivních korekčních obvodech. Výstupní zesilovač je rovněž zapojen s OZ typu NE5534 (IO_9) a má zesílení $A_U = 11$. Zesílení je určeno zpětnovazebním děličem s rezistory R_{45} a R_{47} . Napájecí vývody jsou zablokovány kondenzátory C_{37} a C_{44} . Z výstupního zesilovače signálu dále vede k dalšímu zpracování třípásmové aktivní výhybce.

Doporučené napájení dle výrobce OZ NE5534 je ± 12 V až ± 15 V. V napájecích větvích jsou vřazeny oddělovací rezistory R_{38} , R_{40} a R_{44} , R_{46} . Při oživování zkontrolujeme stejnosměrné napětí vůči zemi na výstupech všech OZ, které by mělo být přibližně nulové, napájecí proud, který by měl být v každé větvi asi 10 mA. Schéma obvodu je na obrázku 6.94.



Obrázek 6.94: Dvoupásmový korektor s OZ

Tabulka 6.7: Seznam součástek korekčního předzesilovače

R36	56 k Ω
R37, R42, R45	1 k Ω
R38, R40, R44, R46	22 k Ω
R39, R43, R47	10 k Ω
R41	4,7 k Ω
P4, P5	100 k Ω /N
P6	50 k Ω /G
C35, C43, C45	470 nF
C36, C37, C38, C44	100 nF
C39, C40	33 nF
C41	2,2 nF
C42	10 nF
IO8, IO9	NE5534

Cvičení

1. Na nepájivém kontaktním poli zapojte korekční zesilovač podle obrázku 6.7.
2. Připojte stabilizovaný zdroj souměrného napětí a před jeho zapnutím zkontrolujte, zdali je napájecí napětí i proud nastaven na minimum.
3. Zapněte zdroj a postupně zvyšujte napětí až na požadovanou hodnotu ± 15 V. Sledujte odběr zesilovače, který by neměl překročit v každé větvi hodnotu 10 mA.
4. Na vstup připojte sinusový generátor a nastavte jeho výstupní napětí na 100 mV a kmitočet na 1 kHz.
5. Potenciometry P_4 a P_5 nastavte do střední polohy a P_6 na maximum (doprava).
6. Na výstup připojte osciloskop a zkontrolujte přítomnost a tvar výstupního napětí.
7. Změřte zesílení a kmitočtovou charakteristiku zesilovače od 20 Hz do 20 kHz.
8. Postupně nastavte P_4 a P_5 do levé a pravé krajní polohy a znovu měřte zesílení na dále uvedených kmitočtech.
9. Naměřené hodnoty zapisujte do tabulky pro hodnoty z vyvolené řady kmitočetů – 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz a 20 kHz.
10. Z naměřených hodnot nakreslete kmitočtovou charakteristiku (do jednoho grafu zaznamenejte charakteristiky odpovídající střední i krajním polohám potenciometrů P_4 a P_5).

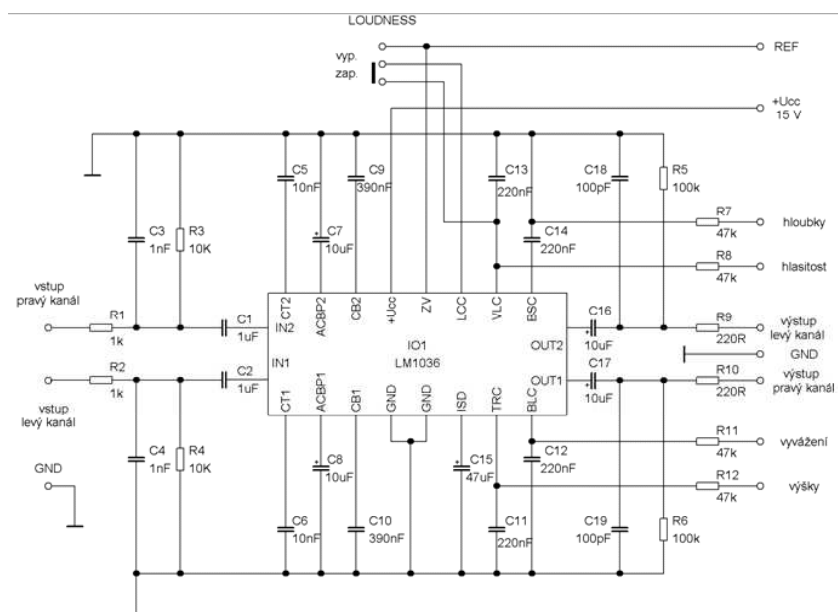
V korekčních zesilovačích se často používá speciálních integrovaných obvodů. K výhodám patří jednoduchá konstrukce, malé rozměry a možnost současné regulace levého i pravého kanálu stejnosměrným napětím. Není tedy třeba používat dvojitých (tandemových) potenciometrů a po přidání řídicího obvodu je možné využít dálkového ovládání. Příklad jednoduchého korekčního zesilovače najdete na obrázku 6.95.

Přepínač označený jako *LOUDNESS* zapíná tzv. fyziologickou regulaci hlasitosti. Na výstupu *REF* je stabilizované napětí 5,3 V, které je možné použít pro připojení regulačních potenciometrů. Střední kmitočet pro regulaci výšek určují kondenzátory C_5 a C_6 , pro hloubky C_9 a C_{10} . Korekční zesilovač umožňuje regulaci zesílení, hloubek, výšek a vyvážení kanálů. Korekční zesilovač dosahuje velmi dobrých parametrů (nelineární zkreslení 0,06 % při $f = 1$ kHz a $U_{vst} = 0,3 V_{rms}$). Obdobné integrované obvody pro řízení hlasitosti, vyvážení, korekcí jsou například TDA1524, TDA4292 apod.

6.8.10 Výkonové zesilovače – tranzistorové, integrované

Mají za úkol nízkofrekvenční signál jmenovité úrovně výkonově zesílit s poměrně dobrou účinností, tak aby mohl být elektrický signál přeměněn na akustický v elektroakustických měničích (reproduktorech). Kvalitní výkonový zesilovač by měl mít:

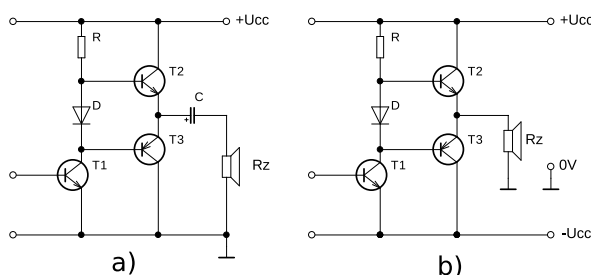
- lineární frekvenční charakteristiku
- konstantní výkon v celém kmitočtovém pásmu



Obrázek 6.95: Integrovaný korekční zesilovač

- minimální nelineární zkreslení
- velký odstup cizích napětí

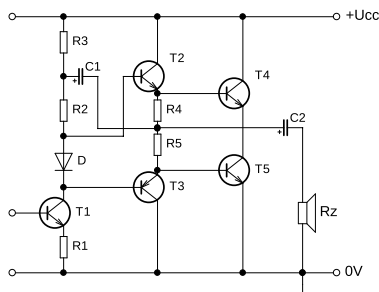
Ke konstrukci výkonových koncových zesilovačů lze použít výkonové bipolární nebo unipolární tranzistory nebo výkonové integrované obvody. Účinnost je definována jako poměr mezi užitečným výkonem, odevzdaným do zátěže a přivedeným výkonem z napájení (příkonem). Vyšší účinnost koncového stupně snižuje nároky na chlazení (ztrátový výkon je menší). Napájecí zdroj výkonového zesilovače musí být dostatečně výkonově dimenzován. Koncové zesilovače s diskretními prvky se zapojují jako zesilovače komplementární a kvazikomplementární. Na obrázku 6.96 je principiální zapojení s komplementárními tranzistory.



Obrázek 6.96: Komplementární zapojení a) nesymetrické napájení; b) symetrické napájení

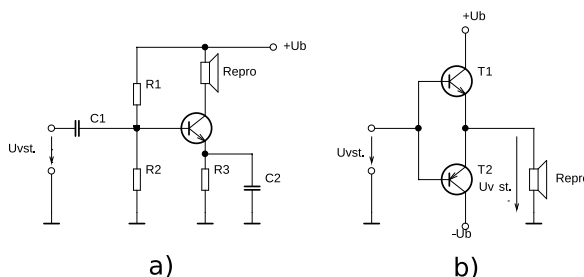
Komplementární zapojení využívá výkonové tranzistory s různou vodivostí (NPN a PNP). Využívá se toho, že vzhledem ke své opačné vodivosti reagují na přivedený signál odlišně. Při kladné půlplně se tranzistor typu NPN otevírá, zatímco tranzistor typu PNP se zavírá. Amplituda výstupního napětí tedy může dosáhnout téměř hodnoty napájecího napětí. Napájecí napětí může být symetrické nebo nesymetrické. Při nesymetrickém napájení musí být použitý vazební kondenzátor s velkou kapacitou. Galvanická vazba ohrožuje koncový tranzistor

při poruše koncového stupně. Na obrázku 6.97 je principiální kvazikomplementární zapojení. Výkonové tranzistory jsou stejné vodivosti a musí být buzeny v protifázi z budiče s komplementárními tranzistory malého výkonu.



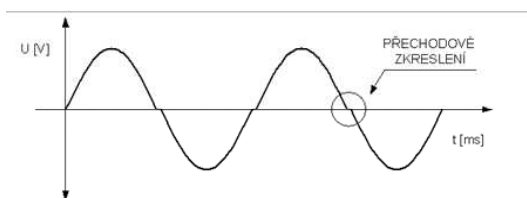
Obrázek 6.97: Principiální kvazikomplementární zapojení koncového zesilovače

Zapojení koncových stupňů zesilovačů se liší hlavně nastavením klidového pracovního bodu.



Obrázek 6.98: a) jednočinné zapojení ve třídě A; b) dvoučinné zapojení ve třídě B

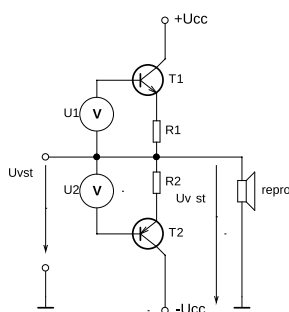
Jednočinné zapojení ve třídě A má zátěž (reproduktor) zapojen v obvodu kolektoru a protéká jí celý klidový proud tranzistoru, který je nastaven na $1/2$ špičkového I_C . Výhodou je velmi malé zkreslení, nevýhodou malá účinnost a malý výstupní výkon a trvalý stejnosměrný proud zátěží. Ve dvočinném zapojení lze zvýšit účinnost až na 25 %. Dvočinné zapojení komplementárních (NPN – PNP) emitorových sledovačů ve třídě B má symetrické napájení, tranzistory pracují bez předpětí a zátěž je připojena přes spojené emitory na zem. Každý z tranzistorů zesiluje jen jednu půlvlnu vstupního signálu. Vlivem chybějícího předpětí se tranzistory začnou otevírat až od napětí asi 0,5 V mezi B–E a při malém vstupním signálu se projevuje velké nelineární zkreslení, které označujeme jako přechodové zkreslení.



Obrázek 6.99: Přechodové zkreslení

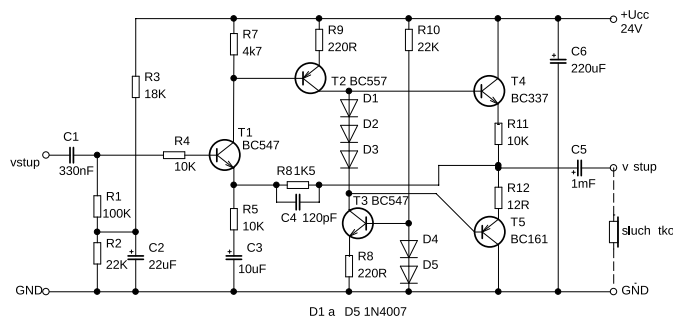
Pro snížení přechodového zkreslení musí tranzistory téct malý klidový proud (25 až 150 mA), který linearizuje pracovní charakteristiku. Zavádíme předpětí přechodu B–E, pak zesilovač

pracuje ve třídě AB a účinnost se pohybuje kolem 70 %. Příklad zapojení je na obrázku 6.101.



Obrázek 6.100: Principiální zapojení dvojčinného zesilovače ve třídě AB

Potřebné předpětí báze můžeme vytvořit zapojením křemíkové diody do budícího obvodu. V následujícím zapojení na obrázku 6.101 je toto napětí vytvářeno na diodách D_1 až D_3 , zapojených v propustném směru a napájených ze zdroje proudu tvořeného tranzistorem T_3 a diodami D_4 a D_5 . Ve složitějších zapojeních bývá možnost nastavení pomocí odporového trimru klidový proud přesně nastavit a diody nebo tranzistor, které klidový proud určují, bývají montovány na společném chladiči s koncovými tranzistory. Tím je zabezpečena teplotní stabilita klidového proudu.



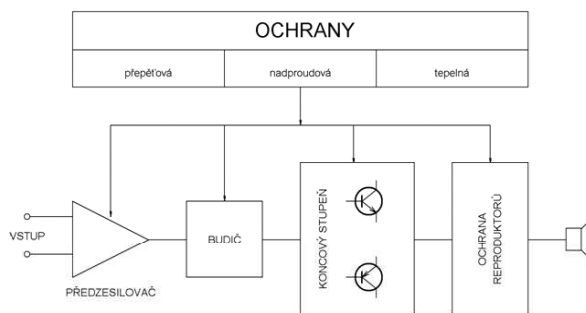
Obrázek 6.101: Příklad zapojení koncového tranzistorového zesilovače

6.8.11 Integrované obvody pro koncové zesilovače

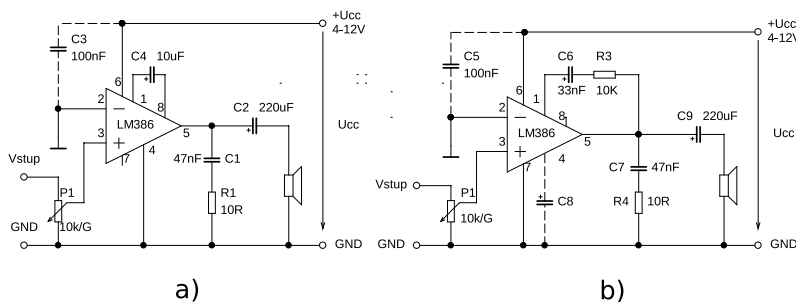
V katalogu součástek nalezneme celou řadu integrovaných obvodů, určených pro koncové zesilovače. Kromě ceny se liší také svými parametry a oblastí použití. Ke své činnosti vyžadují minimum dalších součástek, a proto již podstatě vytlačily „klasická“ zapojení s diskretními součástkami. Následuje obecné blokové schéma integrovaného obvodu (obrázek 6.102) určeného pro nízkofrekvenční koncový zesilovač. Ochrany nejsou běžným doplňkem všech integrovaných obvodů a jejich rozsah a druh závisí na použitém typu.

Jako příklad byl vybrán velmi rozšířený integrovaný obvod LM386, často používaný zejména v bateriových přístrojích nebo jednoduchých zesilovačích malého výkonu. Na obrázcích 6.103 je zapojení pouzdra a vnitřní schéma zapojení.

Obrázek 6.103a – Základní zapojení doporučené výrobcem – kondenzátor C_3 slouží k dodatečné filtraci napájecího napětí pro vyšší kmitočty a zabraňuje rozkmitání zesilovače, C_4



Obrázek 6.102: Blokové schéma integrovaného koncového zesilovače



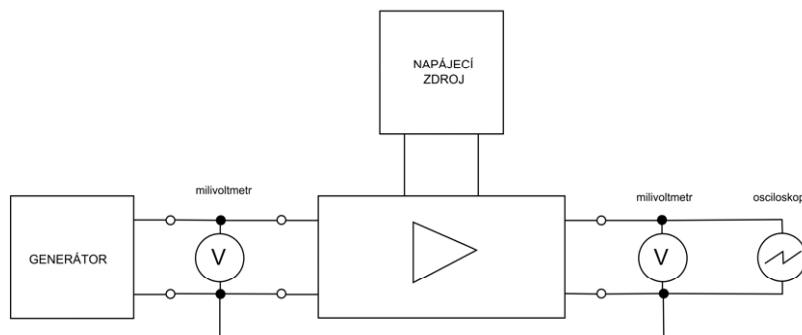
Obrázek 6.103: Základní zapojení obvodu LM386

zvyšuje zesílení na 46 dB (200krát). Sériovým zapojením rezistoru a kondenzátoru mezi vývody 1 a 8 je možné nastavit libovolné zesílení v rozsahu 26 až 46 dB (20krát až 200krát).

Obrázek 6.103b – Připojením C_4 a R_2 se zvýší zesílení nízkých kmitočtů o 6 dB a kompenzuje se tak malá účinnost levných reproduktorů s malým průměrem membrány. Kondenzátor C_5 o doporučené hodnotě $10\ \mu\text{F}$ a označovaný jako bypass působí jako dodatečná filtrace napájecího napětí, a potlačuje vliv změny napájecího napětí.

Cvičení

1. Na nepájivém kontaktním poli zapojte koncový zesilovač podle obrázku 6.103 (bez C_4).
2. Na výstup připojte místo reproduktoru rezistor R_Z hodnoty $8\ \Omega$ s minimální zatížitelností $0,5\ \text{W}$.
3. Připojte stabilizovaný zdroj a před jeho zapnutím zkontrolujte, zdali je výstupní napětí i proud nastaven na minimum.
4. Zapněte zdroj a postupně zvyšujte napětí až na požadovanou hodnotu $6\ \text{V}$. Sledujte odběr zesilovače, který by neměl překročit hodnotu $8\ \text{mA}$.
5. Měřicí přístroje zapojte podle schématu 6.104.
6. Na vstup připojte sinusový generátor a nastavte jeho výstupní napětí na $50\ \text{mV}$ a kmitočet na $1\ \text{kHz}$.
7. Na výstup připojte osciloskop a zkontrolujte přítomnost a tvar výstupního napětí.



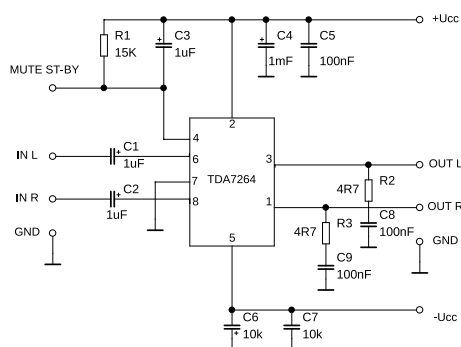
Obrázek 6.104: Blokové schéma zapojení pro měření na koncovém zesilovači

8. Postupně zvyšujte napětí generátoru, dokud nebude patrné zkreslení výstupního signálu.
9. Změřte výstupní napětí, vypočítejte zesílení a výstupní výkon.
10. Vypočtené hodnoty porovnejte s údaji výrobce uvedenými v tabulce.
11. Napětí generátoru snižte na 5 mV, připojte C_4 a opakujte body 8 až 10.
12. Připojte C_4 a R_2 podle obrázku 6.103b) a změřte kmitočtovou charakteristiku zesilovače. Napětí generátoru musí být nastaveno tak, aby na osciloskopu nebylo patrné zkreslení.
13. Z naměřených hodnot nakreslete kmitočtovou charakteristiku.
14. Připojte kondenzátor C_5 hodnoty $10 \mu\text{F}$, snižte napájecí napětí o 1 V a změřte potlačení změny napájecího napětí. Provedete to tak, že změříte výstupní napětí při $U_{CC} = 6 \text{ V}$ a $U_{CC} = 5 \text{ V}$ a naměřené hodnoty dosadíte do vzorce 6.55.

$$P_Z = 20 \log \frac{U_{21}}{U_{22} - U_{23}} \quad [\text{dB}; \text{V}, \text{V}, \text{V}] \quad (6.55)$$

- P_Z – potlačení změny napájecího napětí – dB
- U_{21} – výstupní napětí při $U_{CC} = 6 \text{ V}$
- U_{22} – výstupní napětí při $U_{CC} = 5 \text{ V}$

Výrobci nabízejí celou řadu různých integrovaných obvodů pro koncové zesilovače, které se liší výstupním výkonem, napájecím napětím i dalšími parametry. V jednom pouzdře mohou být jeden až čtyři samostatné zesilovače. Na obrázku 6.105 je zapojení integrovaného obvodu TDA7264 v pouzdře Multiwatt 8 s osmi vývody v jedné řadě, který je schopen dodat výkon až dvakrát 25 W při napájecím napětí $\pm 20 \text{ V}$. Je vhodný pro kvalitní výkonové zesilovače (například v televizních přijímačích). Podle velikosti napětí přivedeného na vývod číslo 4 můžeme využít funkce MUTE (umlčení), je-li toto napětí o 6 V menší než $+U_{CC}$, nebo funkce STAND-BY (pohotovostní režim), kdy odběr klesne až na 3 mA, je-li napětí menší o 2,5 V než $+U_{CC}$. V následujícím zapojení je vývod číslo 4 spojen přes rezistor R_1 a kondenzátor C_3 s kladným napájecím napětím. Během nabíjení kondenzátoru zesilovač postupně přechází



Obrázek 6.105: Doporučené zapojení obvodu TDA7264

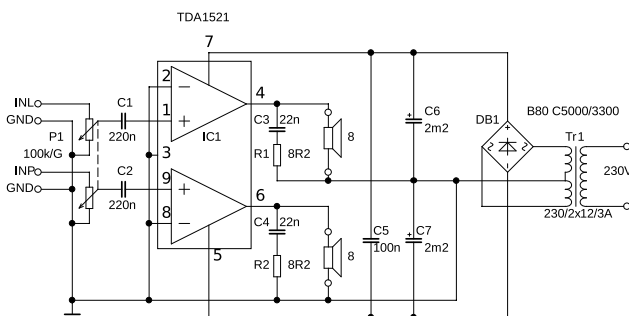
z režimu MUTE do provozního a jsou tak odstraněny nepříjemné zvuky (lupání v reproduktorech) po zapnutí zesilovače. Nadále však zůstává možnost ovlivnit napětí na vývodu číslo 4 například pomocí dálkového ovládání.

Jak je z obrázku 6.105 patrné, zesilovač ke své činnosti vyžaduje minimum dalších součástek a celé zapojení je velmi jednoduché.

Pozor! Integrovaný obvod musí být i při zkoušení opatřen dostatečně velkým chladičem. Nesmíme také zapomenout, že kovová část integrovaného obvodu, sloužící k jeho upevnění na chladič, je spojena se záporným pólem napájení ($-U_{CC}$).

Stereofonní zesilovač s obvodem TDA1521

Integrovaný obvod TDA1521 umožňuje konstrukci HI-FI stereofonního zesilovače o výkonu přibližně 2×12 W s poměrně malými náklady. Je zde i tepelná ochrana a ochrana proti zkratu na výstupu. Doporučená zatěžovací impedance obvodu TDA1521 je 8Ω . Schéma zesilovače je na obrázku 6.106.



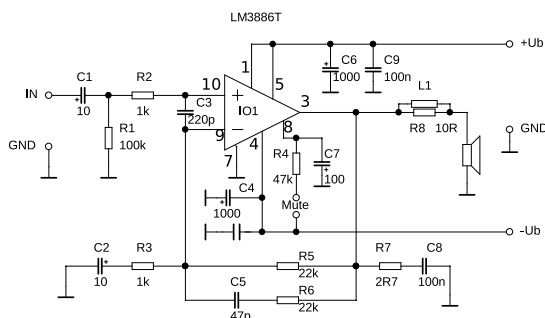
Obrázek 6.106: Schéma zesilovače s obvodem TDA1521

Signál přivádíme na tandemový potenciometr P_1 , z jehož běžců se přes vazební kondenzátory dostane na vstupy integrovaného obvodu. Běžné Boucherotovy členy $C_3 - R_1$ a $C_4 - R_2$ zabraňují rozkmitání zesilovače. Tento zesilovač vyžaduje symetrické napájecí napětí. Kondenzátor C_5 blokuje obě větve napájecího napětí, zatímco filtrační kondenzátory filtrují usměrněné napětí. Usměrnění zajišťuje diodový můstek DB_1 , schopný dodat špičkový napájecí proud až 5 A. K napájení zesilovače slouží externí síťový transformátor se sekundárním symetrickým vinutím s vyvedeným středem.

Pozor! Tento chladič by měl být připojen přes izolační slídovou podložku. V případě, že ji nepoužijete, je třeba počítat s tím, že na chladiči bude záporné napájecí napětí (chladič je spojen s živým vývodem číslo 5).

Zesilovač 60 W s obvodem LM3886T

Jedná se o zesilovač s trvalým výstupním výkonem 60 W do zátěže $4\ \Omega$, špičkově dosahuje jeho výkon hodnoty až 150 W. Pro stereofonní verzi je opět třeba použít dvojice stejných zesilovačů. Je použit integrovaný obvod LM3886T firmy National Semiconductors. Celkové harmonické zkreslení při plném výkonu nepřesahuje hodnotu zkreslení 0,06 %. K dalším jeho přednostem patří řada vnitřních ochranných obvodů, jako např. ochrana před zvýšeným i sníženým napájecím napětím, dále proti zkratu výstupu na zem nebo na napájecí napětí a proti teplenému kolapsu kterékoliv aktivní součástky obvodu. Vstupní signál je připojen přes vazební kondenzátor C_1 , vstupní impedanci upravují rezistory R_1 , R_2 . Kondenzátor C_3 se sériovou kombinací R_7 , C_8 (což je známý Boucherotův člen) na výstupu zabraňují rozkmitání zesilovače na vyšších kmitočtech. Podobnou funkci – zvýšení stability zapojení má paralelní kombinace L_1 , R_8 , se kterou se setkáme u všech výkonnějších zesilovačů. Člen C_2 , R_3 určuje dolní mezní kmitočet zesilovače, který je okolo 16 Hz, zatímco horní mezní kmitočet – přibližně 150 kHz je určen sériovou zpětnovazební kombinací C_5 , R_6 . Kondenzátory C_6 a C_9 , jakož i C_4 , C_{10} dodatečně filtrují napájecí napětí obvodu. Rezistor R_4 je volen tak, aby při umlčení obvodu protékal zesilovačem proud asi 0,5 mA. Schéma zapojení zesilovače 60 W je na obrázku 6.107.



Obrázek 6.107: Schéma zesilovače s obvodem LM3886T

Umlčovací obvod, označený jako „Mute“, zabraňuje nepříjemným nárazům v reproduktorech při zapnutí nebo vypnutí zesilovače. Jediná součástka, kterou si musíme vyrobit, je cívka L_1 . Je navinuta smaltovaným měděným drátem o průměru 0,6 mm a to přímo na tělíčko rezistoru R_8 . Cívka má asi 10 závitů, které vineme těsně závit vedle závitu. Vývody cívky připájíme k vývodům rezistoru. Bez chladiče zesilovač vůbec nezapínejte! Mezi chladič a pouzdro integrovaného obvodu je třeba umístit izolační podložku, styčné plochy potřete jemně silikonovou vazelinou pro lepší přestup tepla. Existuje celá řada integrovaných výkonových zesilovačů. Vyjmenujme alespoň část běžně používaných obvodů.

Integrovaných výkonové zesilovače jsou například:

- LM4752T – NF zesilovač $2 \times 11\ \text{W}$
- TA8220 – TOSHIBA NF zes. $2 \times 30\ \text{W}$
- TBA820 – koncový zesilovač 1,5 W

- TDA1515BQ – NF zesilovač 2×11 W / 24 W
- TDA2003 – NF koncový zesilovač 10 W
- TDA2030A – NF zesilovač 18 W
- TDA2040 – NF koncový zesilovač 20 W
- TDA2050 – NF koncový zesilovač 32 W
- TDA2052 – NF zesilovač 65 W
- TDA8560Q – NF zesilovač 2×40 W / 18 V
- TDA8561 – NF zesilovač
- TDA8571J – NF zesilovač 2×40 W
- MB3735 – FUJITSU zesilovač 2×16 W

Integrované výkonové zesilovače se vyrábějí až do výkonů okolo 100 W. V katalogu se můžeme setkat také s obvody, které pracují ve třídách D, T a dalších. Pro dosažení vyšších výkonů se používají hybridní integrované obvody (až do 200 W) nebo zapojení s tranzistory (až několik kilowattů). V poslední době se opět vracejí zapojení s elektronkami, která se využívají u velmi kvalitních zesilovačů. Hlavní výhodou je přirozenější, tzv. měkčí zvuk. Specifickou oblastí je digitální zpracování zvuku nebo vícekanálové zesilovače, které se využívají v přehrávačích DVD či počítačích. Bývají pěti a více kanálové.

6.8.12 Použití unipolárních tranzistorů v zesilovačích

Unipolární tranzistory mají pouze jeden polovodičový přechod, který tvoří tzv. kanál mezi emitorem a kolektorem. Velikost proudu je závislá pouze na napětí řídicí elektrody, kterým se mění vodivost kanálu. Na rozdíl od bipolárních tranzistorů protéká proud kolektorem i při nulovém napětí na řídicí elektrodě. Jeho velikost se v závislosti na mřížkovém napětí (U_G) pouze zvětšuje nebo zmenšuje.

Při výrobě se využívá dvou základních technologií. U tranzistorů J-FET je řídicí elektroda oddělena polovodičovým přechodem, který je vždy pólován v závěrném směru a neprochází jím tedy téměř žádný proud. Technologie MOSFET využívá kovové řídicí elektrody, oddělené slabou izolační vrstvou oxidu křemičitého (SiO_2). V obou případech hovoříme o tranzistorech řízených elektrickým polem a jejich vstupní odpor je velmi vysoký. To s sebou však přináší riziko zničení tranzistoru elektrostatickým polem. Proto při manipulaci s nimi musíme pracovat velmi opatrně a k pájení přednostně používat mikropájedel.

Přístroje s tranzistory MOSFET ve výkonovém stupni mají převodní charakteristiku dosti podobnou elektronkovým zesilovačům, tudíž je mají mnozí posluchači v oblibě. Avšak postavit dostatečně rychlý a přitom stabilní MOSFETový zesilovač je obtížné a také dosti drahé.

Ke kladům patří především absence druhého průrazu, což je fakt, výrazně se podílejíci na spolehlivosti celého zesilovače. K záporům naopak patří horší dostupnost, vyšší cena, vyšší saturační napětí při plném proudovém vybuzení dané minimálním odporem kanálu a také vyšším napětím U_{GS} potřebným pro plné otevření kanálu. To se projeví na mírně zhoršené účinnosti zesilovače. Dále je problematičtější způsob buzení tranzistorů.

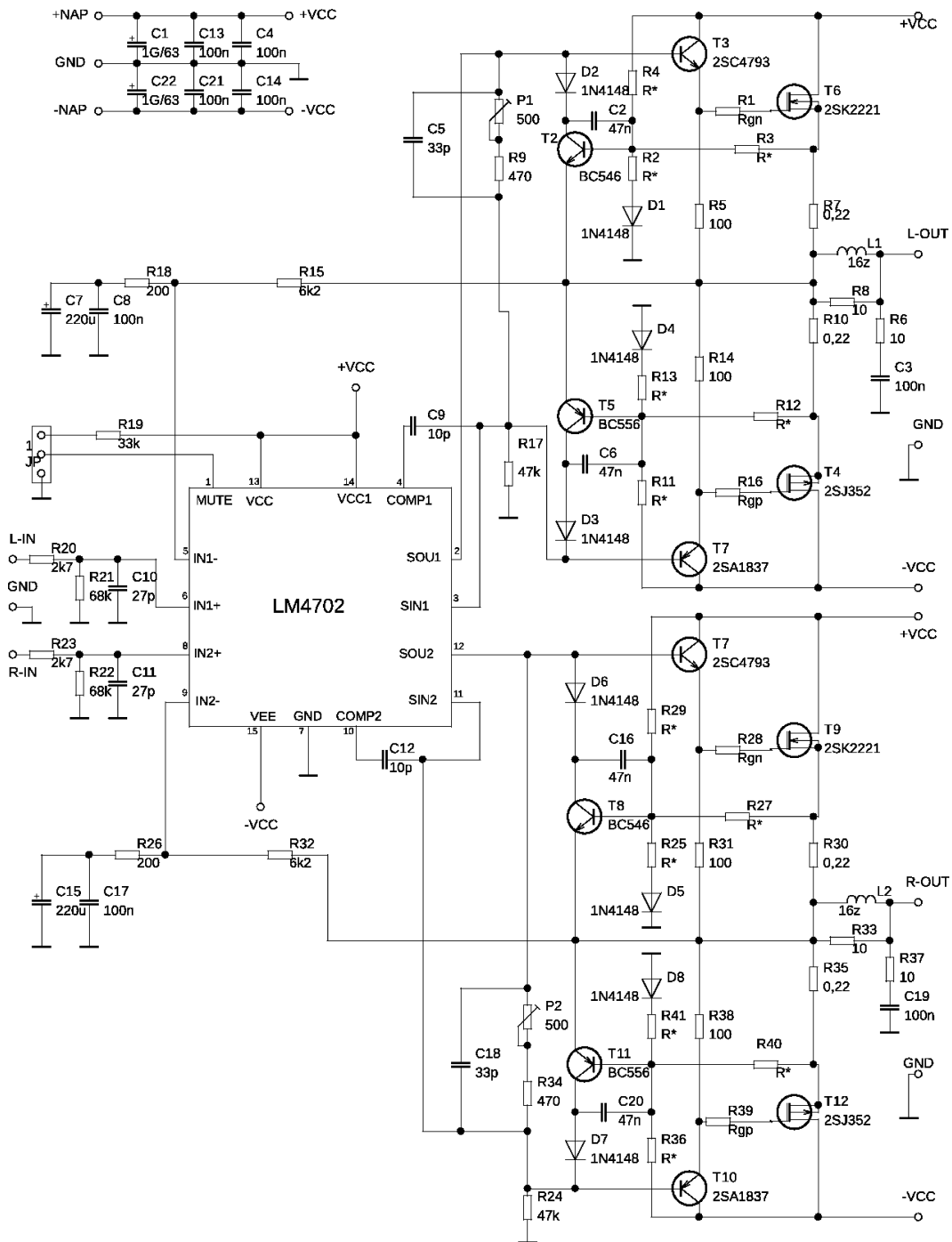
V poslední době se ukázalo, že jednodušší, z hlediska realizace a vyhnutí se některým už zmiňovaným nedostatkům, je použití speciálního budiče, který zjednodušuje celou stavbu zesilovače. Proto na tomto místě je stručně popsán zesilovač s tranzistorem MOSFET, který je sestavený na bázi moderních elektronických součástek a s vynikajícími parametry. Schéma zesilovače je na obrázku 6.108. Zkreslení těchto obvodů se pohybuje v desetinách tisícina procenta. Firma National Semiconductors vyvinula několik speciálních integrovaných obvodů (budičů), které lze použít pro buzení bipolárních i MOSFETových tranzistorů. Vyrábějí se pod označením LM7402 (dvoukanálový) a LME49810 (jednokanálový). Základní omezení, pokud se týká volby koncových tranzistorů, je minimální napětí potřebné pro plné otevření kanálu. Nevhodné pro tuto aplikaci jsou tranzistory z řady IRF... (spínací tranzistory). Z užšího výběru připadají tranzistory firmy Hitachi (dnes Renesas) nebo Toshiba. Od Renesas jsou to typy 2SJ352/2SK2221 a od Toshiba 2SJ201/2SK1530. Tranzistory 2SJ201/2SK1530 mají výkonovou ztrátu 150 W a maximální proud 12 A, typ 2SJ352/2SK2221 od Renesas má výkonovou ztrátu 100 W a maximální proud 8 A. Oba typy mají maximální závěrné napětí $U_{DS} = 200$ V. Velikost klidového proudu má vliv na základní zkreslení zesilovače. Při klidovém proudu 50 mA, vstupním signálu 1 kHz, 40 W/8 Ω bylo naměřené zkreslení 0,00129 %. A při klidovém proudu 300 mA bylo naměřené zkreslení 0,00068 %. Z toho je patrné, že není nutné nadměrně zvyšovat klidový proud kvůli nepatrnému snížení zkreslení. Z hlediska optimalizace klidového proudu je pro daný typ tranzistorů ideální klidový proud 115 mA.

Vstupní signály levého a pravého kanálu jsou přes rezistory R_{20} a R_{23} přivedeny na vstupy budiče LM4702. Výstupní signál z vývodu S_{OU1} , S_{IN1} a S_{IN2} , S_{OU2} je veden na báze budičích tranzistorů T_7 a T_{10} . Tranzistory T_8 a T_{11} slouží jako ochranné tranzistory, které se otevírají v okamžiku, kdy na emitorových rezistorech R_{30} a R_{35} je nadměrný úbytek napětí, tzn. koncovými tranzistorem teče nadměrný proud. Zisk zesilovače je dán zpětnovazebními rezistory R_{18} , R_{15} a R_{26} , R_{32} .

Popsaný zesilovač představuje po stránce kvality špičku ve své třídě. Výstupním výkonem 125 W na kanál a harmonickým zkreslením řádu desetitisícina procenta uspokojí i nejnáročnější posluchače. Moduly zesilovače naleznou samozřejmě uplatnění i v dalších aplikacích, jako jsou kytarová a nástrojová komba, aktivní monitory apod. Pro některé aplikace je sice nevýhodné dvoukanálové uspořádání, na druhé straně zase umožňuje jednoduše zdvojnásobit výstupní výkon můstkovým zapojením. Zapojení a celá konstrukce zesilovače nepatří k těm jednodušším a levnějším, ale pro větší, šikovnější zájemce o elektroniku a zvláště o nízkofrekvenční techniku, představuje možnost výroby špičkového zesilovače v amatérských podmínkách. Bližší informace naleznete v literatuře [29] [30].

6.8.13 Aktivní filtry s operačními zesilovači (OZ)

Kmitočtové filtry jsou lineární elektrické obvody, používané v mnoha oblastech elektrotechniky a elektroniky. V radiotechnice se často používají pro výběr přijímaných signálů (vstupní obvody přijímačů, mezifrekvenční filtry), použití jako výhybek pro rozdělení kmitočtových pásem v anténních obvodech a předzesilovačích, v telekomunikacích při přenosu dat. V elektroakustice se využívají korekční filtry (nastavení hloubek, výšek), různé typy filtrů v systémech omezení šumu (Dolby apod.). V měřicí technice a v mnoha jiných oblastech. Při přenosu signálů se často požaduje oddělení signálů rozložených v jedné frekvenční oblasti od signálů rozložených v jiné frekvenční oblasti. Pro splnění tohoto požadavku se používají vhodným způsobem zapojené čtyřpóly (viz obrázky 6.109 až 6.116), které se jednotně nazývají elektrické filtry. Pod názvem elektrický filtr se obvykle rozumí pasivní lineární čtyřpól, který

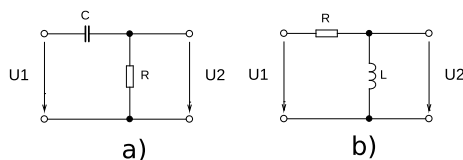


Obrázek 6.108: Koncový zesilovač s tranzistory MOSFET

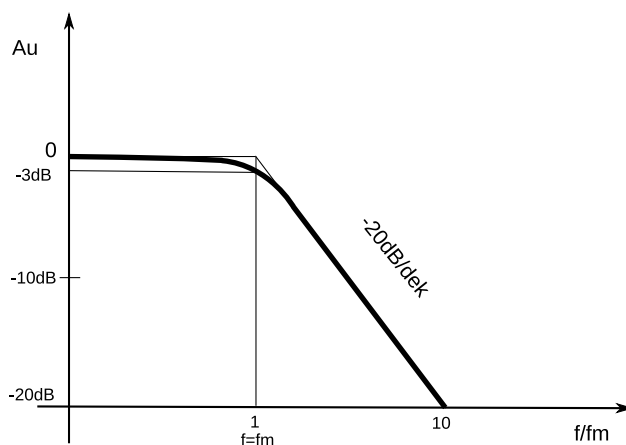
v určité frekvenční oblasti přenáší signál s nepatrným tlumením a mimo tuto oblast signál značně tlumí. Kmitočtové filtry můžeme v praxi realizovat mnoha odlišnými způsoby, které do určité míry určují i některé podstatné provozní vlastnosti filtru. Jednou z možností je realizace pomocí diskrétních součástek, to je pomocí rezistorů, kondenzátorů a operačních zesilovačů.

Dolnoproputní filtry

Integrační článek Napěťový přenos těchto čtyřpólů můžeme odvodit z poměru reaktancí m na které působí vstupní napětí U_1 a výstupní napětí U_2 . Dolnoproputní filtr RC je vlastně frekvenčně závislý dělič napětí, u kterého výstupní napětí U_2 na kondenzátoru C klesá v důsledku poklesu reaktance kondenzátoru při vyšších frekvencích. Obdobně u filtru LR klesá napětí U_2 na rezistoru R v důsledku narůstání reaktance cívky L při zvyšování frekvence.



Obrázek 6.109: Integrační článek



Obrázek 6.110: Frekvenční charakteristika integračního článku

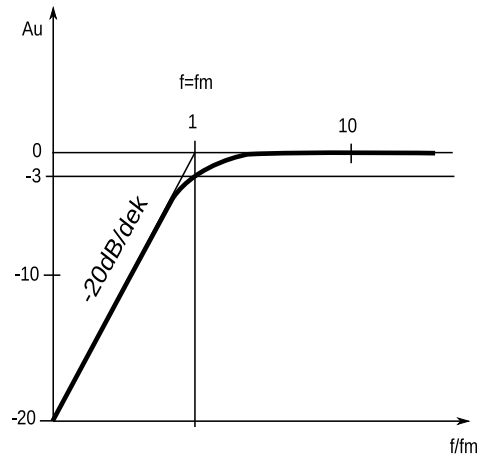
Hornoproputní filtry

Derivační článek Pro frekvence nižší než je mezní kmitočet f_m má frekvenční charakteristika pokles se směrnici 20 dB na dekádu, při frekvenci $f = f_m$ je pokles přenosu -3 dB , pro vyšší frekvence než f_m je pokles přenosu 0 dB

Obrázek 6.111: Derivační článek

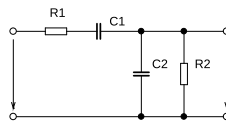
6.8.14 Pásmové propusti

Nejpoužívanější pásmovou propustí realizovanou členy RC je Wienův článek. Skládá se ze dvou větví. Má maximum přenosu při jedné frekvenci, která se nazývá kritická frekvence a označuje se f_0 . Při všech frekvencích nižších nebo vyšších než f_0 se napěťový přenos článku zhoršuje, takže článek vykazuje selektivní vlastnosti.

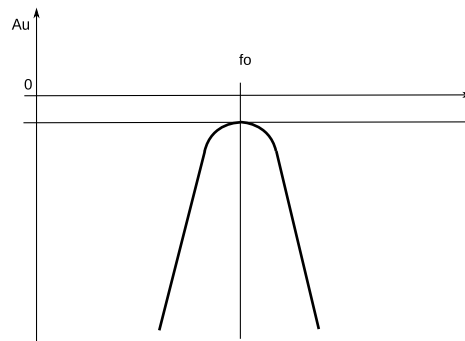


Obrázek 6.112: Frekvenční charakteristika derivačního článku

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad [\text{Hz}; \Omega, \text{F}] \quad (6.56)$$



Obrázek 6.113: Wienův článek

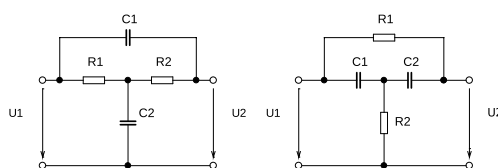


Obrázek 6.114: Frekvenční charakteristika Wienova článku

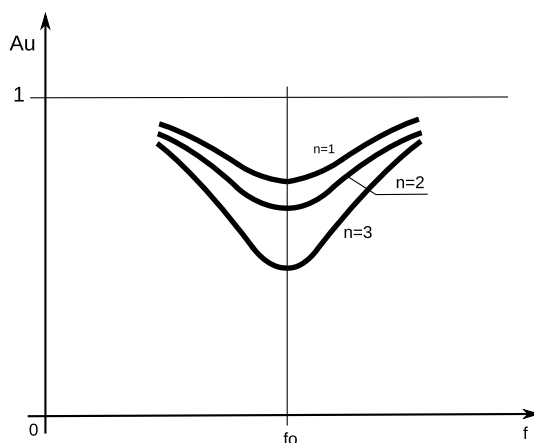
6.8.15 Pásmové zádrže

Pásmové zádrže typu přemostěného článku T. Jedná se o duální obvod k pásmové propusti. Jak je zřejmé z útlumové charakteristiky je napěťový přenos článků nejmenší při kritické frekvenci $\frac{f_0 = \pi}{2RC}$. Signál prochází článkem od vstupu na výstup dvěma fázově rozdílnými cestami. Důsledkem toho dochází při kritické frekvenci k jeho zrušení a tím vzniká nulový nebo minimální přenos. Proto se tento typ článků nazývá článek s nulovým přenosem. Pásmové zádrže se používají při konstrukci korekčních článků, v širokopásmových tónových generátorech apod.

a) typy zapojení



Obrázek 6.115: Pásmová zádrž



Obrázek 6.116: Frekvenční charakteristiky pásmové zádrže

Aktivní filtry s OZ

Filtry s OZ jsou obvykle snáze realizovatelné než obdobné filtry pasivní. Filtry rozdělujeme podle kmitočtového pásma, ve kterém propouštějí signály, na dolní propust (DP), horní propust (HP), pásmovou propust (PP), a pásmovou zádrž (PZ). Podle matematického výpočtu, z něhož pak lze odvodit zapojení a průběh kmitočtové a fázové charakteristiky, je dělíme na filtry s aproximací podle Butterwotha, Bessela nebo Čebyševa.

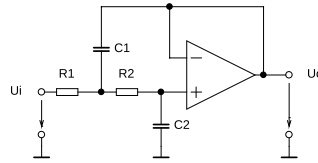
Butterworthovy filtry mají na kmitočtu f_o pokles 3 dB . Čebyševovy filtry mají strmější charakteristiku a zvlnění v propustném pásmu. Besselovy filtry mají sice méně strmý pokles, ale lineární fázovou charakteristiku.

6.8.16 Dolní propust 2 a 3 řádu

Nejčastěji se používají jednoduché dolní a horní propusti druhého a třetího řádu s napěťovým sledovačem. Za předpokladu, že $R_1 = R_2 = R_3 = R$, můžeme pro různé typy filtrů a zvolený kritický kmitočet f_o spočítat kapacity kondenzátoru podle níže uvedeného vzorce. Konstanty k_1, k_2, k_3 si pro příslušný typ a řád vyhledáme v tabulce. Vzhledem k velkému vstupnímu odporu OZ můžeme volit odpory rezistorů R_1 a R_2 velké, řádu desítek až stovek kiloohmů. Filtry vyšších řádů sestavujeme kaskádním zapojením uvedených schémat.

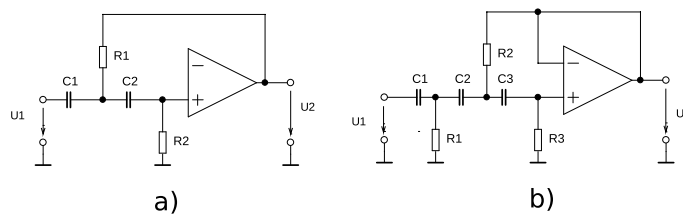
$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_o R k_1} \quad [\Omega; -, \text{Hz}, \Omega] \quad (6.57)$$

$$R_2 = \frac{1}{2\pi f_o R k_2} \quad [\Omega; -, \text{Hz}, \Omega] \quad (6.58)$$



Obrázek 6.117: Aktivní dolní propust a) druhého řádu; b) třetího řádu

$$R_3 = \frac{1}{2\pi f_0 R} \quad [\Omega; -, \text{Hz}, \Omega] \quad (6.59)$$



Obrázek 6.118: Aktivní horní propust a) druhého řádu; b) třetího řádu

Horní propust 2. a 3. řádu

$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad [\Omega; -, \text{Hz}, \text{F}] \quad (6.60)$$

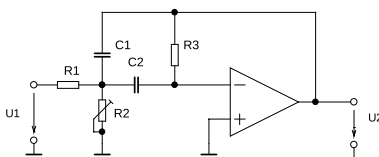
$$R_2 = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad [\Omega; -, \text{Hz}, \text{F}] \quad (6.61)$$

$$R_3 = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad [\Omega; -, \text{Hz}, \text{F}] \quad (6.62)$$

Pásmové propusti Pásmovou propust můžeme realizovat kaskádním spojením dolní a horní propusti. Pak má kmitočtovou charakteristiku zpravidla podle obrázek 6.119. Taková propust může být použita např. v radiových pojítkách nebo telefonech k omezení kmitočtů hovorových signálů. Jinak jsou řešeny pásmové propusti určené k výběru signálů v relativně úzkém kmitočtovém pásmu. Kmitočtová charakteristika je velmi podobná kmitočtové charakteristice rezonančních obvodů. Kromě rezonančního kmitočtu f_r nás zpravidla zajímá ještě šířka pásma B pro pokles 3 dB a někdy také šířka pásma pro jiný útlum, např. pro $20\text{--}40 \text{ dB}$. Nejčastěji se používá pásmová propust viz obrázek 6.121. Zapojení je vhodné pro propusti s činitelem jakosti menším než 20. Zesílení propusti na rezonančním kmitočtu je A .

Obrázek 6.119: Frekvenční charakteristika pásmové propusti

Obrázek 6.120: Frekvenční charakteristika úzkopásmové propusti

Obrázek 6.121: Aktivní pásmová propust ($Q < 20$)

Zavedeme-li $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, spočítáme rezonanční kmitočet f_r

$$f_r = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R \cdot R_3}} \quad [\text{Hz}; \text{F}, \Omega, \Omega] \quad (6.63)$$

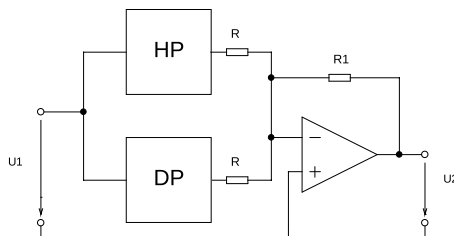
a šířku pásma B .

$$B = \frac{1}{\pi R_3 C} \quad [\text{Hz}; \Omega, \text{F}] \quad (6.64)$$

Zesílení propusti na rezonančním kmitočtu je

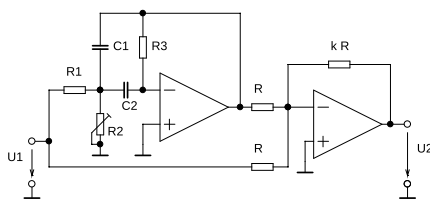
$$A_U = \frac{R_3}{2R_1} \quad -; \Omega, \Omega] \quad (6.65)$$

Pásmové zadržky Podobně jako u pásmových propustí můžeme rozdělit pásmové zadržky na úzkopásmové a širokopásmové. Širokopásmové zadržky jsou zpravidla opět konstruovány jako kombinace dolní a horní propusti viz obrázek 6.122. Zpracováváný signál je současně přiveden na vstup dolní a horní propusti. Na výstupu propustí je zapojen součtový člen. Signály kmitočtového pásma, které neprojdou ani dolní, ani horní propustí jsou na výstupu filtru potlačeny. Odlišným způsobem se konstruuji úzkopásmové zadržky, určené pro potlačení signálu jednoho kmitočtu, resp. kmitočtu v úzkém kmitočtovém pásmu. Dvě úzkopásmové zadržky využívající rezonanční obvod. Další možnost konstrukce úzkopásmové zadržky nabízí pásmová propust viz obrázek 6.123. Aby byl signál na rezonančním kmitočtu co nejvíce potlačen, je třeba zvolit zesílení pásmové propusti tak, aby měla přenos $A = -1$. To je splněno, bude-li zesílení zadržky je určeno rezistorem ve zpětné vazbě druhého OZ a na kmitočtech dostatečně vzdálených od f_r je rovno k – činitel zpětné vazby.



Obrázek 6.122: Aktivní širokopásmová zadrž

Jiné typy pásmových zadržky používají dvojitý článek T nebo příčkový článek RC. Operační zesilovače jsou napájeny symetrickým napájecím napětím. Detailnější popis filtrů najdete v literatuře [4]. .



Obrázek 6.123: Pásmová zadrž s pásmovou propustí

Obrázek 6.124: Šířka pásma pásmové zadrž

Tabulka 6.8: Konstanty pro výpočet Butterworthových filtrů 2–10. řádu

n	k1	k2	k3
2	1,414	0,7071	–
3	1,392	3,546	0,2024
4	1,082	0,9241	–
	2,613	0,3825	–
5	1,354	1,753	0,4213
	3,235	0,309	–
6	1,035	0,966	–
	1,414	0,7071	–
	3,863	0,2588	–
7	1,336	1,531	0,4885
	1,604	0,6235	–
	4,493	0,2225	–
8	1,02	0,9809	–
	1,202	0,8313	–
	1,8	0,5557	–
	5,125	0,195	–
9	1,327	0,455	0,517
	1,305	0,7661	–
	2	0,5	–
	5,758	0,1736	–
10	1,012	0,9874	–
	1,122	0,8908	–
	1,414	0,7071	–
	2,202	0,454	–
	6,39	0,1563	–

6.9 Vysokofrekvenční oscilátory

Oscilátory jsou generátory harmonického signálu. Patří do skupiny autonomních nelineárních obvodů. Z energetického hlediska představují měnič stejnosměrné energie na střídavou. Oscilátory můžeme dělit podle soustavy, která rozhoduje o kmitočtu, na *oscilátory LC*, *oscilátory RC* a *oscilátory s piezokrystalovými rezonátory*, podle velikosti frekvence na *vysokofrekvenční oscilátory* a *nízkofrekvenční oscilátory*.

6.9.1 Základní parametry vysokofrekvenčních oscilátorů

Všechny zdroje periodických signálů, mezi které patří oscilátory, jsou charakterizovány následujícími parametry. *Stabilita kmitočtu* je míra změny kmitočtu s časem. Číselně se vyjadřuje největší relativní změnou $\Delta \cdot f_{max} \div f_0$ uvažovanou v určitém časovém intervalu Δt , například za 1 sekundu, 1 hodinu, 1 den, atd. Je-li Δt mnohem větší než 1 s, hovoříme o *dlouhodobé stabilitě*. Naopak *krátkodobá stabilita* je odchylka kmitočtu v relativně krátkém časovém intervalu, obvykle mnohem menším než 1 s, způsobená především náhodnými fluktuacemi a

Tabulka 6.9: konstanty pro výpočet Beselových filtrů 2–10. řádu

n	k1	k2	k3
2	0,9066	0,68	–
3	988	1,423	0,2538
4	07351	0,6746	–
	1,012	0,31	–
5	0,8712	1,01	0,3095
	1,041	0,31	–
6	0,6352	0,61	–
	0,7225	0,4835	–
	1,037	0,2561	–
7	0,7792	0,8532	0,3027
	0,725	0,4151	–
	1,1	0,2164	–
8	0,5673	0,544	–
	0,609	0,4861	–
	0,7257	0,359	–
	1,116	0,1857	–
9	0,707	0,7564	0,2851
	0,6048	0,4352	–
	0,7307	0,3157	–
	1,137	0,1628	–
10	0,5172	0,5092	–
	0,5412	0,4682	–
	0,6	0,3896	–
	0,7326	0,2792	–

Tabulka 6.10: Konstanty pro výpočet Čebyševových filtrů 2–10. řádu se zvlněním 0,1 dB

n	k1	k2	k3
2	1,638	0,6955	–
3	1,825	6,653	0,1345
4	1,9	1,241	–
	4,592	0,241	–
5	2,52	4,446	0,3804
	6,81	0,158	–
6	2,553	1,776	–
	3,487	0,4917	–
	9,531	0,111	–
7	3,322	5,175	0,5693
	4,546	0,3331	–
	12,73	0,08164	–
8	3,27	2,323	–
	3,857	0,689	–
	5,773	0,2398	–
	16,44	0,06292	–
9	4,161	6,194	0,7483
	4,648	0,4655	–
	7,17	0,1812	–
	20,64	0,0498	–
10	4,011	2,877	–
	4,447	0,8756	–
	5,603	0,3353	–
	8,727	0,1419	–
	25,32	0,04037	–

šumem. Pokud je oscilátor nastaven na jmenovitou hodnotu kmitočtu f_0 , lze změřit časový průběh okamžité hodnoty kmitočtu v určitém časovém intervalu, jak je znázorněno na obrázku 6.125. Pro požadovaný časový interval Δt lze potom z naměřených hodnot stanovit Δf_{MAX} a vypočítat stabilitu kmitočtu. *Přesnost kmitočtu* se vyjadřuje poměrnou odchylkou $\Delta f_P \div f_0$ stanovenou opět v určitém časovém intervalu Δt . Ze změřeného časového průběhu okamžitého kmitočtu v intervalu Δt se určí střední hodnota kmitočtu f_P , jak je znázorněno

Tabulka 6.11: Konstanty pro výpočet Čebyševových filtrů 2–10. řádu se zvlněním 0,5 dB

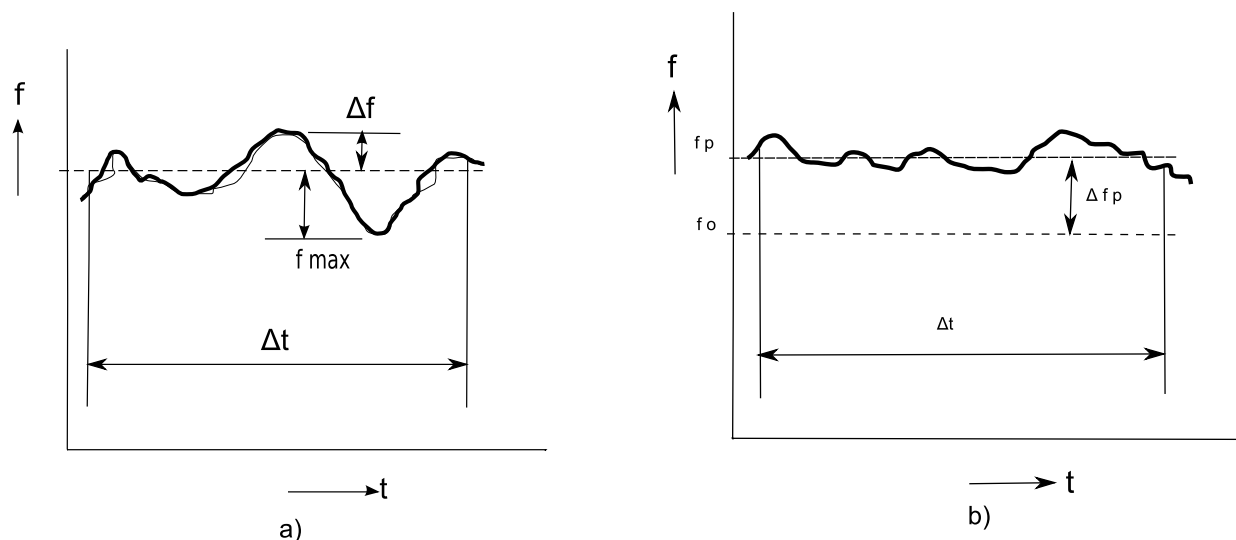
n	k1	k2	k3
2	1,95	0,6533	–
3	2,25	11,23	0,0895
4	2,582	1,3	–
	6,233	0,1802	–
5	3,317	6,824	0,3033
	9,426	0,1144	–
6	3,592	1,921	–
	4,907	0,3743	–
	13,4	0,07902	–
7	4,483	7,973	0,47
	6,446	0,2429	–
	18,07	0,05778	–
8	4,665	2,547	–
	5,502	0,5303	–
	8,237	0,1714	–
	23,45	0,04409	–
9	5,68	9,563	0,626
	6,697	0,3519	–
	10,26	0,1279	–
	29,54	0,03475	–
10	5,76	3,175	–
	6,383	0,6773	–
	8,084	0,2406	–
	12,53	0,09952	–
	36,36	0,0281	–

Tabulka 6.12: konstanty pro výpočet Čebyševových filtrů 2–10. řádu se zvlněním 1 dB

n	k1	k2	k3
2	1,95	0,6533	–
3	2,25	11,23	0,0895
4	2,582	1,3	–
	6,233	0,1802	–
5	3,317	6,842	0,3033
	9,462	0,1144	–
6	3,592	1,921	–
	4,907	0,3743	–
	13,4	0,07902	–
7	4,483	7,973	0,47
	6,446	0,2429	–
	18,07	0,05778	–
8	4,665	2,547	–
	5,502	0,5303	–
	8,237	0,1714	–
	23,45	0,03475	–
9	5,68	9,563	0,626
	6,697	0,3419	–
	10,26	0,1279	–
	29,54	0,03475	–
10	5,76	3,175	–
	6,383	0,6773	–
	8,048	0,2406	–
	12,53	0,09952	–
	36,36	0,0281	–

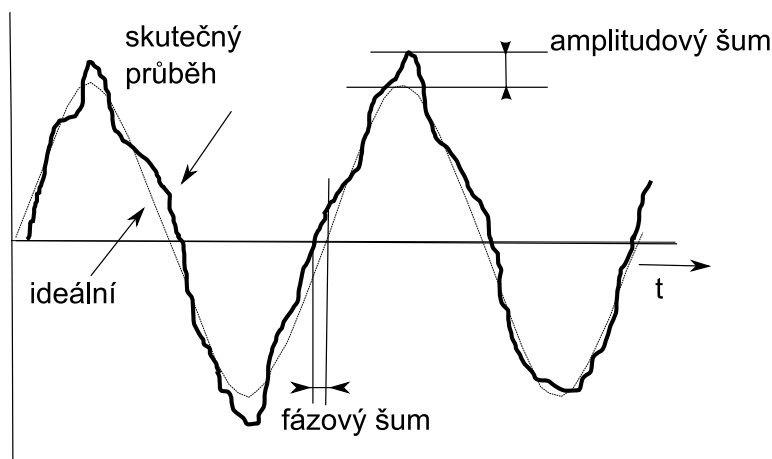
na obrázcích 6.125a a 6.125b. Z kmitočtů f_P a f_0 se vypočítá Δf_p a následně stanoví přesnost kmitočtu.

Na obrázku 6.126 je zakreslen časový průběh ideálního časového signálu a současně i signálu reálného, který může být na výstupu oscilátoru. U reálného signálu dochází k náhodným rychlým změnám okamžité velikosti signálu, které jsou označovány jako *amplitudový šum*.



Obrázek 6.125: Závislost okamžité hodnoty kmitočtu oscilátoru na čase a) stanovení stability kmitočtu b) stanovení přesnosti kmitočtu (obrázek převzat z [17])

U většiny zdrojů ωf signálu je amplitudový šum zanedbatelný. Dále je na obrázku 6.126 vidět, že dochází k fluktuaci fáze signálu, tj. ke změnám průchodu signálu nulou oproti ideálnímu průběhu. V důsledku toho vzniká tzv. *fázový šum*, který může být velice intenzivní, a proto patří v současné době k nejdůležitějším parametrům zdrojů ωf signálů.



Obrázek 6.126: Znázornění amplitudového a fázového šumu (obrázek převzat z [17])

6.9.2 Zpětnovazební vysokofrekvenční oscilátory LC

Základem obecného zapojení u zpětnovazebních oscilátorů je zesilovač, z jehož výstupu je zavedena na vstup kladná zpětná vazba, jak je naznačeno na obrázku 6.127a. Zesilovač má napěťové zesílení A_U a zpětnovazební obvod je charakterizován činitelem zpětné vazby β . Napěťové zesílení A_{ZVU} zesilovače se zpětnou vazbou je dáno vztahem

$$A_{ZVU} = \frac{A_U}{1 \pm \beta \cdot A_U} \quad [-; -, -, -] \quad (6.66)$$

Pro kladnou zpětnou vazbu platí ve jmenovateli zlomku znaménko minus a podmínka vzniku kmitů má tvar

$$1 - \beta \cdot A_U = 0 \quad [-, -] \quad (6.67)$$

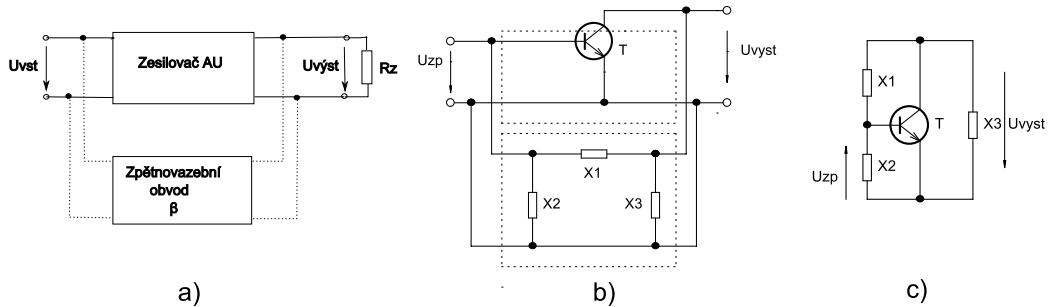
Podmínku vzniku kmitů můžeme rozepsat na *podmínku amplitudovou*

$$\beta \cdot A_U = 1 \quad [-, -] \quad (6.68)$$

a *podmínku fázovou*,

$$\phi_\beta + \phi_A = 2k\pi \quad [-, -] \quad (6.69)$$

které musí být splněny současně.



Obrázek 6.127: a) Obecné zapojení zpětnovazebního oscilátoru; b) Tříbodový oscilátor; c) Obecné zapojení tříbodového oscilátoru (obrázek převzat z [17])

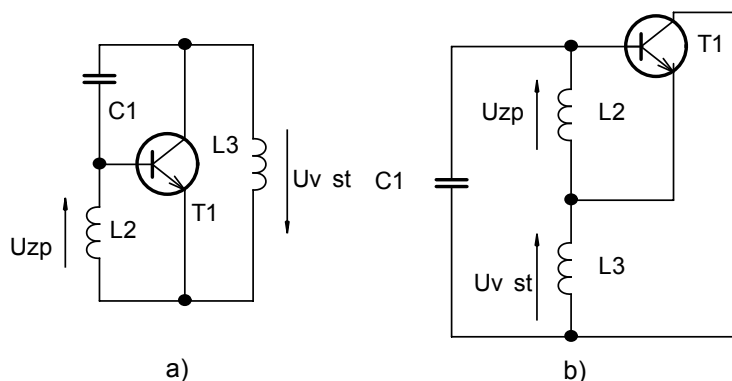
V nejjednodušším provedení je zesilovač realizován s jedním aktivním prvkem – tranzistorem, nejčastěji v zapojení se společným emitorem. Poněvadž tranzistor je připojen k vnějším obvodům ve třech bodech, nazývají se tyto *oscilátory tříbodové*. Zapojení se společným emitorem obrací fázi signálu o 180° , a proto zpětnovazební obvod musí zajistit rovněž otočení fáze signálu o 180° .

6.9.3 Základní zapojení vysokofrekvenčních oscilátorů LC

Schéma zapojení *Hartelyova oscilátoru* pro střídavé signály je nakresleno na obrázku 6.128a. Pouhým překreslením tohoto obrázku do tvaru uvedeném na obrázku 6.128b, je vidět, že je vytvořen paralelní rezonanční obvod, který určuje rezonanční kmitočet oscilátoru. Současně je zřejmé, že zpětnovazební obvod otáčí fázi signálu o potřebných 180° . Pro kmitočet Hartelyova oscilátoru a modul činitele zpětné vazby platí

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1(L_2 + L_3)}} \quad [-; F, H, H] \quad (6.70)$$

$$\beta = \frac{L_2}{L_3} \quad [-; H, H] \quad (6.71)$$

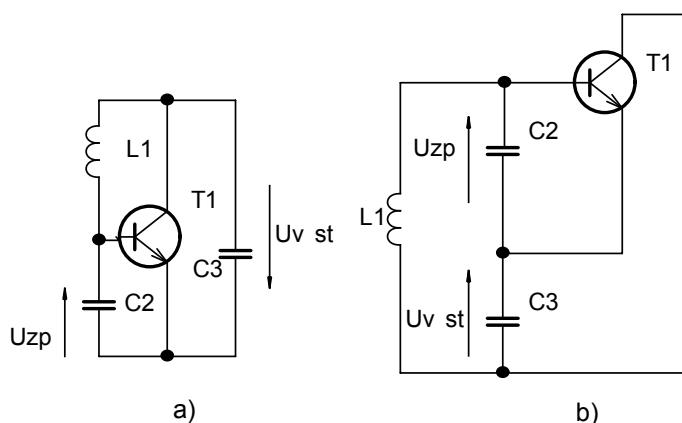


Obrázek 6.128: Hartleyův oscilátor a) schéma pro střídavé signály b) napětí na rezonančním obvodu (obrázek převzat z [17])

Druhým základním typem tříbodového oscilátoru je *Colpittsův oscilátor*, jehož schéma pro střídavé signály je nakresleno na obrázku 6.129a. Opět je vytvořen paralelní rezonanční obvod (obrázek 6.129b), který určuje rezonanční kmitočet oscilátoru a současně zajišťuje potřebný fázový posuv 180° mezi napětími U_{vyst} a U_{zp} . Pro kmitočet Colpittsova oscilátoru a modul činitele zpětné vazby platí

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \left(\frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3} \right)}} \quad [-; H, F, F, F, F] \quad (6.72)$$

$$\beta = \frac{C_3}{C_2} \quad [-; F, F] \quad (6.73)$$

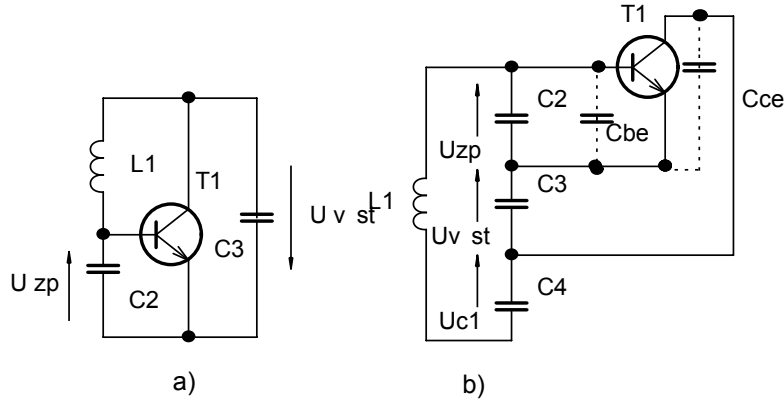


Obrázek 6.129: Colpittsův oscilátor a) schéma pro střídavé signály b) napětí na rezonančním obvodu (obrázek převzat z [17])

Vliv změn mezielektrokových kapacit tranzistoru na rezonanční kmitočet oscilátoru výrazně omezuje *Clappův oscilátor*. Nakreslený na obrázku 6.130a. Omezení vlivu kapacit CBE a CCE je dosaženo paralelním připojením C_2 , C_3 (obrázek 6.130b), pro jejichž kapacity platí $C_2 \gg C_{BE}$; $C_3 \gg C_{CE}$; $C_1 \ll C_2$ a $C_1 \ll C_3$.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 L_1}} \quad [-; \text{F}, \text{H}] \quad (6.74)$$

přičemž musí být $C \cong C_1$.



Obrázek 6.130: Clappův oscilátor a) schéma pro střídavé signály b) napětí na rezonančním obvodu (obrázek převzat z [17])

Všechny dosud uvedené oscilátory jsou konstrukčně jednoduché, avšak vyznačují se poměrně malou relativní stabilitou kmitočtu, dosahujících hodnot v rozmezí 10^3 až 10^4hod^{-1} .

6.9.4 Kontrolní otázky k vysokofrekvenčním oscilátorům LC

- Promyslete si, jaký průběh bude mít závislost výstupního kmitočtu na čase u oscilátoru, který má kmitočet signálu stabilní, ale nepřesný.
- Promyslete si, jaký průběh bude mít závislost výstupního kmitočtu na čase u oscilátoru, který má kmitočet signálu přesný, ale nestabilní.

6.10 Krystalem řízené oscilátory

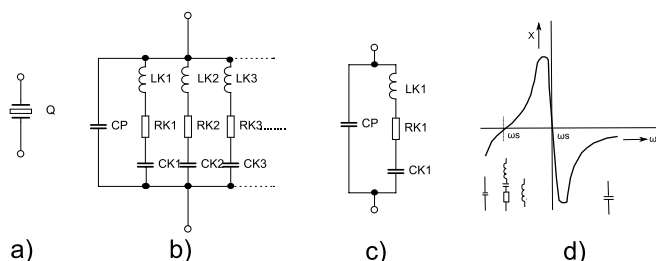
Krystalové oscilátory, nebo-li *oscilátory s piezokrystalovými rezonátory*, používají jako selektivní člen, který určuje jejich kmitočet, *krystal*. Díky vysokému činiteli jakosti krystalu, dosahují krystalové oscilátory vysoké kmitočtové stability, jejíž hodnota se pohybuje v rozsahu:

$$\frac{\Delta f_{max}}{f_0} = 10^6 \rightarrow 10^{-7} \text{hod}^{-1} \quad [\text{Hz}, \text{Hz}] \quad (6.75)$$

6.10.1 Princip krystalu

Piezokrystalový rezonátor se běžně nazývá *krystal*. Je vyroben vhodným výbrusem v přesně stanovených řezech z monokrystalu křemene. Výbrus má tvar například destičky nebo hranolu, na jehož protilehlé stěny jsou napařeny kovové elektrody. Krystalový rezonátor využívá *piezoelektrického jevu*, při kterém v důsledku mechanického namáhání vhodného materiálu

vzniká na jeho stěnách elektrické napětí a naopak, přiložením napětí na takový materiál dochází k jeho mechanické deformaci. Je-li tedy na výbrus z vhodného materiálu přivedeno vysokofrekvenční napětí, jsou v celém jeho objemu vybudeny mechanické kmitů a krystal se navenek jeví jako selektivní obvod s vysokým činitelem jakosti. Schématická značka krystalu a jeho ekvivalentní obvodový model jsou nakresleny na obrázku 6.131.



Obrázek 6.131: a) Schématická značka krystalu, b) ekvivalentní obvodový model krystalu, c) model platný pouze v okolí základní rezonance, d) kmitočtová závislost krystalu v okolí základní rezonance (obrázek převzat z [17])

Chování krystalu v širokém kmitočtovém rozsahu vystihuje model nakreslený na obrázku 6.131b. Prvky L_{K1} , R_{K1} a C_{K1} , tvořící sériový rezonanční obvod, jsou dány mechanickými vlastnostmi krystalu a určují jeho základní rezonanční kmitočet. Další sériové rezonanční obvody určují vyšší rezonanční kmitočty krystalu. Kapacita C_P reprezentuje především kapacity elektrod a držáku krystalu. Pro užší kmitočtovou oblast je vhodnější jednodušší model nakreslený na obrázku 6.131c. Podle něj vykazuje krystal dvě rezonance, a to sériovou a paralelní. Pro rezonanční kmitočty při sériové a paralelní rezonanci platí vztahy

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{K1}C_{K1}}} \quad [\text{Hz}; \text{H}, \text{F}] \quad (6.76)$$

$$f_P = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{K1}C_{EKV}}} \quad [\text{Hz}; \text{H}, \text{F}] \quad (6.77)$$

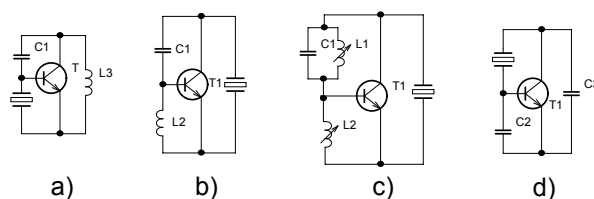
$$f_P = f_S \cdot \sqrt{1 + \frac{C_{K1}}{C_P}} = f_S \cdot \frac{C_P \cdot C_{K1}}{C_P + C_{K1}} \quad [\text{Hz}; \text{Hz}, \text{F}, \text{F}; \text{Hz}, \text{F}, \text{F}, \text{F}, \text{F}] \quad (6.78)$$

Pracovní kmitočty krystalu se pohybují v rozsahu jednotek kilohertzů až asi do 300 MHz. Činitel jakosti krystalových rezonátorů dosahuje extrémně vysokých hodnot, řádu 10^5 až 10^6 .

6.10.2 Základní zapojení oscilátoru s krystalem

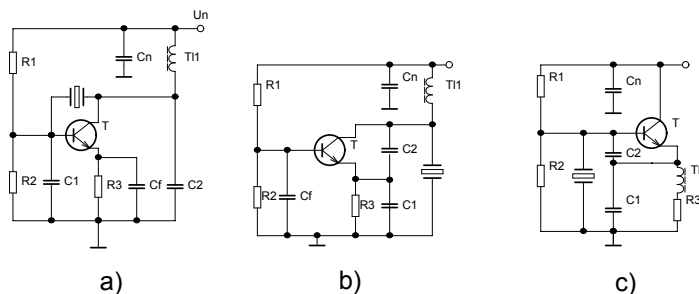
Podle umístění krystalu v obvodu oscilátoru, rozeznáváme tři skupiny zapojení krystalových oscilátorů. Do první skupiny patří klasické třibodové oscilátory, u nichž je teoreticky možné zapojit krystal místo jedné ze tří reaktancí, tj. mezi dvě libovolné elektrody tranzistoru. Všechny možné případy jsou zjednodušeně nakresleny na obrázku 6.131a až 6.131d.

V zapojeních na obrázku 6.132b, 6.132d pracuje krystal v blízkosti paralelní rezonance a má tedy induktivní charakter. Pro návrh krystalového oscilátoru je třeba znát přesné hodnoty parametrů prvků náhradního schématu krystalu, který výrobci uvádí v katalogu. Nejčastěji používané je zapojení na obrázku 6.132d. Toto schéma pro střídavé signály reprezentuje tři



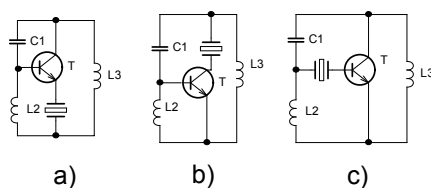
Obrázek 6.132: Tříbodová zapojení krystalových oscilátorů (obrázek převzat z [17])

krystalové oscilátory, lišící se zapojením tranzistoru. Pracuje-li tranzistor v zapojení se společným emitorem SE, nazývá se *oscilátor Pierceův*, pracuje-li tranzistor v zapojení se společnou bází SB, nazývá se *oscilátor Clappův* a pracuje-li tranzistor v zapojení se společným kolektorem SC, nazývá se *oscilátor Colpittsův*. Příklady zapojení těchto oscilátorů jsou nakresleny na obrázku 6.133.



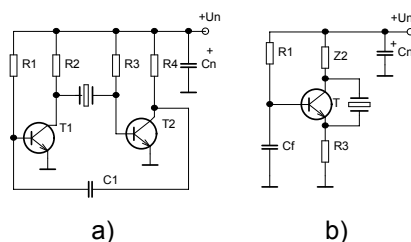
Obrázek 6.133: a) Pierceův oscilátor (SE), b) Clappův oscilátor (SB), c) Colpittsův oscilátor (SC) (obrázek převzat z [17])

Prvky určující kmitočet každého oscilátoru jsou označeny Q , C_1 , C_2 . Rezistory R_1 , R_2 , R_3 , slouží k nastavení klidového pracovního bodu tranzistoru T . Kapacitory C_N a C_F mají velkou kapacitu a pro střídavý signál mají zanedbatelnou reaktanci. Vysokofrekvenční tlumivka Tl_1 má naopak pro střídavý signál velkou reaktanci. Druhou skupinu krystalových oscilátorů tvoří oscilátory u nichž je *krystal připojen přímo k jedné ze tří elektrod tranzistoru*, jak je naznačeno na obrázku 6.134. Tyto oscilátory kmitají na kmitočtu f_S sériové rezonance krystalu.



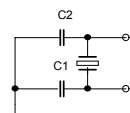
Obrázek 6.134: Příklady zapojení oscilátorů pracujících na kmitočtu sériové rezonance krystalu (obrázek převzat z [17])

Do třetí skupiny patří oscilátory, ve kterých krystal uzavírá obvod kladné zpětné vazby. U těchto oscilátorů pracuje krystal opět na kmitočtu sériové rezonance nebo v její těsné blízkosti. Tato zapojení mohou obsahovat i dva tranzistory, jak vyplývá z příkladů zapojení nakreslených na obrázku 6.135, jsou však velice jednoduchá, s minimálním počtem reaktančních prvků.



Obrázek 6.135: Příklady zapojení krystalových oscilátorů (obrázek převzat z [17])

Dolaďování krystalových oscilátorů můžeme provést pouze v malém rozsahu kmitočtů sériovým nebo paralelním připojením vhodné reaktance krystalu. Jestliže pracuje krystal na sériové rezonanci nebo v její blízkosti, dosáhneme změny kmitočtu sériově připojenou reaktancí. Je-li krystal využíván jako prvek s induktivním charakterem, tj. mezi sériovou a paralelní rezonancí v blízkosti paralelní rezonance, dosáhneme změny kmitočtu paralelně připojenou reaktancí. Jiné způsoby dolaďování krystalového oscilátoru jsou málo účinné. Velmi časté praktické zapojení krystalu je v obvodech s mikroprocesory, kde určuje hodinový kmitočet.



Obrázek 6.136: Příklad zapojení krystalu v obvodu s mikroprocesorem (obrázek převzat z [17])

6.10.3 Kontrolní otázky k oscilátorům s krystalem

- Promyslete si, jaký rozdíl je v obvodových modelech krystalu na obrázku 6.131b, 6.131c.
- Promyslete si, zda je sériová rezonance, či sériový kmitočet krystalu větší než paralelní rezonance, či paralelní kmitočet krystalu.

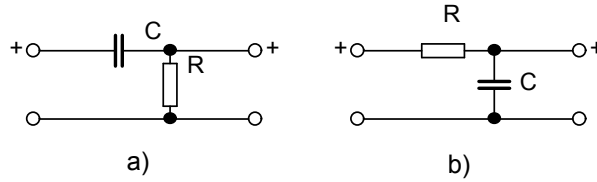
6.11 Nízkofrekvenční oscilátory RC

Oscilátory RC obsahují zesilovač a členy RC, určující kmitočet a potřebný fázový posuv ve zpětnovazební větvi. V sinusových oscilátorech je zavedena slabá kladná zpětná vazba, která předává energii od zesilovače k pasivním členům. Silná kladná zpětná vazba v obvodu oscilátoru je podmínkou pro vznik nesinusového signálu. Příčina deformace sinusového průběhu je dána přítomností vyšších harmonických kmitočtů. Amplituda těchto složek bývá nestejně velká. Nesinusový signál obsahující velké množství harmonických kmitočtů nazýváme komplexním. Komplexní signál klade větší nároky na zesilovače a přenosové cesty nežli signál sinusový.

6.11.1 Základní zapojení nízkofrekvenčních oscilátorů RC

V oscilátoru dochází k oscilacím při splnění *amplitudové a fázové podmínky*. Tranzistor, v zapojení se společným emitorem, posouvá fázi signálu o 180° , takže ke splnění fázové podmínky oscilací musí být fázový posuv smyčky kladné zpětné vazby také 180° , aby celkový výsledný

posuv byl 360° . Jednotlivý článek posouvá fázi o 60° , proto je nutné, aby pro posuv o 180° byl použit řetězec složený minimálně ze tří fázovacích článků .



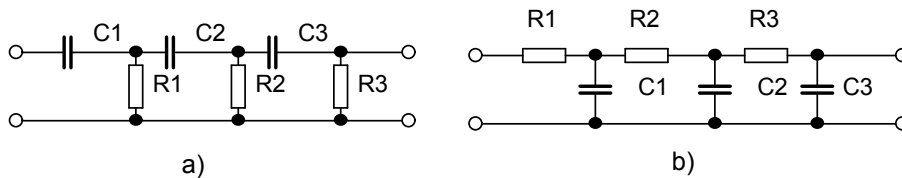
Obrázek 6.137: Základní schéma RC článků, a) derivační článek, b) integrační článek

Z řetězce derivačních článků vznikne horní propust a z řetězce integračních článků dolní propust. V praxi se u oscilátorů používají jen tříčlánekové nebo čtyřčlánekové propusti. Vztah pro kmitočet těchto RC oscilátorů

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad [\text{Hz}; \Omega, \text{F}] \quad (6.79)$$

Tyto oscilátory jsou snadno přeladitelné, protože jejich kmitočet je lineární funkcí časové konstanty RC. Jako řídicí čtyřpól se nejčastěji používá *fázovací čtyřpól* (článek RC) a *Wienův článek*. Sériovému řazení fázovacích článků říkáme *kaskáda*. V praxi se používá tříčláneková horní a dolní propust. Pro splnění amplitudové části oscilační podmínky musí být útlum signálu v pasivní části oscilátoru vyrovnán zesílením v aktivní části. Pro oscilace musí být celkový přenos roven

$$A_U \cdot \beta > 1 \quad [-] \quad (6.80)$$



Obrázek 6.138: Kaskády z RC článků, a) derivační článek- horní propust, b) integrační článek- dolní propust

Pro *oscilátor s fázovacími čtyřpóly RC*, platí podmínka pro vznik oscilací jako u předchozích typů. Frekvence f_0 pro uvedený čtyřpól je dána vztahem

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \quad [\text{Hz}; \Omega, \text{F}] \quad (6.81)$$

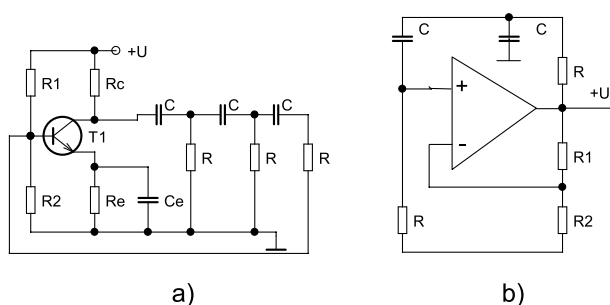
$$\tan 60^\circ = \frac{1}{2\pi f_0 RC} \quad [-; \Omega, \text{F}] \quad (6.82)$$

Podle toho se volí hodnoty R a C . Pro napěťový přenos platí vztahy 6.83, 6.84.

$$\beta = \frac{1}{29} \quad (6.83)$$

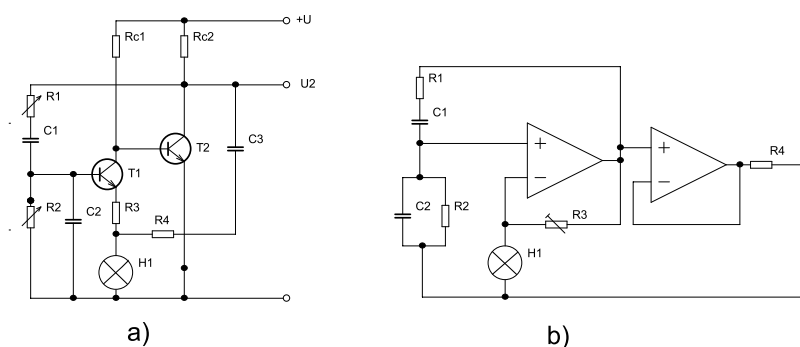
$$A_U = 29 \quad (6.84)$$

Okamžik rozkmitání je zvolen součástkami tak, že se oscilátor rozkmitá automaticky při zapojení napájecího napětí, případně nastavením potenciometru P , který zařadíme do obvodu místo rezistoru R_C . Nevýhodou tohoto oscilátoru je, že pro zvolené hodnoty může kmitat pouze jednou frekvencí, protože pro jiné frekvence způsobí vazební člen menší nebo větší fázový posun, a proto není splněna fázová podmínka oscilací. Frekvenci lze měnit změnou odporu rezistoru R nebo změnou kapacity C – to je však poměrně obtížné. Proto se jednoduché oscilátory RC používají pouze pro jednu frekvenci. Tento druh oscilátorů lze realizovat i pomocí operačních zesilovačů.



Obrázek 6.139: a) jednoduchý oscilátor RC, b) RC oscilátor s operačním zesilovačem (obrázek převzat z [5])

U oscilátorů RC s Wienovým článkem tvoří zpětnovazební čtyřpól Wienův článek, který má selektivní vlastnosti. To znamená, že napěťový přenos tohoto článku má maximum při určité frekvenci f_0 . Směrem nahoru nebo dolů, od této kritické frekvence, se přenos zhoršuje. Při kritické frekvenci má Wienův článek nulový fázový posun mezi výstupním a vstupním napětím. Pro splnění fázové podmínky se proto musí řešit aktivní čtyřpól jako dvoustupňový tranzistorový zesilovač v zapojení se společným emitorem. Tím je fázový posun mezi napětími u aktivního čtyřpólu 360° .



Obrázek 6.140: a) Základní zapojení oscilátoru RC s Wienovým článkem, b) Jednoduchý oscilátor s Wienovým článkem, řešený pomocí operačních zesilovačů (obrázek převzat z [5])

Toto základní zapojení oscilátoru RC s Wienovým článkem je možné použít k plynulé regulaci frekvence v rozsahu 1 ku 10. Wienův článek se skládá z členů R_1 , R_2 , C_1 a C_2 . Pro určitou kritickou frekvenci f_0 , a činitel zpětné vazby, vyhovují tyto členy vztahům 6.85, 6.86.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad [\text{Hz}; \Omega, \Omega, \text{F}, \text{F}] \quad (6.85)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_1}{C_2}} \quad [-; \Omega, \Omega, \text{F}, \text{F}] \quad (6.86)$$

Pro nižší nebo vyšší frekvence f_0 , je zpětnovazební přenos menší a zpětnovazební napětí není ve fázi se vstupním napětím. Amplitudová a fázová podmínka oscilací jsou splněny pouze pro jednu tzv. *kvazirezonanční frekvenci*. Frekvence se ladí změnou spřažených rezistorů R_1 a R_2 . Automaticky řízená zpětná vazba udržuje oscilátor v optimálním stavu těsně nad kritickou zpětnou vazbou. Kladná zpětná vazba vede přes Wienův člunek až do bodu 2 na žárovku. Ta představuje nelineární člen. Je-li výstupní napětí větší, zvětší se i napětí v bodě 2. Tím se však zvětší odpor vlákna žárovky a zvýší se stupeň záporné zpětné vazby mezi body 1 a 2, takže zesílení se zmenší a amplituda kmitů klesne na původní hodnotu.

6.11.2 Kontrolní otázky k nízkofrekvenčním oscilátorům RC

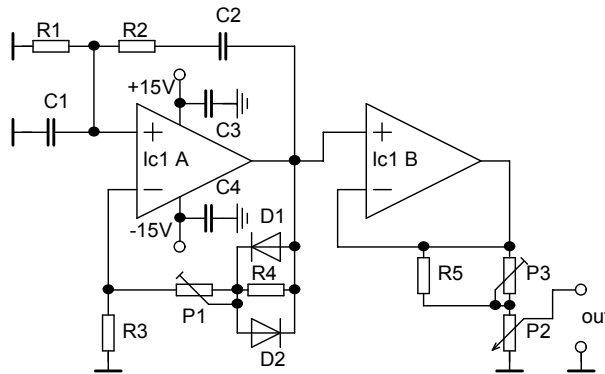
- Promyslete si, zda je zapotřebí u oscilátorů RC splnit fázovou a amplitudovou podmínku.
- Promyslete si, jak vypadá zapojení filtrů aktivních či pasivních v zapojení s RC součástkami.

6.12 Praktické cvičení – Oscilátor s operačním zesilovačem a Wienovým členem

Generátor signálu s harmonickým (sinusovým) průběhem výstupního napětí lze zkonstruovat mnoha způsoby. Pro dosažení velmi malého zkreslení výstupního signálu je nejvhodnější použít *oscilátor RC s Wienovým členem*. Nejčastěji se v RC oscilátorech používá Wienův člen. Největší přenos $A = 1/3$ má tento člen na kmitočtu f_0 , na kmitočtech nižší nebo vyšších se přenos zmenšuje.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad [\text{Hz}; \Omega, \text{F}] \quad (6.87)$$

Na kmitočtu f_0 je také výstupní signál ve fázi se vstupním signálem. Schéma zapojení je na obrázku 6.141.



Obrázek 6.141: Schéma zapojení oscilátoru s operačním zesilovačem a Wienovým členem

Tabulka 6.13: Seznam součástek pro oscilátor s operačním zesilovačem a Wienovým členem

Pozice	Hodnota	Typ
R1	6k8	
R2	6k8	
R3	10k	
R4	3k3	
R5	M47	
C1	22n	svitek
C2	22n	svitek
C3	100n	keramika
C4	100n	keramika
D1,D2	1N4148	
P1	47k	trimr např. TP112
P3	470k	trimt např. TP112
P2	10k/N	potenciometr
IO	TL072	
Patice	DIL8	
Lámací kolíky	S1G	5 pinů

V zapojení s Wienovým členem je použit aktivní prvek, operační zesilovač. Wienův člen je zapojen ve větvi kladné zpětné vazby operačního zesilovače. Wienův člen tvoří R_1 , R_2 , C_1 , C_2 . Ve větvi záporné zpětné vazby je zapojený trimr P_1 a odpor R_3 . Kombinací hodnot těchto prvků je nastaveno zesílení blízké $A = 3$. Zesílení musí být nastaveno velmi přesně. Je-li nepatrně menší, oscilátor se nerozkmitá, je-li nepatrně větší, je výstupní signál značně zkreslen. Z těchto důvodů se navrhuje zpětná vazba tak, aby byla závislá na velikosti signálu. Je-li signál malý nebo žádný, zvětší se zesílení operačního zesilovače a amplituda kmitů se zvětší. Naopak, je-li výstupní amplituda je příliš velká, zesílení se zmenší. Ke stabilizaci amplitudy lze použít součástky, které svými vlastnostmi, (teplota vlákna žárovky, termistor, voltampérová charakteristika diody), ovlivňují zápornou zpětnou vazbu a tím i velikost zesílení operačního zesilovače a s tím související stabilizaci amplitudy. V tomto zapojení ke stabilizaci amplitudy použijeme polovodičové diody D_1 , D_2 . Protože zapojení je navrženo tak, aby vliv diod na zesílení operačního zesilovače byl co nejmenší, (z důvodů malého zkreslení signálu), je malý i rozsah regulace amplitudy signálu. Proto je tento způsob stabilizace vhodný jen pro pevně nastavené oscilátory. Operační zesilovač IC_{1B} slouží jen k případnému impedančnímu oddělení a prvky P_2 a P_3 slouží k nastavení amplitudy sinusového signálu na výstupu oscilátoru. Zapojení je napájeno symetrickým, stabilizovaným napětím 15 V. Kondenzátory C_3 a C_4 slouží jako blokovací pro napájecí přírady operačního zesilovače. Generátor s uvedenými hodnotami součástek generuje signál o kmitočtu řádově 1 kHz.

6.12.1 Kontrolní otázky k praktickému cvičení

- Potvrďte výpočtem napěťové zesílení a zpětnovazební přenos na rezonanční frekvenci $f_0 = 1$ kHz, podle teoretických znalostí z předchozích kapitol.
- Zobrazte Vaše funkční zapojení na osciloskopu, prostudujte ideální průběh a Váš průběh oscilátoru, a určete přibližnou přesnost kmitočtu a přibližnou stabilitu kmitočtu.
- Zakreslete graf frekvenční závislosti na výstupní napětí. Posuďte, kdy je výstupní napětí největší.
- Vypočtete hodnoty součástek v záporné zpětné vazbě v obvodu IC_{1A} , aby byla hodnota $A = 3$.

- Promyslete si, z jakého důvodu jsou v našem schématu použity obvodové součástky IC_{1B} a usměrňovací diody D_1 a D_2 .

Kapitola 7

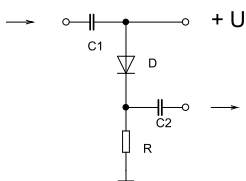
Spínací obvody

Spínací technika se dnes užívá v širokém měřítku – jako například měření, ovládání výkonové elektroniky, automobilový průmysl – až po energetiku.

Samozřejmě, že největšího rozšíření doznala spínací technika s nástupem počítačů, kde se zpracování informace odehrává pouze ve dvou stavech 0 a 1, neboli zapnuto a vypnuto. S tím bezprostředně souvisí potřeba digitalizace v podstatě jakéhokoli signálu, který pak lze počítačově zpracovat. Dalším hlediskem, ze kterého je možno nahlížet na spínací prvky, je jejich tepelná ztráta. Při zmíněném dvoustavovém provozu je právě jejich tepelná ztráta minimální, což například opodstatňuje použití obvodově složitějších napájecích zdrojů, či regulátorů výkonů.

7.1 Spínací diody

Spínací diody – používají se v obvodech pro spínání elektrických signálů. Pracují obvykle se signály obdélníkového průběhu a přecházejí ze stavu vodivého do nevodivého. Použitelnost diod pro spínání je omezena setrvačností diod při přepnutí z vodivého do nevodivého stavu. Příčinou je nahromadění menšinových nosičů v blízkosti přechodu PN.

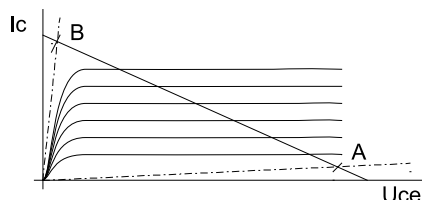


Obrázek 7.1: Zapojení spínací diody

Chceme-li pomocí diody spínat střídavé signály, musíme prostřednictvím stejnosměrného napětí posunout pracovní bod do lineární oblasti propustné části charakteristiky. Střídavý signál pak prochází jen s malým zkreslením, pokud jeho amplituda není velká, a pracovní bod se nedostane do kolena diodové charakteristiky. Je-li pracovní bod nastaven příliš blízko kolena charakteristiky, nebo je-li amplituda signálu příliš velká, dochází k velkému zkreslení. Jedná se tedy o spínání signálů malých úrovní, například pro spínání pásem ve vstupních obvodech televizních přijímačů. Zapojení je na obrázku 7.1.

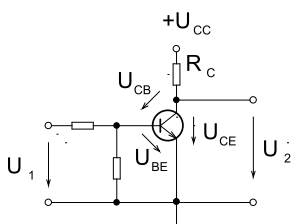
7.2 Spínací tranzistor

Pozorujeme-li odporovou přímku v soustavách charakteristik na obrázku 7.2, vidíme, že podle velikosti signálu v bázi může tranzistorem procházet buďto poměrně velký kolektorový proud, nebo proud tranzistorem téměř neprochází.



Obrázek 7.2: Charakteristika tranzistoru

Tyto dva stavy – propustný nebo blokovácí – daly tranzistoru při tomto použití název spínač. Pracovní bod *A* odpovídá zavření tranzistoru, protože jeho kolektorový proud je blízký nule. Říkáme, že tranzistor je „vypnut“ nebo, že „nevede“. Na přechodu kolektor – emitor je tedy celé napájecí napětí. Budíme-li oproti tomu tranzistor tak, že je v pracovním bodě *B*, prochází jím velký kolektorový proud. Je tedy „zapnut“ nebo-li „vede“. Úbytek napětí na tranzistoru je minimální.



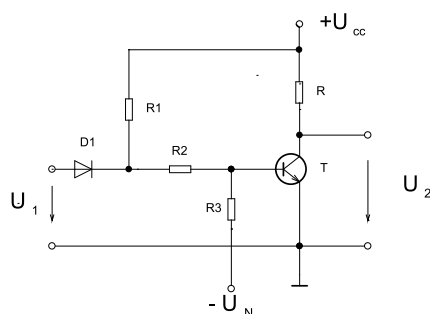
Obrázek 7.3: Základní zapojení spínacího tranzistoru

V zapnutém stavu tedy představuje tranzistor pro kolektorový proud malý odpor, ve vypnutém stavu pak velmi velký odpor. Tranzistor se tedy chová jako spínač. Protože nic není dokonalé, protéká v zavřeném stavu proud I_{C0} a v otevřeném stavu je na tranzistoru úbytek napětí U_{CEsat} . Dále je nutná vysoká spínací rychlost tranzistoru, spínací časy se pohybují v řádu nanosekund. Tepelné ztráty závisí na četnosti spínání, poměru sepnuto–vypnuto a velikosti zátěže. Tepelné ztráty je nutno při návrhu spínače respektovat.

I pro tuto aplikaci bývá obvyklé zapojení se společným emitorem, uvedeno na obrázku 7.3. Rezistor R_C v kolektoru představuje spínanou zátěž, rezistor R_2 zajišťuje uzavření tranzistoru.

Aby byl tranzistor v blokovacím stavu poměrně odolným proti rušivým napětím a teplotním driftům, nebývá často rezistor paralelně připojený k přechodu báze–emitor spojen se zemí nebo nulou, ale připojuje se ke zvláštnímu zdroji záporného napětí U_N , jako na obrázku 7.4. Můžeme tím při 0 V na vstupu ($U_1 = 0\text{ V}$ – dioda vede) vytvořit přes dělič R_2, R_3 z napětí $-U_N$ záporné předpětí na bázi tranzistoru, který jej zcela uzavře. Nedostatkem je nutnost dvou zdrojů napájecích napětí.

Dynamické chování tranzistoru jako spínače je charakterizováno přechodovou funkcí kolektorového proudu I_C při skokové změně proudu báze I_B . Protože spínací vlastnosti jsou převážně určeny kapacitami závěrné vrstvy, difúzními kapacitami, druhem nasycení, hroma-

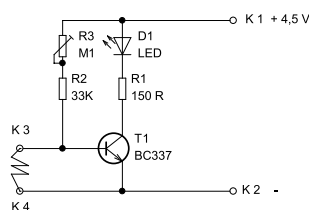


Obrázek 7.4: Spínací tranzistor s pomocným zdrojem záporného napětí

dění minoritních nosičů a jevy při pohybu nosičů nábojů v bázi, bude mít kolektorový proud přibližně průběh exponenciální funkce. Při běžných aplikacích možno aproximovat tvarem trapézovým nebo obdélníkem.

7.2.1 Zapojení bipolárního tranzistoru ve funkci spínače

Má-li tranzistor pracovat jako spínač, využívá výlučně svých krajních jevů – tranzistor je naplno otevřen – sepnut, nebo je uzavřen – rozepnut. Spotřebič se zapojuje mezi jeden pól zdroje a kolektor tranzistoru. Polarita zdroje závisí na druhu tranzistoru (NPN, PNP). Pro sepnutí potřebuje tranzistor NPN na bázi proti emitoru kladné napětí alespoň 0,7 V. PNP tranzistor potřebuje stejně velké napětí, avšak opačné polarity. Poteče-li do báze tranzistoru proud, bude velikost kolektorového proudu záviset na jeho zesílení – h_{21E} . Čím bude zesílení menší, tím větší budící proud tranzistor vyžaduje. Spínání velkého proudu do spotřebiče se ovládá malým proudem tekoucím do báze. Na rozdíl od mechanického spínače vzniká na sepnutém tranzistoru mezi kolektorem a emitorem úbytek napětí, tzv. saturační napětí, které může být v rozmezí 0,3 až 1 V. V rozepnutém stavu prochází malý kolektorový proud, nazývá se zbytkový proud I_{CE0} .

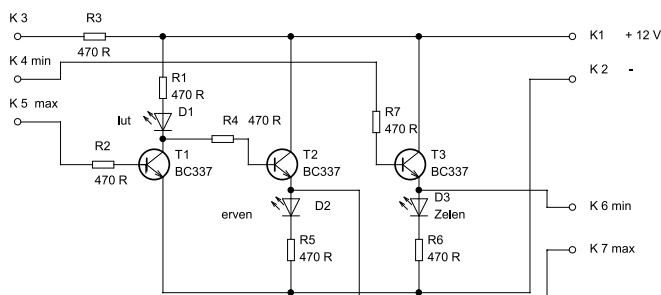


Obrázek 7.5: Tranzistor jako spínač

Na tomto zapojení (obrázek 7.5) si prakticky odzkoušíme spínací funkci tranzistoru. Na svorky K_1 a K_2 připojíme napětí 4,5 V. Svorky K_3 a K_4 zůstanou rozpojeny. Trimrem R_3 nastavíme napětí na bázi tranzistoru proti emitoru 0,7 V. Proud nastavíme tak (jeho velikost závisí na zesílení tranzistoru), aby se nám rozsvítila LED dioda D_1 . Pak spojíme svorky K_3 a K_4 tenkým vodičem. Při tomto zapojení je báze uzemněna a neteče do ní žádný proud. LED dioda D_1 nesvítí. Roztrhne-li se drátek, přivede se na bázi kladné napětí, tranzistor sepne a LED D_1 se rozsvítí. Bázové rezistory jsou k omezení proudu, aby nedošlo ke zničení tranzistoru. Jejich velikost závisí na zesílení tranzistoru. Rezistor zapojený do série s LED slouží také k omezení proudu.

7.2.2 Sonda pro hlídání hladiny vody v nádrži

Sonda nám slouží pro hlídání maximální a minimální hladiny vody v nádrži. Skládá se ze tří tranzistorů zapojených ve spínacím režimu. Zapojení je na obrázku 7.6.



Obrázek 7.6: Sonda pro hlídání hladiny vody

Popis funkce

Pokud připojíme na svorku K_2 záporný pól zdroje 12 V a na svorku K_1 kladný pól (a svorky K_3 , K_4 , K_5 zůstanou nezapojeny), začne procházet proud přes rezistor R_1 , LED diodu D_1 , rezistor R_4 do báze tranzistoru T_2 . Tímto proudem se tranzistor T_2 otevře. Proud je několik desítek mikroampérů a nestačí pro rozsvícení LED D_1 . Po otevření T_2 začne procházet proud přes T_2 , LED D_2 , rezistor R_5 do záporného pólu zdroje. LED D_2 se rozsvítí a na svorce K_7 se objeví napětí zdroje zmenšené o úbytek na tranzistoru (C–E) T_2 . Tranzistory T_1 a T_3 zůstanou zavřeny.

Když hladina vody dosáhne minima a spojí nám svorky K_3 a K_4 , začne proud procházet přes R_7 do báze T_3 a ten se otevře. Tím začne procházet proud přes kolektor T_3 , emitor T_3 , LED D_3 a R_6 . Dioda LED D_3 se rozsvítí, a na svorce K_6 se objeví stejné napětí jako na svorce K_7 .

Po dosažení maximální hladiny vody spojí se svorky K_3 , K_4 a K_5 , začne proud procházet přes R_2 do báze T_1 a ten se otevře. Proud bude procházet přes rezistor R_1 , LED D_1 a tranzistor T_1 . Dioda LED D_1 se rozsvítí. Napětí báze–emitor T_2 poklesne a tranzistor T_2 se zavře. LED D_2 zhasne. Na svorce K_7 napětí klesne na 0 V.

Použití

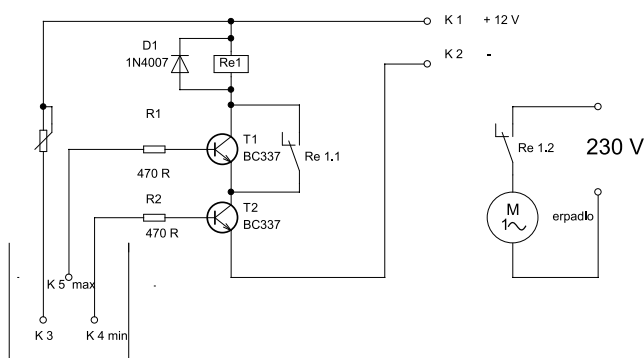
Tuto sonda lze použít pro automatické čerpání vody ze studní nebo nádrží, které řídíme programovatelným relé Siemens LOGO nebo podobným.

7.2.3 Hlídání hladiny vody

Dalším možné zapojení pro hlídání hladiny ve studni, nebo nádrži je na obrázku 7.7

Popis funkce

Ze zdroje 12 V stejnosměrných připojíme napětí na svorky K_1 a K_2 . Pokud svorky K_3 , K_4 , K_5 zůstanou rozpojeny, zařízení bude v klidovém stavu, spínací kontakty relé budou rozpojeny.



Obrázek 7.7: Hlídání hladiny vody

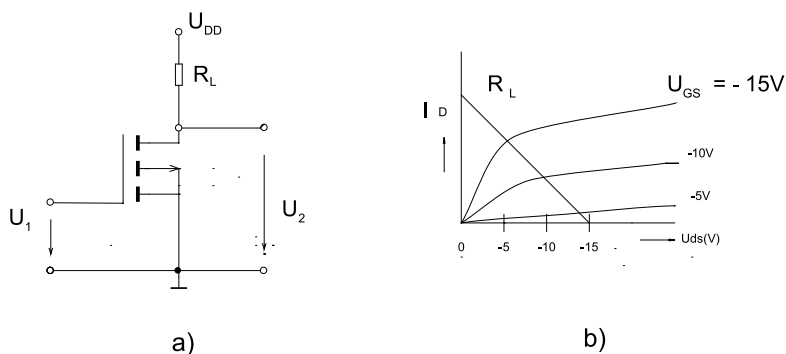
Při dosažení minimální hladiny vody, tj. po spojení K_3 a K_4 , bude na bázi T_2 sice napětí, ale na kolektoru není napětí, proto se T_2 neotevře.

Po dosažení maximální hladiny vody (spojí se K_3 , K_4 , K_5) začne protékat proud od kladného pólu zdroje přes trimr a svorky K_3 – K_5 , rezistor R_1 a tranzistory T_1 , T_2 do záporného pólu zdroje. Otevřou se tranzistory T_1 a T_2 . Proud bude procházet přes cívku relé Re_1 a tranzistory T_1 , T_2 . Tím se sepnou kontakty $Re_{1.1}$ a $Re_{1.2}$. Kontakty $Re_{1.2}$ pak sepnou čerpadlo. Kontakty $Re_{1.1}$ překlenou tranzistor T_1 (C–E).

Po odčerpání hladiny pod maximum se tranzistor T_1 uzavře, ale proud bude procházet přes sepnuté spínací kontakty relé $Re_{1.1}$. Po odčerpání hladiny pod minimum T_2 zavře, a tím přestane procházet proud přes cívku relé. Kontakty relé $Re_{1.1}$ a $Re_{1.2}$ vypnou. Tím se vypne čerpadlo. Dioda D_1 slouží jako ochranná (při vypnutí se v cívce relé indukuje napětí opačné polarity. Toto napětí se diodou zkratuje).

7.3 Použití unipolárních tranzistorů

Tyto tranzistory jsou řízeny příčným elektrickým polem, které ovládá vodivý kanál mezi kolektorem a emitorem. Mají téměř nulový proud do báze a tedy mnohem menší spotřebu než bipolární, což je předurčuje k použití v IO velmi vysoké integrace.



Obrázek 7.8: Unipolární tranzistor

Z tranzistorů řízených polem se jako spínač používá typ IGFET s kanálem P nebo N, který má nejvýhodnější vlastnosti. I pro tyto tranzistory je obvyklé zapojení se společným emitorem.

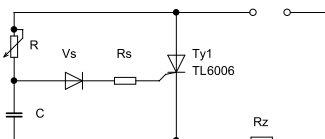
Výhodou těchto tranzistorů je možnost spínání analogových signálů, kdy je tranzistor zapojen do série se signálem.

7.4 Tyristor, triak, diak

Tyto součástky se liší od předchozích tím, že se používají zejména ke spínání střídavých signálů. Pro jejich uvedení do sepnutého stavu stačí přivést krátký proudový impuls do jejich řídicí elektrody (tyristor, triak). Diak spíná samovolně při překročení určité hodnoty napětí na jeho elektrodách. Vypínání tyristoru a triaku se děje samovolně při poklesu procházejícího proudu pod přídržnou hodnotu, u diaku při poklesu napětí. Z uvedených vlastností je zřejmé, že při použití v stejnosměrných obvodech nevypnou samovolně, ale potřebují zvláštní vypínací obvod.

7.4.1 Tyristor

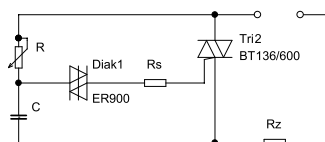
Je to čtyřvrstvá struktura PNPN nebo NPNP, která se chová jako dioda, u které je možno stanovit okamžik sepnutí v rozsahu půlperiody. Řídicí signál má kladnou polaritu. Záporná půlperioda tyristorem neprochází. Jednoduché řídicí obvody a průběhy napětí jsou na obrázku 7.9. Skutečné řídicí obvody jsou dnes provedeny v integrované podobě.



Obrázek 7.9: Spínač s tyristorem

7.4.2 Triak

Vývoj triaku byl veden snahou řídit okamžik sepnutí během celé periody řídicími signály obou polarit. Tyto požadavky splňuje pětivrstvá struktura NPNPN. V náhradním schématu se vlastně jedná o dva antiparalelně zapojené tyristory. Na obrázku 7.10 je uvedeno schéma řídicího obvodu, kde vidíme i využití diaku.

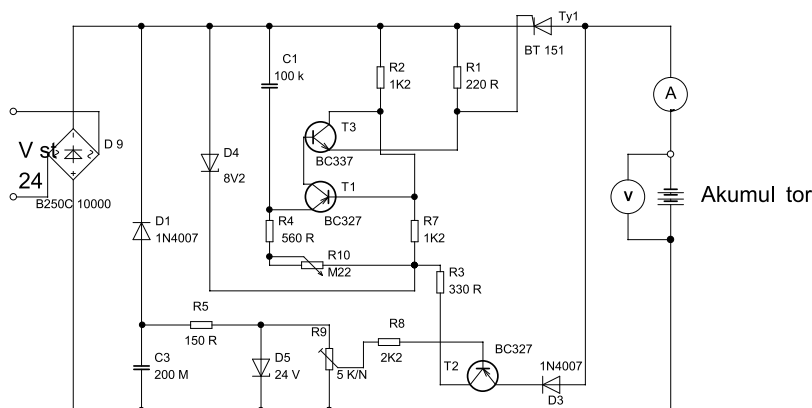


Obrázek 7.10: Spínač s triakem a diakem

Je vidět, že tyto obvodové prvky umožňují téměř bezztrátovou regulaci výkonu připojené zátěže. Jejich nevýhodou je vysoká úroveň rušivých signálů, zejména při indukční zátěži. Problém je možno řešit použitím odrušovacích *LC* členů. Další možností je spínání při průchodu signálu nulou, výkon je pak regulován poměrem sepnutých a nesepnutých period.

7.4.3 Nabíječka automobilových akumulátorů

Dalším možným využitím elektronických spínacích součástek (tranzistorů, tyristorů a diod) je nabíječka automobilových akumulátorů na obrázku 7.11



Obrázek 7.11: Nabíječka s tyristorem

Popis funkce

Na vstupní svorky připojíme sekundární vinutí transformátoru 230/24 V. Na výstupní svorky připojíme akumulátor. Graetzův můstek nám napětí 24 V dvojcenně usměrní. Obvod T_1 , T_2 , C_1 , R_4 , R_7 , D_4 pracuje jako generátor pulzů a potenciometrem R_{10} nastavujeme úhel otevření tyristoru. Tím regulujeme napětí na výstupu a také proud tyristorem a akumulátorem.

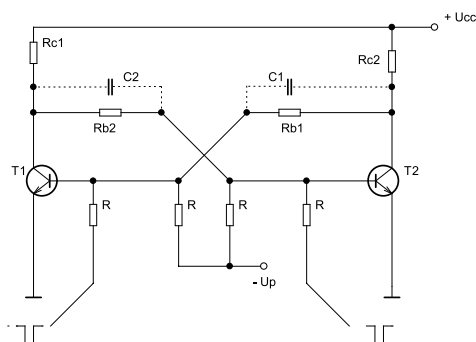
Obvod D_5 , C_3 , R_5 , D_1 je zdroj referenčního napětí. Trimrem R_9 nastavujeme napětí na bázi T_3 . Obvod T_3 a D_3 nám porovnává napětí nastavené trimrem R_9 a napětí na akumulátoru. Po dosažení stejné úrovně napětí na akumulátoru T_3 zablokuje T_1 , T_2 a tyristor Ty_1 se zavře. Proud tyristorem přestane procházet a akumulátor se přestane nabíjet.

7.5 Klopné obvody

7.5.1 Bistabilní klopné obvody

Bistabilní klopný obvod je elektronický obvod, který má dvě klidové polohy, v každé z nich může setrvat libovolně dlouhou dobu, vnějším impulsem lze klopný obvod překlápět z jedné do druhé stabilní polohy.

Po připojení ke zdroji napájecího napětí se obvod ustálí tak, že jeden tranzistor bude otevřen a druhý zavřen. Zavedeme-li v libovolném čase do báze otevřeného tranzistoru záporný impuls, začne se tento tranzistor zavírat, jeho kolektorové napětí roste, tento vzrůst se přenese na bázi druhého tranzistoru, ten se otevírá, děj probíhá lavinovitě, až se původně zavřený tranzistor úplně otevře a původně otevřený tranzistor úplně zavře. Tím skončí překlápění a obvod setrvává v tomto stabilním stavu až do příchodu dalšího spouštěcího impulsu. Spouštěč lze i zavedením kladného impulsu do báze zahrazeného tranzistoru. Spouštěcí impuls je vždy třeba přivést přes omezovací rezistor, nikdy nesmí být přiloženo plné napětí, aby nedošlo k destrukci tranzistoru.



Obrázek 7.12: Bistabilní klopný obvod

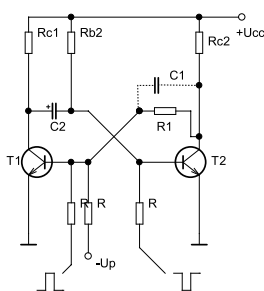
Pro urychlení překlápění se můžeme setkat se zapojením tzv. urychlovacích kondenzátorů C_1 a C_2 o relativně malé kapacitě. Tyto kondenzátory mají za úkol vázat na sebe náboj otevřeného přechodu B–E v okamžiku přechodu tranzistoru z vodivého do zahrazeného stavu. Bistabilní klopný obvod lze spouštět buď:

- nesouměrně, tzn. že spouštěcí impulsy budeme přivádět střídavě na oba vstupy,
- nebo souměrně, tzn. že spouštěcí impulsy přivádíme na jeden společný vstup přes hradlo.

V případě souměrného spouštění dělí obvod kmitočet vstupního signálu na jeho polovinu. V hudbě to znamená snížení tónu o jednu oktávu.

7.5.2 Monostabilní klopné obvody

Monostabilní klopný obvod má jeden stabilní stav, v němž může setrvat libovolně dlouho, spouštěcím impulsem ho lze vychýlit do kvazistabilního stavu, v němž setrvá po určitou dobu (doba kyvu) a poté se vrátí zpět do stabilního stavu.



Obrázek 7.13: Monostabilní klopný obvod

V klidové poloze bude tranzistor T_1 zahrazen a tranzistor T_2 otevřen. V tomto stavu se bude kondenzátor C nabíjet na naznačenou polaritu. Pokud přivedeme kladný impuls do báze zahrazeného tranzistoru T_1 nebo záporný impuls do báze otevřeného tranzistoru T_2 , obvod se překlápí a kondenzátor C se bude přes odpor R_{B2} a otevřený T_1 vybíjet. Bude se vybíjet k nule a pak na opačnou polaritu, než je naznačeno. V okamžiku, kdy napětí na kondenzátoru dosáhne prahového napětí B–E T_2 , T_2 se otevře, jeho kolektorové napětí klesne na nulu, tato

záporná změna se přenesse do báze T_1 , T_1 se zahradí a obvod se dostane do výchozí klidové polohy, v níž bude vyčkávat příchodu dalšího spouštěcího impulsu.

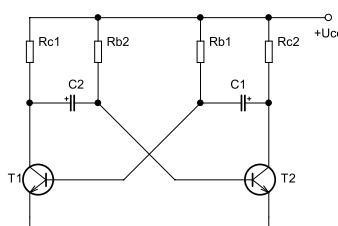
I zde se setkáváme se zapojením urychlovacího kondenzátoru C_1 analogicky s bistabilním klopným obvodem.

U obou klopných obvodů je použito záporné napětí $-U_P$. Jedná se o přídržné napětí, které má za úkol zatlačit pracovní bod zahrazeného tranzistoru dovnitř oblasti zahrazení.

Tyto obvody lze také realizovat pomocí hradel, můžeme se setkat i s klopnými obvody v podobě monolitických integrovaných obvodů.

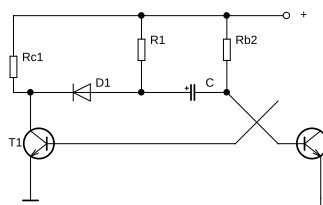
7.5.3 Astabilní klopné obvody

Nemají žádnou klidovou polohu, neustále kmitají.



Obrázek 7.14: Astabilní klopný obvod

Když bude tranzistor T_1 zahrazen, tak bude tranzistor T_2 otevřen. V tomto stavu se bude nabíjet kondenzátor C_2 v obvodu $+U_{CC}-R_{C1}-C_2-T_2(B-E)-zem$. Současně se bude vybíjet kondenzátor C_1 (nabíjen v předchozím cyklu) v obvodu $+U_{CC}-R_{B1}-C_1-T_2(C-E)-zem$. Bude se vybíjet k nule, a pak na opačnou polaritu, než je naznačeno. V okamžiku, kdy napětí na něm dosáhne prahového napětí přechodu B-E T_1 , T_1 se otevře, jeho kolektorové napětí klesne k nule, tato záporná změna se přenesse přes C_2 na bázi T_2 a ten se uzavře. V tomto stavu se bude nabíjet kondenzátor C_1 v obvodu $U_{CC}-R_{C2}-C_1-T_1(B-E)-zem$. Současně se bude vybíjet kondenzátor C_2 v obvodu $U_{CC}-R_{B2}-C_2-T_1(C-E)-zem$. Bude se vybíjet k nule a pak na opačnou polaritu, než je naznačeno. V okamžiku, kdy na něm napětí dosáhne prahové hodnoty přechodu B-E tranzistoru T_2 , T_2 se otevře, jeho kolektorové napětí klesne k nule, tato záporná změna se přenesse přes C_1 do báze T_1 a T_1 se zahradí. Tento děj se periodicky opakuje, než vypnou proud. Vzhledem k tomu, že kondenzátor C_1 , resp. C_2 , je nabíjen vždy přes kolektorový rezistor, dochází k silnému zatížení výstupního obvodu a výstupní impuls je zkreslen. Abychom toto zkreslení odstranili, je třeba zajistit nabíjení kondenzátoru z jiného odporu než kolektorového.



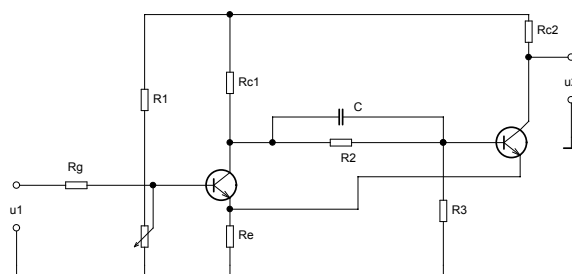
Obrázek 7.15: Zapojení k zabránění deformace výstupního impulsu

Právě zapojení z obrázku 7.15 s korekčními diodami se často používá. Kondenzátor se

nabíjí přes odpor R_1 , nabíjení přes $R-C_1$ brání záporně polarizovaná dioda D_1 . Pro vybíjení přes R_{B2} a otevřený T_1 je dioda D_1 polarizovaná propustně. Astabilní klopný obvod lze rovněž realizovat zapojeními s hradly, setkat se můžeme i s realizací astabilního klopného obvodu jako monolitického integrovaného obvodu.

7.5.4 Schmittův klopný obvod

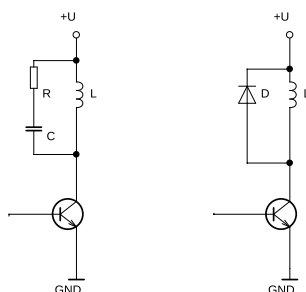
Obvod má dva stabilní stavy, které se skokem mění při průchodu vstupního signálu nastavenou napěťovou úrovní na vstupu.



Obrázek 7.16: Schmittův klopný obvod

7.6 Spínání indukční zátěže

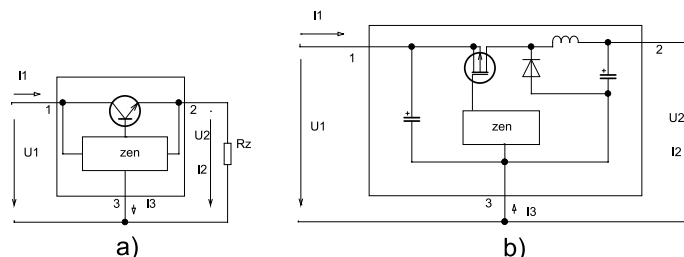
Indukční zátěží jsou myšleny relé, motory, stykače a veškeré části, kde je jako aktivní prvek cívka. Při vypínání indukční zátěže vzniká napěťová špička opačné polarity než je napájecí napětí (může být značně velká, neboť se sčítá s napájecím napětím), která by mohla velice snadno zničit polovodičové součástky umístěné na ovládací desce, která danou indukční zátěž např. relé ovládá. Z tohoto důvodu se snažíme tyto obvody chránit např. zapojením diody v závěrném směru paralelně k relé. S velkou účinností lze k ochraně použít také varistor nebo RC článek. Toto by mělo stačit, aby se nám napěťová špička nedostala až k citlivým součástkám jako např. integrovaným obvodům, které by mohla zničit.



Obrázek 7.17: Tranzistor jako spínač indukční zátěže

7.7 Spínané stabilizátory napětí

Zatímco lineární sériový stabilizátor (obrázek 7.18) pracuje na principu řízeného odporu zapojeného do série se zdrojem a jeho účinnost je dána přibližně poměrem výstupního a vstupního napětí, spínaný stabilizátor je zpravidla zapojen jako snižující napěťový měnič dle obrázku 7.18.



Obrázek 7.18: a) Blokové schéma lineárního stabilizátoru; b) Blokové schéma spínaného stabilizátoru

U spínaného stabilizátoru dochází k transformaci napětí na nižší hodnotu a proud se v převráceném poměru zvyšuje dle vztazích 7.1 a 7.2, kde p je převodní poměr a pohybuje se v rozmezí 0 až 1.

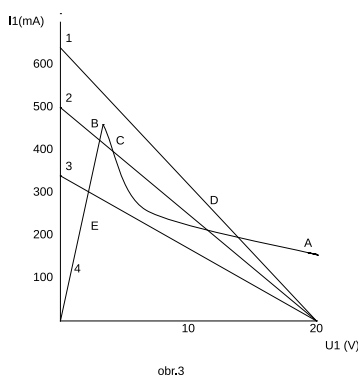
$$U_2 = U_1 \cdot p \quad [\text{V}; \text{V}, -] \quad (7.1)$$

$$I_2 = \frac{I_1}{p} \quad [\text{A}; \text{A}, -] \quad (7.2)$$

K regulaci výstupního napětí dochází pouze změnou převodního poměru a účinnost stabilizátoru zpravidla není příliš závislá na velikosti vstupního napětí. Problém však může nastat příliš velkým snížením napětí při startu zdroje. Budeme-li např. navrhovat zdroj se spínaným stabilizátorem s výstupním napětím 5 V a vstupním napětím 24 V, vstupní proud bude dle vztahu (7.2) při výstupním proudu 500 mA a při zanedbání ztrát pouze 104 mA. Při zapínání zdroje však bude vstupní napětí postupně narůstat a v ideálním případě bude stabilizátor během náběhu odebírat při vstupním napětí 5 V proud 500 mA. Pokud zdroj není schopen tento proud dodat, přetíží se a nenaběhne. Pro rozbor tohoto jevu stačí určit dynamický vstupní odpor stabilizátoru. Dynamický vstupní odpor je dán poměrem malé změny vstupního napětí, a tím vyvolané změny vstupního proudu při konstantní zátěži. Např. při zvýšení vstupního napětí z 10 na 10,1 V a konstantní zátěži 5 V/500 mA klesne vstupní proud z 250 na 247,5 mA. Vstupní dynamický odpor je záporný a činí $-40,4 \Omega$. Při dostatečně malém intervalu, případně při výpočtu derivace zjistíme, že dynamický odpor je číselně rovný poměru vstupního napětí a proudu v daném pracovním bodě, ale má opačné znaménko. Grafické znázornění poměrů při napájení spínaného stabilizátoru je na obrázku 7.19.

Zatěžovací přímka 1 zdroje s napětím 24 V a vnitřním odporem 35Ω má pouze jeden průsečík (bod A) se vstupní charakteristikou stabilizátoru, a pro menší vstupní napětí je zatížitelnost zdroje větší než vstupní proud stabilizátoru. Proto náběh zdroje proběhne spolehlivě.

Zatěžovací přímka 2 zdroje s vnitřním odporem 50Ω má dva průsečíky se vstupní charakteristikou stabilizátoru a v intervalu mezi body B a C zdroj není schopen dodat dostatečný



Obrázek 7.19: Zatěžovací přímky spínaného stabilizátoru

proud. Náběh zdroje se zastaví na bodu B a pro překonání intervalu $B-C$ je nutno výstup stabilizátoru krátkodobě odlehčit. Po dosažení bodu C je již provoz stabilní, v tomto případě se jedná o podmíněnou stabilitu.

Zatěžovací přímka 3 zdroje s vnitřním odporem $70\ \Omega$ má opět pouze jeden průsečík se vstupní charakteristikou stabilizátoru, ale v celém rozsahu napětí potřebného pro provoz stabilizátoru je zatížitelnost zdroje menší než vstupní proud stabilizátoru. Proto náběh zdroje proběhne pouze do bodu E a stabilizátor nepracuje.

Některé integrované obvody pro spínané zdroje, jako např. L4960, pro překonání pásma mezi body B a C používají obvod měkkého startu. Po náběhu vstupního napětí se postupně zvětšuje šířka pulsů a tím zatížení stabilizátoru postupně roste. Obvod měkkého startu bývá spojen i s nadproudovou ochranou, takže při každém přetížení klesne výstupní napětí na nulu a postupně nabíhá. Tato vlastnost je však někdy nevýhodná, protože každé impulzní přetížení zdroje má za následek úplné vypnutí a postupné naběhnutí zdroje.

7.7.1 Srovnání sériového a spínaného stabilizátoru napětí

Hlavní nevýhodou sériového stabilizátoru napětí je skutečnost, že na sériovém regulačním prvku (tranzistoru) se ztrácí výkon rovný součinu výstupního proudu a rozdílu vstupního a výstupního napětí. Tento výkon se přeměňuje na nežádoucí teplo, které je nutné odvést ze zařízení.

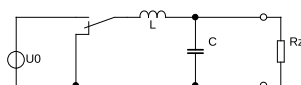
Ve spínaném stabilizátoru sériový regulační prvek pracuje ve spínacím režimu – proud prochází při minimálním napětí (stav saturace) a napětí je na regulačním prvku při minimálním proudu (rozepnutý stav). Rozptylovaný tepelný výkon má minimální hodnotu. Nevýhodou spínaného stabilizátoru je vznik zvlnění výstupního napětí způsobeného principem činnosti. Uvedenou nevýhodu je nutné účinně potlačit výstupním LC filtrem.

Spínaný stabilizátor umožňuje rozměrově menší a lehčí konstrukci zařízení než sériový stabilizátor napětí. Vyskytuje se v různých obměnách v moderních elektronických zařízeních.

7.7.2 Princip spínaného stabilizátoru napětí

Spínaný stabilizátor je v principu nejjednodušším spínaným zdrojem typu propustného měniče snižujícího napětí (Buck nebo Step-Down Converter Forward Mode). Funkce tohoto regulátoru probíhá ve dvou fázích:

1. Cívka připojena je na zdroj napětí a na druhé svorce cívky je výstupní uzel o výstupním napětí. Na cívce je napětí o velikosti rozdílu vstupního a výstupního napětí. Proud cívkou stoupá, roste energie akumulovaná v magnetickém poli v jádře cívky. Pro velkou indukčnost cívky lze v idealizovaném případě považovat nárůst proudu za lineární.
2. Cívka zkratována na společnou svorku. Ve druhé fázi cívka dodává do zátěže energii získanou z magnetického pole ve svém jádře. Na cívce je shodné napětí s napětím na zátěži. Proud cívkou klesá, protože klesá energie akumulovaná v magnetickém poli v jádře cívky. Pro velkou indukčnost cívky lze v idealizovaném případě považovat pokles proudu za lineární.



Obrázek 7.20: Základní princip spínaného stabilizátoru

Kapitola 8

Číslicové obvody

8.1 Základní číslicové obvody

Většina logických obvodů je složena z několika obvodů realizujících základní kombinační funkce Booleho algebry. K základním funkcím patří:

- YES – sledovač (buffer)
- NOT – negace
- OR – součet
- NOR – negovaný součet
- AND – součin
- NAND – negovaný součin
- XOR – nonekvivalence

Nejstarší obvody u nás vyráběné nesou označení začínající velkými písmeny MH, následované nejčastěji dvojčíslím 74, ale také 84 nebo 54. Těsně za ním je další dvojčíslí, které na rozdíl od prvního nás informuje o logické funkci. Světoví výrobci používají různý písmenný kód na začátku označení, např. SN, UCY... Číselný kód, tj. následující dvě dvojčíslí, se však mezi výrobci většinou neliší. Proto katalogy uvádějí pouze tento číselný kód, který obsahuje veškeré potřebné informace bez ohledu na výrobce. Všimněme si označení některých starších logických členů:

- 7400 – čtveřice dvojevstupových členů NAND
- 7403 – čtveřice dvojevstupových členů NAND s otevřeným kolektorem
- 7404 – šestice investorů
- 7405 – šestice investorů s otevřeným kolektorem
- 7410 – trojice trojevstupových investorů NAND
- 7420 – dvojice čtyřstupňových členů NAND

- 7430 – osmivstupový člen NAND
- 7450 – dvojice členů AND-NOR

To jsou informace, které snadno získáme z katalogu, jenže mnohým to nic neříká. Co je to logický člen NAND, NOR, ale také AND, OR a další? Nezbyvá, než se podrobněji seznámit s logickými funkcemi, logickými členy a obvody. Dříve než tak učiníme, vrátíme se ještě ke katalogu. Nelze tu přehlédnout řadu dalších logických obvodů odvozených od staré řady, ale především novější číslicové obvody patřící do velké skupiny obvodů CMOS. Na prvním místě a také nejznámější je řada 4000: 4001 4002 4006 4007 4008 atd. Následuje řada 74C, 74SC, 74HC, 74HCT, 74HCU. Všechny řady obsahují unipolární obvody, na rozdíl od bipolárních obvodů starší řady. Některé unipolární obvody se začaly vyrábět už po roce 1970. Byly to obvody 4000 a 74C. Jejich výrobou se dnes zabývají všichni světoví výrobci součástek a vyrábějí se i u nás.

Proč se ustupuje od používání starších obvodů, které spolehlivě sloužily od samého počátku svého vzniku, tj. od roku 1958? Důvodem je především jejich příkon, který je poměrně velký. Vyžaduje zdroj značného výkonu a také důkladné chlazení osazených desek. Je-li na desce několik desítek bipolárních obvodů, pak k odvodu tepla potřebuje ventilátor. Kromě malého příkonu ve statickém režimu (tj. není-li právě v činnosti) se číslicové obvody CMOS vyznačují i dalšími výhodami: velkým rozsahem napájecího napětí, jednoduchým napájením, velkou šumovou odolností, která se ještě zvětšuje se zvětšujícím se napájecím napětím.

8.1.1 Porovnání vlastností jednotlivých rodin logických obvodů

Tabulka 8.1: Základní parametry logických obvodů

Parametr	TTL	TTL-LS	HC	HCT	CMOS 4000
$I_{vstlog0}$ [mA]	-1,6	-1,36	$-6 \cdot 10^{-3}$	-10^{-3}	-10^{-3}
$I_{vstlog1}$ [mA]	0,04	0,1	$6 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	10^{-3}
$I_{vystlog0}$ [mA]	20	4	4	6	0,4
$I_{vystlog1}$ [mA]	-0,4	-0,4	-4	-6	-0,4
Napájecí napětí [V]	4,75 až 5,25	4,5 až 5	2 až 7	4,5 až 5	3 až 15
$U_{vstlog0}$ [V]	0 až 0,8	0 až 0,8	0 až 1	0 až 0,8	0 až 1,5
$U_{vstlog1}$ [V]	2 až 5	2 až 5	3,5 až 5	2,5 až 5	3,5 až 5
$U_{vystlog0}$ [V]	0 až 0,4	0 až 0,4	0 až 0,5	0 až 0,3	0 až 0,5
$U_{vystlog1}$ [V]	2,4 až 5	2,7 až 5	4,5 až 5	4,5 až 5	4,5 až 5
N^1 [-]	10	20	600	$6 \cdot 10^3$	400
T_n [ns] ²	20	2 až 5	15	12	60
T_p [ns] ³	15	2 až 5	15	12	60
Šumová imunita (log. 0) [V]	0,4	0,4	0,5	0,5	1
Šumová imunita (log. 1) [V]	0,4	0,7	1	2,5	1

V dnešní době je vyráběno mnoho typů logických obvodů. My si popíšeme pouze 5 nejvýznamnějších.

Prvně byly vyráběny obvody označované *TTL* (Transistor – Transistor Logic; tranzistorová logika). V současné době nejsou běžně v prodeji, případně je jejich cena neúměrně vysoká. Je to způsobeno skutečností, že jsou nahrazeny dokonalejšími nástupci. Do této kategorie patří například známý obvod 7400 (čtveřice dvouvstupových hradel NAND).

¹Zatížitelnost výstupu – například $N = 10$ znamená, že na výstup lze připojit 10 vstupů hradel ze stejné rodiny

²Doba poklesu

³Doba náběhu

Přímým nástupcem řady TTL je řada *TTL-LS* (Low power & Shottky). Ty jsou navrženy vnitřně tak, že vstupy mají nižší spotřebu (viz tab. 8.1). Dále je paralelně k přechodům B–C všech tranzistorů připojena Schottkyho dioda. Protože je prahové napětí Schottkyho diody nižší, než prahové napětí prostého PN přechodu, brání dioda saturaci přechodu B–C. Výsledkem je rychlejší vypínání tranzistoru, protože ten při přechodu mezi stavem zapnuto a vypnuto neprochází saturační oblastí. Patří sem například 74LS00 (obdobu 7400).

Řada *CMOS 4000* je vyrobena technologií CMOS (pracuje s unipolárními tranzistory s indukovaným kanálem P a N). Vnitřní odpor těchto tranzistorů ve stavu sepnuto je poměrně vysoký, také je vysoká parazitní kapacita mezi hradlem a emitorem. To způsobuje poměrně špatné dynamické parametry (nízký mezní kmitočet a dlouhé doby náběhu a poklesu, viz tab. 8.1). Zdánlivou výhodou je možnost práce v širokém rozsahu napájecích napětí (3 až 15 V). Tato skutečnost je zajištěna optimalizací parametrů pro maximální napájecí napětí. Při běžném napětí 5 V jsou obvody velmi pomalé. Příkladem je 4002 (dvojice 4vstupových hradel NOR).

Řada *HC* (High speed CMOS) je rovněž vyráběna technologií CMOS. Vlastnosti unipolárních tranzistorů jsou optimalizovány na napětí 5 V. V této řadě jsou vyráběny nejenom obvody se stejnou funkcí jako v řadách TTL, resp. TTL-LS, ale i CMOS 4000. Tak si můžete koupit obvody 74HC00, ale i 74HC4002.

Přímým nástupcem řady HC je řada *HCT* (High speed CMOS compatible with TTL). Vlastnosti jsou upraveny tak, aby byly tyto obvody slučitelné (kompatibilní) s obvody TTL, resp. TTL-LS.

Poměrně často nás může zajímat otázka vzájemné slučitelnosti obvodů z různých rodin. Tedy jestli je možno vzájemně propojovat vstupy a výstupy obvodů různých rodin. Ne že by hrozilo poškození (to snad pouze v případě, že bychom používali obvod CMOS 4000 napájený vyšším napětím než 5 V), spíše jde o fakt rozdílné definice logických úrovní u jednotlivých rodin. Pro rychlou orientaci jsem sestavil tabulku 8.2. Symbolem \oplus jsou označeny kombinace, které jsou bezproblémové. Symbol \otimes označuje problémová spojení, které mohou selhávat. A konečně symbol \ominus označuje spojení, která nebudou fungovat správně nikdy.

Tabulka 8.2: Spojování různých rodin logických obvodů

Vstup / Výstup	TTL	TTL-LS	HC	HCT	CMOS
TTL	\oplus	\oplus	\otimes	\oplus	\otimes
TTL-LS	\oplus	\oplus	\otimes	\oplus	\otimes
HC	\ominus	\ominus	\oplus	\oplus	\oplus
HCT	\oplus	\oplus	\oplus	\oplus	\oplus
CMOS	\ominus	\ominus	\oplus	\oplus	\oplus

Připomeňme ještě, že se vyrábějí speciální obvody, které zajišťují konverzi logických úrovní mezi různými rodinami obvodů.

8.1.2 Pravdivostní tabulky funkcí

Logická funkce může být určena buď matematickým zápisem nebo tabulkou. V tabulce je vypsán stav výstupu pro jednotlivé kombinace vstupních stavů. Tabulka 8.3 vypisuje stavy jednovstupových logických obvodů, tabulka 8.4 platí pro dvouvstupová hradla.

¹Výhradní logický součet ($Y = A \oplus B = \overline{A} \cdot B + A \cdot \overline{B}$)

Tabulka 8.3: Tabulka funkcí jedné proměnné

	YES	NOT
A	$Y = A$	$Y = \bar{A}$
0	1	0
1	0	1

Tabulka 8.4: Tabulka funkcí

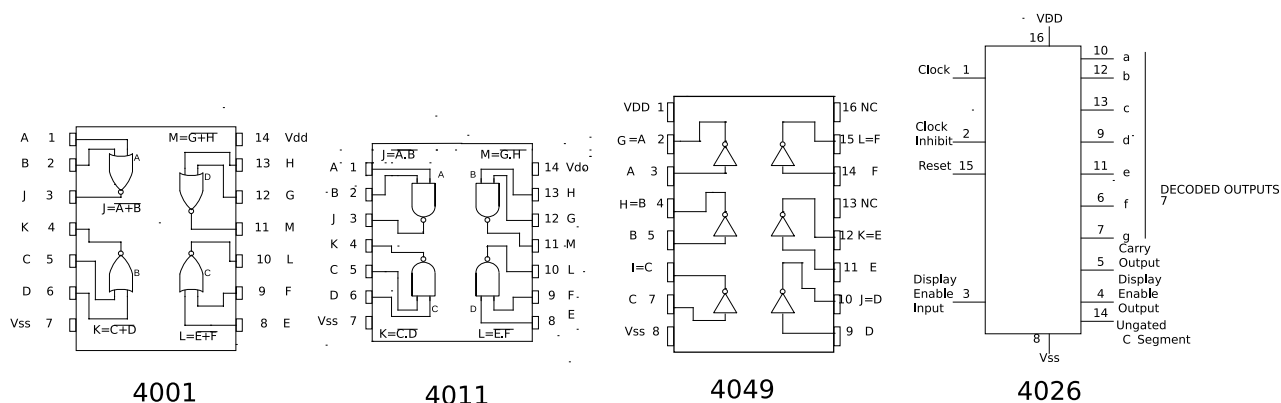
A	B	AND $Y = A \cdot B$	NAND $Y = \overline{A \cdot B}$	OR $Y = A + B$	NOR $Y = \overline{A + B}$	XOR $Y = A \oplus B$ ¹
0	0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0

Tabulka 8.5: Přehled obvodů CMOS 4000

Hradla	NAND	2 vstupy	4001, 4093, 4501, 4572, 40107	
		3 vstupy	4023	
		4 vstupy	4012	
		8 vstupů	4048, 4068	
	NOR	2 vstupy	4001, 4501, 4572	
		3 vstupy	4000, 4025	
		4 vstupy	4002	
		8 vstupů	4048, 4078	
	AND		4037, 4048, 4068, 4073, 4081, 4082	
	OR		4037, 4048, 4071, 4075, 4078, 4072	
	XOR (EX-OR)		4030, 4070, 4044,	
	AND-OR-INVERT		4048, 4085, 4086, 4506	
	NOT		4000, 4007, 4041, 4069, 4572, 4584, 40106	
	BUFFER	Invert.	4009, 4041, 4049, 4502, 40098, 40107	
		Neinv.	4010, 4041, 4050, 4054, 4503, 40097	
Převodník úrovně	Invert.	4104		
	Neinv.	4104, 4504, 40106		
SKO		4093, 4504, 40109		
Klopné obvody	D		4013, 4076	
	JK		4027, 4095, 4096	
Čítače	BCD		4018, 4026, 4029, 4033, 4059, 4510, 4518, 4522, 4534, 4553, 4566, 4569, 40102	
	BIN		4020, 4024, 4029, 4040, 4045, 4060, 4516, 4520, 4521, 4526, 4568, 4569	
	Johnsonovy		4017, 4022, 40110	
	Vratné		4029, 4510, 4516, 4522, 4526, 40110	
Registry	Posuvné		4006, 4014, 4015, 4021, 4031, 4034, 4035, 4062, 4094, 4517, 4557, 4562, 40100, 40104	
	Adresovatelné		4580, 40108	
	Aproximační		4549, 4559	
Dekodéry	1 z X		4028, 4514, 4515, 4555, 4556	
	BCD/7seg		4026, 4033, 4055, 4056, 4311, 4511, 4513, 4543, 4544, 4547, 4558	
Multiplexory	Číslicové		4019, 4512, 4519, 4539	
	Analogové		4051, 4052, 4053, 4067, 4097, 4351, 4352, 4353, 4529, 4551	
	Spínače		4016, 4066, 4316	
Střadače		4042, 4043, 4044, 4099, 4508, 4597, 4598		
Časovače		4047, 4098, 4528, 4536, 4538, 4541, 4548		

8.1.3 Zapojení některých obvodů CMOS

V tabulce 8.5 naleznete přehled vyráběných obvodů CMOS. Zapojení pouzder několika základních obvodů naleznete na obrázku 8.1.



Obrázek 8.1: Zapojení IO 4001 (4 × 2 NOR); zapojení IO 4011 (4 × 2 NAND); zapojení IO 4049 (6 × NOT); zapojení IO 4026 (Převodník BCD na 7seg zobrazovač)

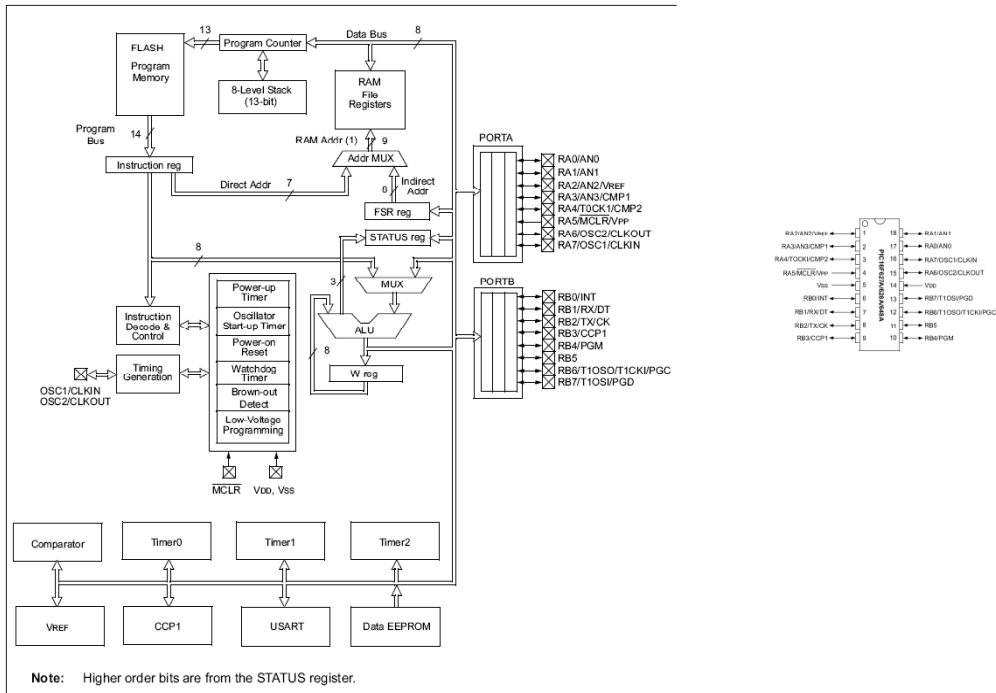
8.2 Mikrokontroléry

8.2.1 Úvod

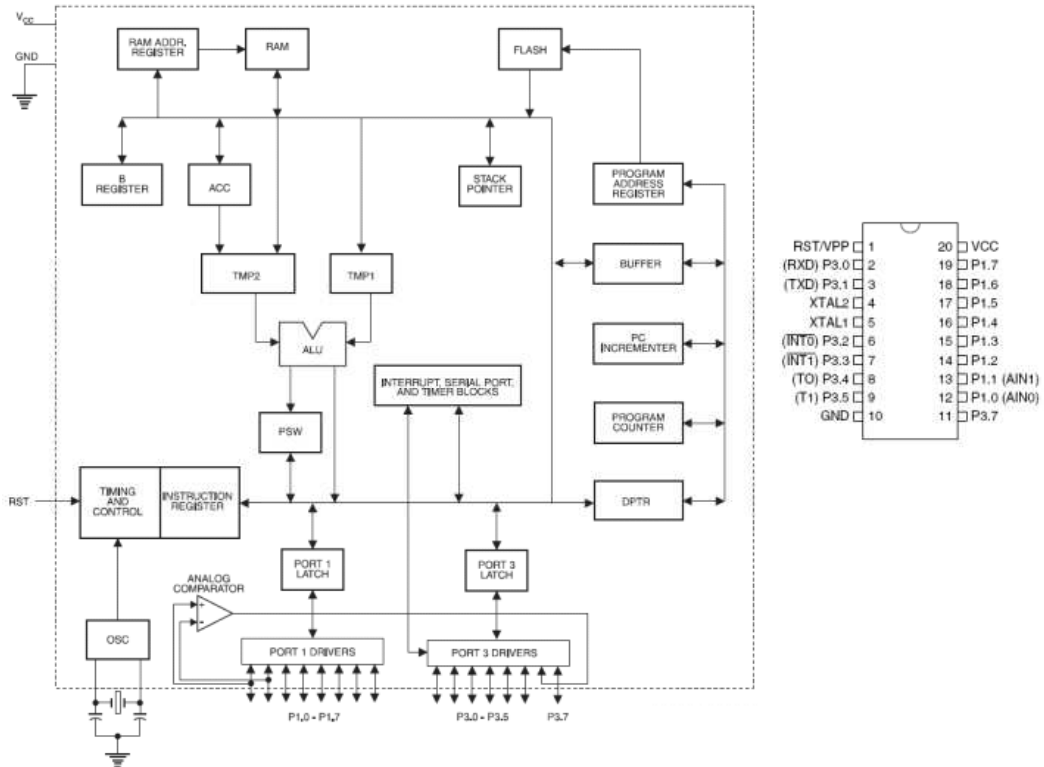
Svět elektroniky se prudce rozvíjí. Na začátku stály primitivní obvody složené z elektromechanických součástí. Postupem času se objevily tranzistory, integrované obvody a dnes se začínají téměř všude používat takzvané mikrokontroléry. Mikrokontrolér je součástka často přirovnávána jednoduchému počítači. V jedné součástce je totiž obsažen „CPU“, programová nonvolatilní paměť, často datová nonvolatilní paměť, operační paměť RAM a různorodé periferní obvody. Postupem času prošly mikrokontroléry (MCU) rychlým vývojem. První MCU byly 4-bitové, bez programové a datové paměti. Následovaly jednoduché 8bitové. S vyšší integrací součástí na jeden čip se stávaly MCU „chytřejšími“, postupně přibývaly MCU s programovou pamětí, často OTP (Once Time Programmable) nebo EPROM (Electric Programmable Read-Only Memory) s mazacím okénkem. Následovaly EEPROM (Electric Erasable Programmable Read-Only Memory) a současně nejvíce využívané paměti FLASH. V posledních letech přišly na trh i 16bitové MCU a 32bitové MCU. S postupem integrace se na čipu začaly objevovat takzvané periferní obvody. Mezi periferní obvody se řadí například časovače a čítače, komunikační obvody, řadiče LED a LCD drivery, A-D převodníky a další. Dnešní nabídka MCU je nesmírně pestrá, a tak lze pro danou aplikaci použít MCU, který svými parametry nejvíce vyhovuje. Výrobci MCU je celá řada, mezi nejznámější patří ATMEL, Microchip, Texas Instruments, NEC a další.

Současné MCU jsou postaveny především na harvardské architektuře. Ta umožňuje použít různou šířku sběrnice pro data a program. Dále je zobrazena architektura dvou 8bitových MCU.

Běh obvodu je řízen zdrojem hodin, buď zvenčí (krystal, RC člen, externí zdroj hodin) nebo zevnitř (zpravidla RC člen). Druhy a počet možných zdrojů hodin je závislý na typu obvodu. Hodiny řídí běh programu pomocí programového čítače. Programový čítač ukazuje na právě prováděnou instrukci. Tato instrukce je dekodována a dále řídí typ zpracování, buď je zpracována speciálními obvody, nebo ALU jednotkou. ALU jednotka zpracovává všechny vý-



Obrázek 8.2: Architektura PIC16F628A



Obrázek 8.3: Architektura AT89C2051

početní operace a také přesuny dat. Výsledek z ALU je uložen do tzv. „pracovního registru“, nebo zpátky do RAM.

Přes paměť RAM komunikuje MCU s okolím. MCU často obsahuje takzvaný, tj. obvod, který přeruší běh hlavního programu a skočí do předem dané pozice v programu. Možnosti přerušení jsou široké, neboť dokáží velmi zjednodušit samotný program. Řadič přerušení pracuje zjednodušeně takto: *Některá periférie aktivuje bit přerušení v daném registru a řadič přeruší program, pokud je toto přerušení povoleno. Pokud ne, hlavní program běží beze změn a přerušení je potlačeno.* Tomuto způsobu se říká maskované přerušení. Pomocí programu lze kdykoli tato přerušení povolovat a zakazovat. MCU má i nemaskovaná přerušení a mezi ně patří hlavně externí reset programu(MCU) a přerušení WDT.

Každý MCU obsahuje jednu nebo více periférií. Periférie je takový obvod, který dokáže pracovat v MCU bez závislosti na běhu programu. Předpokládá se, že tato periférie je povolena a nastavena. Po resetu MCU jsou všechny periférie obvykle zakázány. Mezi periférie se řadí WDT (Watch Dog Timer), čítač-časovač a další specifické pro typ MCU, například analogové komparátory,

ADC(Analog to Digital Converter), operační zesilovače, PWM (Pulse Width Modulation) moduly, USART(Universal Synchronous and Asynchronous Reciever Transmitter) a další. Vzhledem k neustálému vývoji součástek přibývají další typy periférií. MCU může s těmito perifériemi komunikovat a nastavovat je. To se děje přes tzv. SFR (Special Function Register), je to místo v RAM, které má přesně dané funkce. Pomocí těchto registrů lze periférie nastavovat, povolovat, číst z nich a zapisovat do nich. Dále je lze využít i jako zdroje přerušení s tím, že je můžeme libovolně povolovat a zakazovat v oblasti RAM, kde řadič přerušení bere informace o přerušeních. Téměř každá periférie dokáže měnit běh programu, i když běží nezávisle.

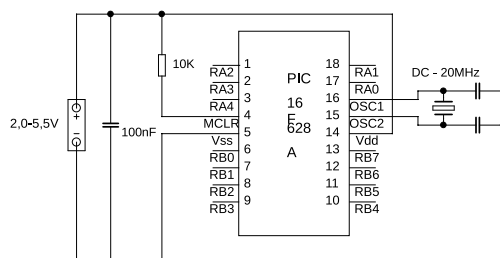
Programování MCU je zprostředkováno programátorem, který nahraje speciální soubor z počítače do programové, datové a kalibrační paměti v MCU. Programátor také dokáže číst program, data i kalibrační data z MCU do počítače, popřípadě i srovnávat. Každý výrobce má svůj unikátní proces programování a čtení. Některé MCU se programují paralelním přenosem dat, jiné sériovým přenosem. Konkrétní řešení naleznete na stránkách výrobců.

Napájení těchto obvodů je obvykle 5V, v současné době se 16-bitové napájejí často jen 3,6V. Programovací napětí je zpravidla vyšší a závisí na typu paměti. Obvykle se pohybuje okolo 12V.

8.2.2 MCU firmy Microchip

Microchip je americká firma zabývající se především výrobou a vývojem mikrokontrolérů a digitálních signálních procesorů o šířce datové sběrnice 8, 16 a 32 bitů. Dále vyrábí speciální číslicové integrované obvody, analogové obvody (zpravidla napájené nízkým napětím do 5V) a paměti. Nabízí plnou podporu vývoje s těmito součástkami a převážně bezplatný software. Pro programování nabízí široce používané prostředí MPLab IDE.

Mikrokontroléry jsou postaveny na harvardské architektuře. MCU jsou rozděleny do rodin PIC10, PIC12, PIC16 a PIC18 jako 8-bitové, PIC24, dsPIC30 jako 16-bitové a sPIC33 jako 32-bitové. Každá z těchto rodin má svá specifika a odlišnosti ve vnitřní struktuře obvodu, instrukční soubor je však v podstatě stejný, samozřejmě s jistými omezeními nebo rozšířeními u jednotlivých rodin. Takže pokud se naučíte používat instrukční soubor, například rodiny PIC16, bez větších problémů můžete přejít k rodině jiné (8-bitových MCU). Každá rodina obsahuje až několik desítek typů MCU, které se liší velikostí paměti a také počtem a typem



Obrázek 8.4: Základní zapojení MCU

jednotlivých periférií. Pro danou aplikaci tak můžete použít nevhodnější typ MCU.

8.2.3 Instrukční soubor PIC16F628A

Instrukční soubor je seznam všech instrukcí použitých u daného MCU, jejich podrobný popis a příklad použití. V tabulce 8.6 je uveden seznam instrukcí, binární reprezentace, popis funkce, a co ovlivní ve STATUS registru.

Popis zkratk:

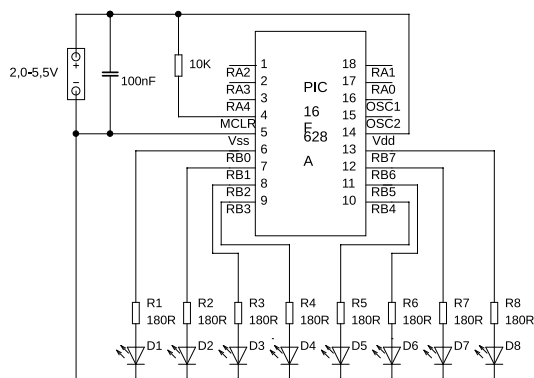
- f – adresa registru ($00_{HEX}-7F_{HEX}$)
- W – výsledek operace je uložen do pracovního registru
- b – poloha jednotlivého bitu v bytu
- k – literál (konstanta)
- x – na hodnotě nezáleží, pro assembler se generuje 0
- d – cíl operace, když $d = 0 \Rightarrow$ cíl je W , když $d = 1 \Rightarrow$ cíl je registr f
- C – carry bit
- DC – digit(4 bity) carry
- Z – zero
- TO – time out bit
- PD – power-down bit

8.2.4 Běžící světlo s PIC16F628A

Jednoduchý program v tabulce 8.7 posouvá svítící LED postupně vlevo asi po cca jedné vteřině. Pokud svítí poslední LED, potom za cca 1 s bude svítit první, a celý cyklus se neustále opakuje. Program demonstruje základní konstrukci programu, tj. definice, inicializace, hlavní smyčka, vedlejší smyčky, pojistky a konec souboru.

Tabulka 8.6: Tabulka instrukční sady

INSTRUKCE	POPIS	14-BITOVĚ	OVLIVNÍ VE STATUS
ADDWF f,d	Sečte W a f	0 0 0 1 1 1 d f f f f f f f	C, DC, Z
ANDWF f,d	Logický součin W a f	0 0 0 1 0 1 d f f f f f f f	Z
CLRF f	Smaže f	0 0 0 0 0 1 f f f f f f f f	Z
CLRW -	Smaže W	0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1	Z
COMF f,d	Komplement f	0 0 1 0 0 1 d f f f f f f f	Z
DECf f,d	Odečte 1 od f	0 0 0 0 1 1 d f f f f f f f	Z
DECFSZ f,d	Odečte 1 od f, skočí když 0	0 0 1 0 1 1 d f f f f f f f	
INCF f,d	Přičte 1 k f	0 0 1 0 1 0 d f f f f f f f	Z
INCFSZ f,d	Přičte 1 k f, skočí když 0	0 0 1 1 1 1 d f f f f f f f	
IORWF f,d	Inclusive OR mezi W a f	0 0 0 1 0 0 d f f f f f f f	Z
MOVF f,d	Přesune f	0 0 1 0 0 0 d f f f f f f f	Z
MOVWF f	Přesune W do f	0 0 0 0 0 1 f f f f f f f f	
NOP -	Žádná operace	0 0 0 0 0 0 0 x x 0 0 0 0 0	
RLF f,d	Rotace vlevo f přes Carry	0 0 1 1 0 1 d f f f f f f f	
CRRF f,d	Rotace vpravo f přes Carry	0 0 1 1 0 0 d f f f f f f f	C
SUBWF f,d	Rozdíl W a f (f - W)	0 0 0 0 1 0 d f f f f f f f	C, DC, Z
SWAPF f,d	Prohodí horní a dolní 4 bity	0 0 1 1 1 0 d f f f f f f f	
XORWF f,d	Exklusivní OR mezi W a f	0 0 0 1 1 0 d f f f f f f f	Z
BCF f,b	Resetuje bit v f	0 1 0 0 b b b f f f f f f f	
BSF f,b	Nastaví bit v f	0 1 0 1 b b b f f f f f f f	
BTFSC f,b	Test bitu v f, přeskočí když 0	0 1 1 0 b b b f f f f f f f	
BTFSS f,b	Test bitu v f, přeskočí když 1	0 1 1 1 b b b f f f f f f f	
ADDLW k	Součet literálu a W	1 1 1 1 1 x k k k k k k k k	C, DC, Z
ANDLW k	Logický součin literálu a W	1 1 1 0 0 1 k k k k k k k k	Z
CALL k	Volání podprogramu	1 0 0 k k k k k k k k k k	
CLRWDT -	Smaže Watchdog Timer	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0	TO, PD
GOTO k	Jdi na adresu	1 0 1 k k k k k k k k k k	
IORLW k	Inclusive OR literálu s W	1 1 1 0 0 0 k k k k k k k k	Z
MOVLW k	Přesune literál do W	1 1 0 0 x x k k k k k k k k	
RETFIE -	Návrat z přerušení	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1	
RETLW k	Návrat s literálem ve W	1 1 0 1 x x k k k k k k k k	
RETURN -	Návrat z podprogramu	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	
SLEEP -	Přejde do Stand-by módu	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1	TO, PD
SUBLW k	Rozdíl literálu a W (l - W)	1 1 1 1 0 x k k k k k k k k	C, DC, Z
XORLW k	Exlusivní OR literálu a W	1 1 1 0 1 0 k k k k k k k k	Z



Obrázek 8.5: Schéma zapojení

8.2.5 Programátor

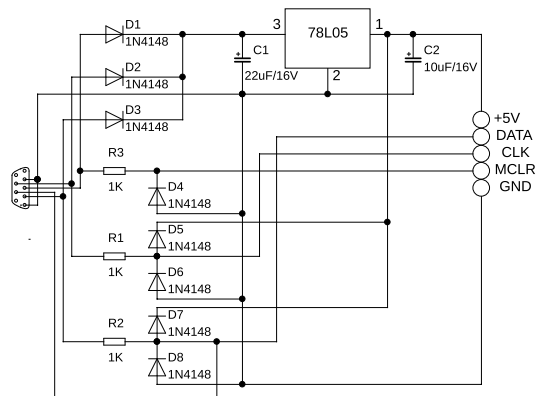
Každý MCU potřebuje ke své funkci nahrát program do své programové paměti. K tomu slouží programátor. Je to obvod, který obvykle pouze upravuje úroveň signálů mezi počítačem a danou součástkou. Schéma programátoru zobrazené níže spolupracuje s programem Ic-prog[11].

Tabulka 8.7: Vypis programu běžícího světla

```

INCLUDE <P16F628A.INC>
BCLOCK 020H
WTO,   WT1
WT2,   WT3
ENDC
ORG    0000H
INIT
BCF    STATUS,RP1      ;nastavení periferií MCU
BSF    STATUS,RPO      ;banka 1
CLRF   TRISB           ;port B jako výstup
CLRF   TRISA           ;port A jako výstup
BCF    STATUS,RPO      ;banka 0
MOVLW  007H
MOVWF  CMCON           ;zakázání komparátoru
MOVLW  001H           ;zapni LED 1 a ostatní vypni
MOVWF  PORTB
BEGIN
RLF    PORTB,W         ;posun o jednu LED vpravo
RLF    PORTB,F         ;čekej
CALL   WAIT
GOTO   BEGIN
WAIT
MOVLW  004H           ;smýčka asi 1 sec
MOVWF  WT2
WAIT1
DECFSZ WTO,F
GOTO   WAIT1
DECFSZ WT1,F
GOTO   WAIT1
DECFSZ WT2,F
GOTO   WAIT1
RETURN
ORG    2007H          ;uložení pojistek
DW     3F70           ;INTRC-I/O, MCLR, BOR, PWRTEN
END      ;konec programu

```



Obrázek 8.6: Programátor

Část III

Rozšíření a doplňky

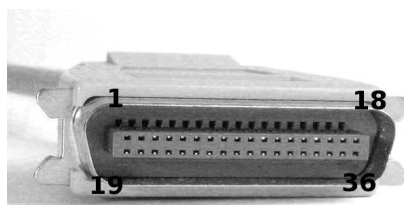
Kapitola 9

Zapojení konektorů vybraných zařízení

9.1 PC

9.1.1 LPT – Tiskový kabel (centronic)

Zapojení kabelu propojujícího tiskárnu a konektor LPT počítače naleznete v tabulce 9.1. Konektory jsou na obrázcích 9.1 a 9.2.



Obrázek 9.1: Zasuvka IEEE 1284



Obrázek 9.2: Konektor Centronic 25



Obrázek 9.3: Konektor Centronic 9

Tabulka 9.1: Zapojení konektorů LPT

	25-DSub	36-Cen
Strobe	1	1
Data Bit 0	2	2
Data Bit 1	3	3
Data Bit 2	4	4
Data Bit 3	5	5
Data Bit 4	6	6
Data Bit 5	7	7
Data Bit 6	8	8
Data Bit 7	9	9
Acknowledge	10	10
Busy	11	11
Paper Out	12	12
Select	13	13
Autofeed	14	14
Error	15	32
Reset	16	31
Select	17	36
Signal Ground	18	33
Signal Ground	19	19, 20
Signal Ground	20	21, 22
Signal Ground	21	23, 24
Signal Ground	22	25, 26
Signal Ground	23	27
Signal Ground	24	28, 29
Signal Ground	25	30, 16
Shield	Shield	Shield+17

9.1.2 COM – Modem 9pin – 25pin

Zapojení kabelu k propojení modemu (25pin) a COM portu počítače naleznete v tabulce 9.2. Konektory jsou na obrázcích 9.2 a 9.3.

Tabulka 9.2: Modem 9 – 25

	PC	Modem
Shield		1
Transmit Data	3	2
Receive Data	2	3
Request to Send	7	4
Clear to Send	8	5
Data Set Ready	6	6
System Ground	5	7
Carrier Detct	1	8
Data Terminal Ready	4	20
Ring Indicator	9	22

9.1.3 COM – Modem 25pin – 25pin

Zapojení kabelu k propojení modemu (25) a COM portu počítače naleznete v tabulce 9.3. Konektory jsou na obrázku 9.2.

9.1.4 COM – Nullmodem 9pin – 9pin

Zapojení kabelu k propojení dvou počítačů pomocí COM portu naleznete v tabulce 9.4. Konektory jsou na obrázku 9.3.

Tabulka 9.3: Modem 25 – 25

	Samice	S
Shield Ground	1	1
Transmit Data	2	2
Receive Data	3	3
Request to Send	4	4
Clear to Send	5	5
Data Set Ready	6	6
System Ground	7	7
Carrier Detect	8	8
Data Terminal Ready	20	20
Ring Indicator	22	22

Tabulka 9.4: NullModem 9

	D-Sub1	D-Sub 2	
Receive Data	2	3	Data Transmit
Transmit Data	3	2	Receive Data
Data Terminal Ready	4	6, 1	Data Set Ready, Carrier Detect
System Ground	5	5	System Ground
Data Set Ready, Carrier Detect	6, 1	4	Data Terminal Ready
Request to Send	7	8	Clear to Send
Clear to Send	8	7	Request to Send

9.1.5 COM – Nullmodem 25pin – 25pin

Zapojení kabelu k propojení dvou počítačů pomocí COM portu naleznete v tabulce 9.5. Konektory jsou na obrázku 9.2.

Tabulka 9.5: NullModem 25

	D-Sub 1	D-Sub 2	
Receive Data	3	2	Transmit Data
Transmit Data	2	3	Receive Data
Data Terminal Ready	20	6, 8	Data set Ready, Carrier Detect
System Ground	7	7	System Ground
Data Set Ready, Carrier Detect	6, 8	20	Data Terminal Ready
Request to Send	4	5	Clear to Send
Clear to Send	5	4	Request to Send

9.1.6 COM – Modem 9pin – 25pin

Zapojení kabelu k propojení modemu (25) a COM portu počítače naleznete v tabulce 9.6. Konektory jsou na obrázcích 9.2 a 9.3.

Tabulka 9.6: Modem 9 – 25

	PC	Modem
Shield		1
Transmid Data	3	2
Receive Data	2	3
Request to Send	7	4
Clear to Send	8	5
Data Set Ready	6	6
System Ground	5	7
Carrier Detect	1	8
Data Terminal Ready	4	20
Ring Indicator	9	22

9.1.7 COM – redukce – 9pin – 25pin

Zapojení redukce DB25 na DB9 naleznete v tabulce 9.7. Konektory jsou na obrázcích 9.2 a 9.3.

Tabulka 9.7: Redukce 9 – 25

	9-Pin	25-Pin
Carrier Detect	1	8
Receive Data	2	3
Transmit Data	3	2
Data Terminal Ready	4	20
System Ground	5	7
Data Set Ready	6	6
Request to Sent	7	4
Clear to Send	8	5
Ring Indicator	9	22



Obrázek 9.4: Zástrčka miniDIN

9.1.8 COM – PS/2 redukce

Zapojení kabelu k připojení myši na COM port počítače naleznete v tabulce 9.8. Konektory jsou na obrázcích 9.4 a 9.3.

Tabulka 9.8: Myš COM – PS/2

	Mini-DIN	D-SUB	
GND	3	5	GND
RxD	2	2	RxD
TxD	6	3	TxD
+5 V	4	7	RTS

9.1.9 Klávesnice – redukce – DIN – MiniDIN

Zapojení redukce pro připojení klávesnice s portem DIN do počítače s portem miniDIN naleznete v tabulce 9.9. Zapojení konektorů naleznete na obrázku 9.5 a 9.4.

9.1.10 Klávesnice – redukce – MiniDIN – DIN

Zapojení redukce pro připojení klávesnice s portem miniDIN do počítače s portem DIN naleznete v tabulce 9.10. Zapojení konektorů naleznete na obrázku 9.5 a 9.4.



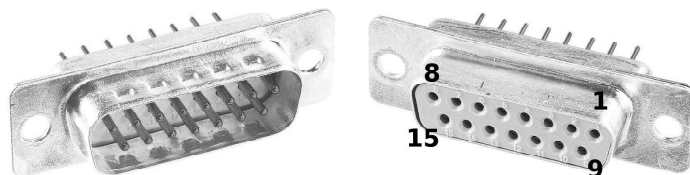
Obrázek 9.5: Zástrčka DIN

Tabulka 9.9: Redukce klávesnice DIN-MiniDIN

	Mini-DIN	DIN
Shield	Shield	Shield
Data	1	2
Ground	3	4
+5 V_{DC}	4	5
Clock	5	1

Tabulka 9.10: Klávesnice MiniDin – DIN

	Mini-DIN	DIN
Shield	Shield	Shield
Clock	1	5
Data	2	1
Ground	4	3
+5 V_{DC}	5	4



Obrázek 9.6: Zásuvka Centronix – 15pin

9.1.11 Joystick – redukce – Pc – Joy1 a Joy2

Zapojení redukce k připojení dvou joysticků k jednomu portu počítače naleznete v tabulce 9.11. Zapojení konektorů je na obrázku 9.6.

9.1.12 Grafická karta – DVI

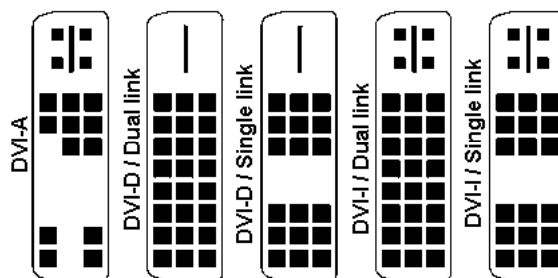
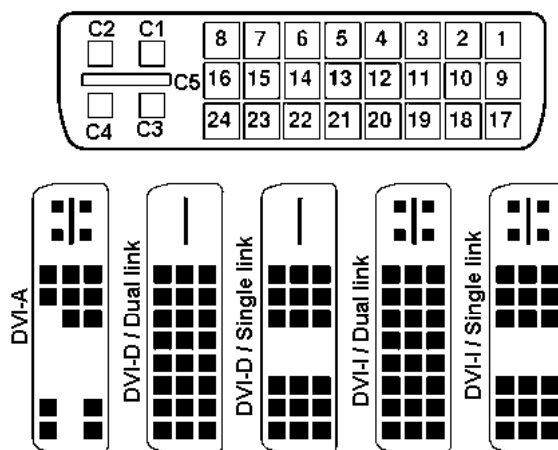
Konektor DVI slouží k připojení zobrazovacího zařízení k počítači. Vede analogové i digitální signály. Popis vývodů konektoru je v tabulce 9.12, číslování a zapojení jednotlivých verzí konektoru je na obrázku 9.7. Na obrázku 9.8 je pohled na konektor DVI2.

9.1.13 Grafika – Redukce 9pin – 15pin VGA

Zapojení redukce pro připojení novějšího VGA monitoru ke staré grafické kartě naleznete v tabulce 9.13. Konektory naleznete na obrázku 9.9 a 9.3.

Tabulka 9.11: Redukce joysticku

+5 V_{DC}	1	1	-
Button 1	2	2	
Joystick 1 - X	3	3	
Ground	4	4	4
Ground	5	5	5
Joystick 1 - Y	6	6	
Button 2	7	7	
+5 V_{DC}	8	8	
+5 V_{DC}	9	9	1
Button 4	10	10	2
Joystick 2 - X	11	11	3
Ground	12	12	
Joystick 2 - Y	13	13	6
Button 3	14	14	7
+5 V_{DC}	15	15	8



Obrázek 9.7: Zapojení zásuvek DVI



Obrázek 9.8: Zásuvka DVI-2

9.1.14 Datová síť – Ethernet 10/100Base

Zapojení datových kabelů pro ethernetovou síť naleznete v tabulce 9.14 a 9.15. Překřížený kabel slouží k přímému propojení dvou počítačů. Zapojení konektoru je na obrázku 9.10.

Tabulka 9.12: Konektor DVI

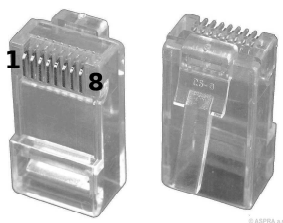
Pin	Popis	Pin	Popis	Pin	Popis	Pin	Popis
1	TMDS Data 2-	9	TMDS Data 1-	17	TMDS Data 0-	C1	Analog red
2	TMDS Data 2+	10	TMDS Data 1+	18	TMDS Data 0+	C2	Analog green
3	TMDS Data 2 Shield	11	TMDS Data 1 Shield	19	TMDS Data 0 Shield	C3	Analog blue
4	No Connection	12	No Connection	20	No Connection	C4	Analog Horizontal Sync.
5	No Connection	13	No Connection	21	No Connection	C5	Analog Ground (analog R, G & B return)
6	DDC Clock	14	+5V Power	22	TMDS Clock Shield		
7	DDC Data	15	Ground (for +5V)	23 TMDS Clock+			
8	No Connection	16	Hot Plug Detect	24 TMDS Clock -			



Obrázek 9.9: Zásuvka VGA – 15pin

Tabulka 9.13: Redukce VGA 9 – 15

	9-Pin	15-Pin
Red Video	1	1
Green Video	2	2
Blue Video	3	3
Horizontal Sync	4	13
Vertical Sync	5	14
Red GND	6	6
Green GND	7	7
Blue GND	8	8
Sync GND	9	10, 11



Obrázek 9.10: Zástrčka RJ-45

Tabulka 9.14: UTP – překřížený

Name	Pin	Cable Color	Pin	Name
TX+	1	White/Orange	3	RX+
TX-	2	Orange	6	RX-
RX+	3	White/Green	3	TX+
	4	Blue	4	
	5	White/Blue	1	
RX-	6	Green	2	TX-
	7	White/Brown	7	
	8	Brown	8	

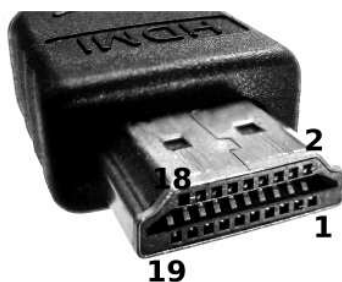
9.2 Audio – Video

9.2.1 HDMI

Konektor HDMI slouží pro připojení zařízení standardu vysokého rozlišení obrazu. Popis konektoru najdete v tabulce 9.16. Pohled na konektor je na obrázku 9.11.

Tabulka 9.15: UTP – nepřekřížený

Name – PC	Pin	Cable Color	Pin	Name – HUB
TX+	1	White/Orange	1	RX+
TX-	2	Orange	2	RX-
RX+	3	White/Green	3	TX+
	4	Blue	4	
	5	White/Blue	5	
RX-	6	Green	6	TX-
	7	White/Brown	7	
	8	Brown	8	



Obrázek 9.11: Zástrčka HDMI

Tabulka 9.16: Zapojení konektorů HDMI

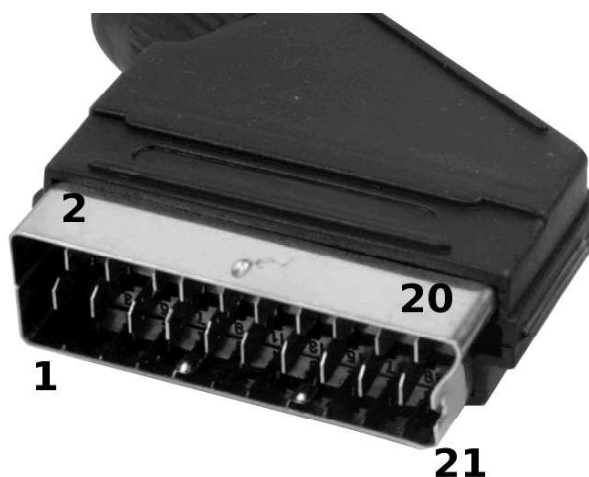
Pin	Popis	Pin	Popis	Pin	Popis
1	TMDS Data2+	8	TMDS Data0 Shield	15	SCL
2	TMDS Data2 Shield	9	TMDS Data0-	16	SDA
3	TMDS Data2-	10	TMDS Clock+	17	DDC/CEC Ground
4	TMDS Data1+	11	TMDS Clock Shield	18	+5 V Power (max 50 mA)
5	TMDS Data1 Shield	12	TMDS Clock-	19	Hot Plug Detect
6	TMDS Data1-	13	CEC		
7	TMDS Data0+	14	Reserved (N.C. on device)		

9.2.2 SCART TV – Video

Konektor SCART slouží k propojení audio-video zařízení s analogovým zpracováním signálu. Zapojení konektoru naleznete v tabulce 9.17. Pohled na konektor je na obrázku 9.12.

9.3 Telefonní konektor

Zapojení telefonního konektoru naleznete v tabulce 9.18. Pohled na konektor je na obrázku 9.13.



Obrázek 9.12: Zástrčka SCART

Tabulka 9.17: Zapojení konektorů SCART

	TV	VCR	
Audio Right Out	1	2	Audio Right In
Audio Right In	2	1	Audio Right Out
Audio Left Out	3	6	Audio Left In
Audio Left In	6	3	Audio Left Out
Audio Ground	4	4	Audio Ground
Red	15	15	Red
Red Ground	13	13	Red Ground
Green	11	11	Green
Green Ground	9	9	Green Ground
Blue	7	7	Blue
Blue Ground	5	5	Blue Ground
Status / 16:9	8	8	Status / 16:9
Reserved	10	10	Reserved
Reserved	12	12	Reserved
Fast Blanking Ground	14	14	Fast Blanking Ground
Fast Blanking	16	16	Fast Blanking
Video Out Ground	17	18	Video In Ground
Video In Ground	18	17	Video Out Ground
Video Out	19	20	Video In
Video In Ground	20	19	Video Out
Ground	21	21	Ground



Obrázek 9.13: Zástrčka RJ-11

Tabulka 9.18: Zapojení telefonního konektoru

Pořadové číslo	České značení	Zahraniční značení	Barva vodiče
1		Zem - z	modrá
2	Zvonek - c	Vodič - a2	žlutá
3	Vodič - a	Vodič - a	zelená
4	Vodič - b	Vodič - b	rudá
5	Zem - d	Vodič - b2	černá
6		Vodič - d	bílá

Kapitola 10

Přepětová ochrana

Přepětové ochrany chrání elektrická zařízení před poškozením izolace vyšším přepětím, než které je schopná izolace vydržet. Nazývají se také jako „bleskojistky“ nebo „svodiče přepětí“. Za přepětí můžeme považovat napětí (U), které je $2\times$ větší než jmenovité napětí (U_n). Překročení jmenovité hodnoty napětí U_n o 10–20 % je považováno za normální provozní stav. Nastavená ochranná hladina, kdy přepětová ochrana začne omezovat napětí průchodem vnitřního proudu, musí být nižší, než je izolační hladina zařízení.

10.1 Druhy přepětových ochran

10.1.1 Polovodičové ochrany

Využívají nelineárních V – A charakteristik, kdy se součástka začne rychle otevírat, jsou trvale připojeny ke spotřebiči. V oblasti malého napětí (mV, řádově 1–10 V) se využívá závěrného směru Zenerových diod. Pro střídavé obvody se musí zapojit dvě Zenerovy diody antisériově. V oblasti nízkého napětí (mV, řádově 100 V) se používají napětově závislé odpory (varistory).

10.1.2 Ochranné jiskřiště

Vytvářejí po průrazu dielektrika přechodné zemní zkratové spojení, samy však nejsou schopny vzniklý oblouk zhasnout (pojistky). Používají se jako pomocné svodiče u vysokonapětových (vN) průchodek a izolátorů, mají ale velký rozptyl zapalovacích napětí.

10.1.3 Růžková bleskojistka

Podobně jako u jiskřiště vznikne oblouk v nejužším místě, vlivem ohřevu vzduchu a silovými účinky vlastního magnetického pole je oblouk vytlačován vzhůru a na koncích růžků pak uhasne. Používá se pro ochranu trakčních vedení a úsečníků.

10.1.4 Vyfukovací trubice

Obsahuje zapalovací a hlavní jiskřiště. Elektrický oblouk hlavního jiskřiště rozkládá izolační materiál trubice za vzniku plynů o vysokém tlaku, který zháší oblouk, plameny však šlehají až několik metrů.

10.1.5 Ventilová bleskojistka

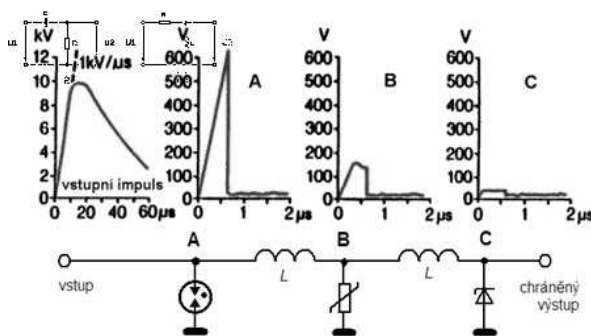
Obsahuje sériově zařazená jiskřiště s odporovými bloky (varistory). Přepětí svede do země, při poklesu napětí varistory zvětší svůj odpor a oblouk jiskřiště zhasne. Používá se zejména pro velmi vysoká napětí.

10.1.6 Průrazka

Při vysokém napětí vytvoří trvalý zemní zkrat, proud nevypíná.

10.2 Obvodové zapojení přepěťových ochran

Jak plyne z předchozích rozborů, neexistuje univerzální ochranný přepěťový prvek (součástka), který by vyhověl všem – často protichůdným požadavkům na přepěťovou ochranu jakéhokoli elektronického zařízení. Hlavními protikladnými požadavky v tomto směru bývají vysoký propustný proud a vysoké výkonové zatížení součástky na jedné straně a rychlost reakce přepěťové ochrany na straně druhé. Pro účinnou přepěťovou ochranu se proto ochranné obvody zapojují prakticky vždy jako tzv. kombinované ochrany tvořené kaskádním zapojením několika typů ochranných prvků do společného vedení. Typický příklad je uveden na obrázku 10.1.

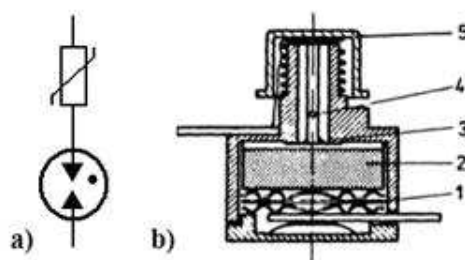


Obrázek 10.1: Zapojení třístupňové kombinované ochrany a průběhy napětí v jednotlivých bodech

Zapojení je tvořeno kombinací plynem plněné bleskojistky jako hrubé přepěťové ochrany a kaskádou varistoru a supresorové Zenerovy diody jako jemných přepěťových ochran. Jak je naznačeno na napěťových průbězích v jednotlivých bodech zapojení na obrázku 10.1, bleskojistka omezí špičkovou velikost strmého vstupního přepěťového impulsu přibližně na 600 V, tuto hodnotu pak varistor omezí přibližně na 150 V, a následně Zenerova dioda sníží toto omezení na úroveň přibližně 40 V. Protože rychlejší prvky jemné ochrany by reagovaly dříve než výkonová, leč pomalejší hrubá ochrana (bleskojistka), omezily by tyto prvky vstupní napěťovou vlnu dříve. Tím by však došlo jednak k vyřazení hrubé ochrany (bleskojistka by vůbec „nezapálila“), jednak k nepřipustnému přetížení prvků jemné ochrany příliš vysokým napětím. Z tohoto důvodu je třeba jednotlivé stupně kombinované ochrany oddělit zpožďovacími články LC či RC , které jsou tvořeny buď sériovými indukčnostmi $> 20 \mu\text{H}$ (obrázek 10.1), nebo rezistory s odporem $> 5 \Omega$. Příslušnou kapacitu zde tvoří vlastní kapacita ochranného přepěťového prvku. Při montáži hrubých a jemných ochran do napájecích rozvodů nízkého

napětí se k vytvoření těchto oddělovacích zpožďovacích článků někdy využívá přímo impedance příslušných kabelů. Tyto ochrany pak nesmějí být vzájemně montovány blíže než asi 6 m. Uvedeným kaskádním zapojením lze vytvořit univerzální přepěťovou ochranu s vysokou výkonovou zatížitelností a zároveň se všemi výhodami jemných ochran.

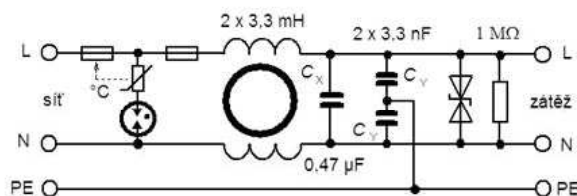
Jednotlivé přepěťové ochranné prvky se často vzájemně kombinují i z dalších důvodů. Je například známo, že plynem plněné bleskojistky chránící napájecí síť nízkého napětí po svém zažhnutí a odeznění přepěťového impulsu zpravidla nezhasnou. Aby bylo zhasnutí umožněno, zapojí se do série s bleskojistkou varistor dle obrázku 10.2.



Obrázek 10.2: Ventilová bleskojistka: a) zapojení; b) konstrukce (1 – bleskojistka, 2 – varistor, 3 – tavná pojistka 5 A, 4 – tavná pojistka 100 A, 5 – mechanická signalizace nevratného vypnutí ventilu – přetavení jedné z pojistek)

Aby tato kombinace, označovaná jako ventilová bleskojistka, po zapálení bezpečně opět zhasla, musí být použitý varistor poměrně vysokoohmový. Varistor tak výrazně snižuje velikost následně tekoucího proudu ze sítě po zapálení výbojky, a tím umožní bleskojistce bezpečně zhasnout při průchodu střídavého vstupního napětí nulou. Pro bezpečné přerušování vysokých svodových proudů bývají ventilové bleskojistky vybaveny i jednou či dvěma tavnými pojistkami (obrázek 10.2b).

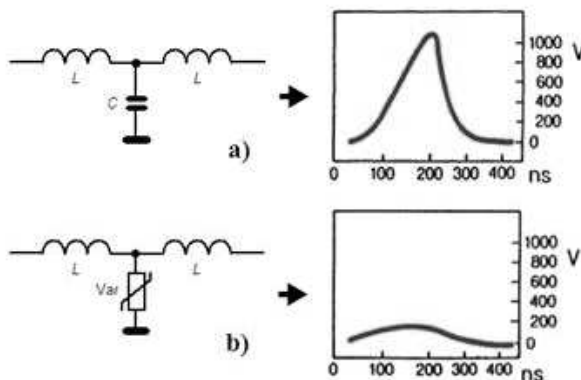
Přepěťové ochranné prvky se staly běžnou součástí odrušovacích filtrů *LC*. Vznikly tak odrušovací filtry *EMP*, o nichž jsme se již zmínili. Hlavním úkolem přepěťových ochranných prvků v těchto filtrech je omezit velikost přepěťových rušivých impulsů, které se mohou dostat na vstup filtru, a tím snížit nároky na velikost vložného útlumu vlastního filtru *LC*. Příklad zapojení síťového odrušovacího filtru se zabudovanou hrubou a jemnou přepěťovou ochranou je na obrázku 10.3.



Obrázek 10.3: Zapojení síťového odrušovacího filtru s přepěťovými ochranami (filtr EMP)

Teplotně závislý odpor (termistor) sériově zapojený do větve plynové bleskojistky je teplotně vázán se vstupní tavnou pojistkou filtru a způsobí její rychlé přetavení v případě velkého vstupního přepěťového impulsu, jímž je výbojka zapálena.

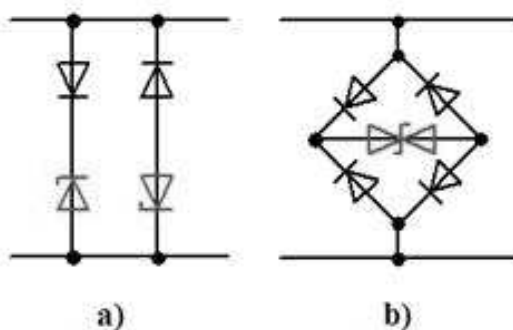
Vlastní kapacita ochranných přepěťových prvků může v zapojení odrušovacích a přepěťových filtrů působit pozitivně, ale i negativně. V nízkofrekvenčních systémech (např. v síťových napájecích filtrech) představuje vlastní kapacita přepěťových prvků žádoucí veličinu, která zvětšuje odrušovací kapacitu celého filtru a tím i útlum vyšších kmitočtových složek rušivých signálů. Kapacita přepěťové ochrany tak může částečně nahradit kapacitu kondenzátorů odrušovacího filtru. Na obrázku 10.4 je srovnání dvou odrušovacích článků LC , kde v jednom je použit kondenzátor a ve druhém je kapacita filtru tvořena vlastní kapacitou varistoru.



Obrázek 10.4: Srovnání funkce odrušovacích článků LC s odrušovacím kondenzátorem (a) a varistorem (b)

Je zřejmé, že filtr s varistorem – kromě svého útlumu jako článek LC – současně výrazně snižuje celkovou napěťovou úroveň rušivého impulsu, a tím i všech jeho spektrálních složek.

Při použití přepěťových ochranných prvků ve vysokofrekvenčních sdělovacích či datových systémech je velká hodnota vlastní kapacity těchto prvků spíše problematická, neboť může způsobovat nepřijatelně vysoký útlum užitečných vysokofrekvenčních signálů. Působení vlastní kapacity přepěťových prvků lze snížit jejich vhodným obvodovým zapojením s použitím rychlých spínacích nízkokapacitních diod. Dvě možnosti jsou uvedeny na obrázku 10.5.

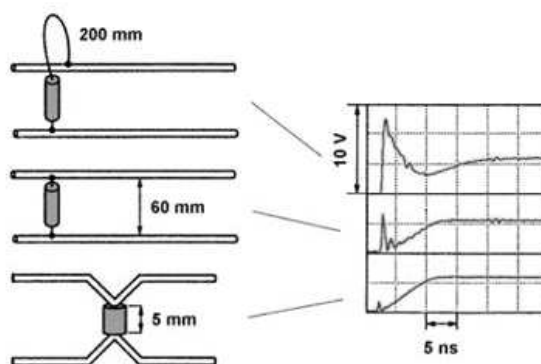


Obrázek 10.5: Zmenšení kapacity přepěťové ochranné diody pomocí spínacích diod

Jak v zapojení na obrázku 10.5a, tak i v můstkovém zapojení dle obrázku 10.5b je „velká“ kapacita přepěťového ochranného prvku (Zenerovy či supresorové diody) funkčně zapojena v sérii s jednou či dvěma spínacími diodami s otevřeným, a tedy nízkokapacitním přechodem.

Výsledná kapacita takového spojení je tedy malá a takto zapojené přepěťové ochrany lze použít i v systémech pracujících na kmitočtech vyšších než 100 MHz.

Zapojení jakéhokoli přepěťového ochranného prvku do vedení musí být především takové, aby jeho vlastní drátové přívody byly co možná nejkratší. Při příchodu vstupního impulsu rušivého (vysokého) napětí vzniká vlivem indukčnosti dlouhých přívodů a vlastní kapacity ochranného prvku ostrý (derivační) napěťový impuls, jehož velikost může být dokonce větší, než je výsledná hodnota omezovaného napětí na přepěťovém prvku v ustáleném stavu. To je na obrázku 10.6 dokumentováno oscilogramy napětí na výstupu ochranného prvku (Zenerovy diody 3V3) s různou délkou drátových přívodů jako odezvy na vstupní napěťový skok o velikosti 10 V.



Obrázek 10.6: Vliv délky přívodů přepěťové ochrany na průběh napětí na jejím výstupu

Je zřejmé, že příliš dlouhými vlastními přívody může být ochranná funkce součástky zcela ochromena.

Kapitola 11

Česká republika a elektroodpad

Česká republika implementovala požadavky směrnic EU vztahující se k nakládání s elektrozařizováními a odpady z nich novelou č. 7/2005 Sb. k zákonu o odpadech č. 185/2001 Sb. (dále jen zákon). Úplné znění zákona o odpadech vyšlo pod č. 106/2005 Sb.

Česká republika musí do 31. prosince 2008:

- dosáhnout průměrné roční míry sběru elektrozařizování z domácností 4 kg na obyvatele
- dosáhnout míry využití elektroodpadů stanovené pro jednotlivé skupiny.

11.1 Definice

Elektrické nebo elektronické zařizování (dále jen „elektrozařizování“) je zařizování, jehož funkce závisí na elektrickém proudu nebo na elektromagnetickém poli nebo zařizování k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole, které náleží do některé ze skupin uvedených v příloze č. 7 k tomuto zákonu a které je určeno pro použití při napětí nepřesahujícím 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud, s výjimkou zařizování určených výlučně pro účely obrany státu.

Pro občana, zjednodušeně řečeno, jde o zařizování, která fungují buď na baterie, nebo mají přívodní kabel pro zapojení do sítě.

Elektroodpad – elektrozařizování, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které v tom okamžiku jsou součástí zařizování.

Výrobce – fyzická nebo právnická osoba oprávněná k podnikání, která bez ohledu na způsob prodeje, včetně použití prostředků komunikace na dálku:

1. pod vlastní značkou vyrábí a prodává elektrozařizování, nebo
2. prodává pod vlastní značkou elektrozařizování vyrobená jinými dodavateli, neobjevuje-li se na zařizování značka osoby podle bodu 1., nebo
3. v rámci své podnikatelské činnosti dováží elektrozařizování do České republiky, nebo tato elektrozařizování uvádí v České republice na trh.

11.1.1 Příloha č. 7 zákona

Skupiny elektrozařizování:

1. Velké domácí spotřebiče
2. Malé domácí spotřebiče
3. Zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení
4. Spotřebitelská zařízení
5. Osvětlovací zařízení
6. Elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů)
7. Hračky, vybavení pro volný čas a sporty
8. Lékařské přístroje (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných výrobků)
9. Přístroje pro monitorování a kontrolu
10. Výdejní automaty

Většina povinností vztahujících se k nakládání a financování elektrozařízení i ve fázi, kdy se staly odpadem, je přenesena na výrobce.

Povinnosti výrobce:

- zajistit oddělený sběr, zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení a elektroodpadu,
- zajistit značení výrobků uvedených na trh po 13. srpnu 2005
- zajistit značení výrobků grafickým symbolem pro účely zpětného odběru výrobků
- informovat spotřebitele o místech zpětného odběru a možnosti odevzdání starého výrobku při nákupu nového v místě prodeje
- informovat spotřebitele o jeho úloze při zpětném odběru použitých elektrozařízení, a tím zamezení úniku nebezpečných složek, které obsahuje, do životního prostředí
- vyrábět výrobky tak, aby byla umožněna demontáž a další využití výrobků,
- u výrobků vyrobených po 30. červnu 2006 a spadajících do skupin 1. až 7. a 10. podle přílohy č. 7 zákona omezit obsah olova, rtuti, kadmia, šestimocného chromu, PBB, PBDE
- po 13. srpnu 2005 podat návrh na zápis do Seznamu (do 60ti dnů)
- zpracovávat roční zprávy
- zapojit se do kolektivního systému pro financování historického elektroodpadu, tj. z výrobků uvedených na trh do 13. srpna 2005
- poskytovat zpracovatelům elektroodpadů veškeré informace, které jsou nutné k jeho zpracování, především údaje o obsažených nebezpečných látkách
- zajistit využití elektroodpadů podle následující tabulky:

Tabulka 11.1: Zpětné využití elektrozařízení

Skupina elektrozařízení	Využití [%]	Opětovné použití a materiálové využití [%]
1. a 10.	80	75
3. a 4.	75	65
2., 5., 6., 7. a 9.	70	50
výbojky a zářivky	80	–

11.2 Financování nakládání s OEEZ z domácností

1. Je-li elektrozařízení uvedeno na trh po dni 13. srpna 2005, výrobce elektrozařízení je povinen financovat zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění EEZ z domácností, které bylo odevzdáno v rámci systému zpětného odběru, jedná-li se o elektrozařízení, jehož je výrobcem.
2. Bylo-li elektrozařízení uvedeno na trh do dne 13. srpna 2005, k zajištění zpětného odběru, zpracování, využití a odstranění EEZ pocházejícího z domácností, které bylo odevzdáno v rámci systému zpětného odběru, jsou výrobci a dovozci povinni vytvořit systém, do kterého v odpovídajícím rozsahu, zejména podle podílu na trhu, přispívají všechny tyto osoby, které jsou podnikatelsky činné v okamžiku vzniku příslušných nákladů.

11.3 Financování nakládání s OEEZ jiným než elektroodpadem z domácností

1. Je-li elektrozařízení uvedeno na trh po dni 13. srpna 2005, zajistí jeho financování sám výrobce.
2. Bylo-li elektrozařízení uvedeno na trh do dne 13. srpna 2005 a je-li nahrazováno výrobky stejného typu nebo výrobky, které plní stejnou funkci, zajistí financování výrobce takového nového výrobku při jejich dodávce, nejvýše však v počtu dodávaných elektrozařízení.
3. Bylo-li elektrozařízení uvedeno na trh do dne 13. srpna 2005, není však nahrazováno výrobky stejného typu nebo výrobky, které plní stejnou funkci, zajistí financování koneční uživatelé, kteří nejsou spotřebiteli.

11.4 Prováděcí vyhláška k problematice elektroodpadu

K novele zákona byla dne 15. září 2005 vydána ve Sbírce zákonů vyhláška č. 352/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi (vyhláška o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady), a vyhláška č. 353/2005 Sb., kterou se mění vyhláška č. 237/2002 Sb., o podrobnostech způsobu provedení zpětného odběru některých výrobků, ve znění vyhlášky č. 505/2004 Sb., a vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů.

Přípravu vyhlášky č. 352/2005 Sb. provázela dlouhá jednání, kterých se účastnili výrobci elektrozařízení, zpracovatelé elektrozařízení, zástupci krajů, ČIŽP, MF, MPO atd. Názory na některé okruhy problémů se občas značně lišily, ale nakonec se podařilo vyhlášku vydat v této podobě. Až praxe a zkušenosti s fungováním kolektivních systémů, financováním těchto

systemů, vracením použitých elektrozařízení v obchodech při nákupu nového zboží a ve sběrných dvorech obcí apod. ukáže, zda požadavky novely zákona a této vyhlášky jsou reálné.

Obě vyhlášky jsou vydány v částce č. 123/2005 Sbírky zákonů ČR[35].

Problematika elektrozařízení a elektroodpadů je velice rozsáhlá a složitá. I v ostatních státech Evropské unie provází implementaci obou směrnic řada nejasností. Evropská komise se pokusila některé vzniklé otázky řešit. Zveřejnila k této problematice dokument „Frequently Asked Questions on Directive 2002/95/EC a 2002/96/EC“ [8], který byl aktualizovaný v červnu 2006. Nejedná se o právně závazný dokument. Pracovní překlad zpracovaný v CeHO naleznete na [9].

Kapitola 12

Odborné slovníčky

12.1 Česko–anglicko–německý odborný slovníček

česky	anglicky	německy
AC (střídavý proud)	AC (alterting current)	Wechselstrom,der
AD převodník	A/D converter	A/D Wandler,der
amplituda	amplitude	Amplitude,die
anoda	anode	Anode,die
anténa	antenna	Antenne,die
baterie	battery	Batterie,die
bipolární tranzistor	bipolar transistor	Bipolartransistor,der
blokové schéma	block-diagram	Blockschema,das
buzení	excitation	Erregung,die
bzučák	buzzer	Summer,der
centrální řídicí jendotka	central processing unit (CPU)	CPU-Auslastung,die; Zentra- leinheit,die
citlivost	sensitivity	Sensitivität, die
cívka/ tlumivka	inductor	Drossel,der
časová odezva	time response	Ansprechzeit,die
čítač	counter	Zähler, der
DC (stejnsměrný proud)	DC (direct current)	Gleichstrom,der
dekodér	decoder	Decoder,der
demodulátor	demodulator	Demodulator,der
dioda	diode	Diode,die
dlouhá vlna (rozhlsová)	long wave	Langwelle,die
dvojice doplňkových tranzis- torů	complementary transistors	Transistorpaar,das

dvojkový, binární	binary	binär
el. proud	current	elektrischer Strom
elektrolyt	electrolyte	Elektrolyt,der
elektromagnetická indukce	electromagnetic induction	elektromagnetische Induktion
elektromagnetická vlna	electromagnetic wave	elektromagnetische Welle
elektromagnetické pole	electromagnetic field	elektromagnetisches Feld
elektromagnetismus	electromagnetism	Elektromagnetik, die
elektrostatický náboj	electrostatic charge	elektrostatiche Aufladung
elektrina	electricity	Elektizität, die
emitor	emitter	Emitter, der
feromagnetický	ferromagnetic	ferromagnetisch
fotodioda	photodiode	Fotodiode, die
fotorezistor	photoresist	Fotoresistor, der
frekvence	frequency	Frequenz, die
funkční generátor	function generator	Funktionsgenerator, der
generátor/dynamo	generator	Generator, der
hlasitost	volume	Lautstärke, die
hluboký	bass	tief
hradlo AND	AND gate	UND Gate, das
hradlo OR	OR gate	OR Gate, das
charakteristika	characteristics	Charakteristik, die
impuls	impulse	Impuls, der
indukční	induction	induktiv
indukčnost	inductance	Induktivität, die
integrováný obvod	integrated circuit	integrierter Schaltkreis
izolant, izolátor	insulator	Isolator, der
jas	brightness	Helligkeit, die
J-K klopný obvod	J-K flip-flop	J-K Flip-Flop-Schaltung, die
kabel	cable	Kabel, das
kanál	channel	Kanal, der
kapacitní reaktance	capacitance	Kapazitätsreaktanz, die
katoda	cathode	Katode, die
kmitat, oscilovat	oscillate	oscillieren, schwingen
kmitočtové pásmo	frequency band	Frequenzband, das
kolektor	collector	Kollektor, der

komparátor (porovnávací obvod)	comparator	Komparator,der; Vergleich-cher,der
kondenzátor	capacitor	Kondensator,der
konektor	connector	Konnektor,der
krystal	piezoelectric crystal	piezoelektrischer Kristall
kvalita vysílání	broadcast quality	Sendequalität, die
LED dioda	Light emitting diode (LED)	Leuchtdiode, die
logaritmická stupnice	logarithmic scale	logarytmische Skala
logická sonda	logic probe	logische Sonde
logická úroveň	logic level	logische Ebene
logický obvod (hradlo)	logic gate	logisches Gate
lokální počítačová síť	local area network (LAN)	lokales Datennetz (LAN)
magnetická páska	magnetic tape	Magnetband, das
magnetické pole	magnetic field	magnetisches Feld
magnetismus	magnetism	Magnetismus, der
magnetizovat	magnetize	magnetisieren
měření	measurement	Messung, die; Messen, das
mikročip	microchip	Mikrochip, das
mikrofon	microphone (MIC)	Mikrofon, das
mikroprocesor	microprocessor	Mikroprozessor, der
modulace	modulation	Modulation, die
modulátor	modulator	Modulator, der, Umsetzer, der
multimetr, univerzální měřící přístroj	multimeter	Multimeter, das; Universalprüfer, der
nabíječka baterií	battery charger	Batterieladegerät, das
náboj	charge	Aufladung, die
napětí	voltage	Spannung, die
nastavení rovnováhy	balance control	Balanceregler, der
nízkofrekvenční zesilovač	audio amplifier	Niederfrequenz-Verstärker, der
obvod, okruh	circuit	Schaltung, die, Kreis, der
odstup signál-šum	S/N ratio	Rauschabstand, der
ohm	ohm	Ohm, das
operační zesilovač	operational amplifier	Operationsverstärker, der
optické vlákno	optical fibre	optischer Faser
optoelektronika	optoelectronics	Optoelektronik, die
oscilátor	oscillator	Oszillator, der, Schwinger, der

osciloskop	oscilloscope	Oszilloskop, das
ovládání hlasitosti	volume control	Lautstärkeregelung, die
paměť	memory	Speicher, der
paměť ROM (pouze pro čtení)	read-only memory (ROM)	Festwertspeicher, der (ROM, der)
paměť s náhodným přístupem (RAM)	random access memory (RAM)	RAM, der; Schreib-Lese-Speicher, der
paralelní kabel	parallel wire cable	Parallelkabel, der
počítač	computer	Computer, der
pohotovost (stav zařízení)	standby	Betriebsbereitschaft, die; Reserve, die
polovodič	semiconductor	Halbleiter, der
porucha	disturbance	Störung, die
potenciometr	potentiometer	Potentiometer, das
proměnný odpor	variable resistor	veränderlicher Widerstand
předzesilovač	pre-amp	Vorverstärker, der
přechod PN	PN junction	PN-Übergang, der
překmit, překmitnutí	overshoot	Überschwingung, die
přenášet	transmit	übertragen
přepětová ochrana	surge guard	Spannungssicherung, die
přijímač	receiver	Empfänger, der
radiolokátor	radar	Radar, der
rádiová vlna	radio wave	Radiowelle, die
reproduktor	speaker	Lautsprecher, der
rezistor s pevnou hodnotou	fixed resistor	Festwiderstand, der
rezistor, odpor	resistor	elektrischer Widerstand, der, Resistor, der
rozhlasový přijímač	radio receiver	Rundfunkempfänger, der
satelitní přijímač	satellite receiver	Satelliten-Empfänger, der
sběrnice	bus	Bus, der
schéma zapojení	circuit diagram	Schaltplan, der
schematický	schematic	schematisch
sinusový průběh, sinusovka	sine wave	Sinuslinie, die
sluchátka	phones, headphone	Kopfhörer, der
snímač	sensor, transducer	Abfühler, der, Transducer, der
spínač	switch	Schalter, der
stabilizovaný obvod	stabilising circuit	stabilisierter Schaltkreis

šum, hluk	noise	Geräusch, das
telefon	phone	Telefon, das
televize	television (TV)	Fernsehen, das
televizor	TV set	Fernseher, der
termistor	termistor	Sensistor, der, Thermistor, der
tlačítko	button	Taste, die
transformátor	transformer	Transformator, der; Umspanner, der
tranzistor	transistor	Transistor, der
tranzistor řízený polem	field effect transistor (FET)	Feldeffekttransistor, der (FET)
účinnost, efektivita	efficiency	Effizienz, die; Wirkungsgrad, der
unipolární tranzistor	unipolar transistor	Unipolartransistor, der
úroveň H (logická 1)	high logic level	Logische Eins
úroveň L (logická 0)	low logic level	logische Null
UTP kabel křížený	twisted pair	Twisted-Kabel, die; verdrilltes Doppelkabel
ventilátor	fan	Ventilator, der, Lüfter, der
videokamera	camcorder	Videokamera, die
vinutí	winding	Wicklung, die
vstup	input	Eingabe, die, Input, der
výkonový tranzistor	power transistor	End-Transistor, der
vysílací	broadcasting	Sende-; Sendung, die
vysílač, přenašeč	transmitter	Übertrager, der; Umsetzer, der
výstup	output	Ausgabe, die, Output, der
vývojový diagram	flowchart	Flussdiagramm, das
zařízení	device	Anlage, die
zdroj	source	Quelle, die
zem, uzemnit	ground	Erde, die, erden
zenerova dioda	zener diode	Zener-Diode, die
zenerovo napětí	zener voltage	Zener-Spannung, die
zesílit	amplify	verstärkern
zesilovač	amplifier	Verstärker, der
zisk	gain	Gewinn, der
zpětná vazba	feedback	Rückkoppelung, die
zvuk	audio	Ton, der; Audio-,

12.2 Anglicko–česko–německý odborný slovníček

anglicky	česky	německy
A/D converter	AD převodník	A/D Wandler,der
AC (alterting current)	AC (střídavý proud)	Wechselstrom,der
amplifier	zesilovač	Verstärker,der
amplify	zesílit	verstärkern
amplitude	amplituda	Amplitude,die
AND gate	hradlo AND	UND Gate,das
anode	anoda	Anode,die
antenna	anténa	Antenne,die
audio	zvuk	Ton,der; Audio-,
audio amplifier	nízkofrekveční zesilovač	Niederfrequenz-Verstärker,der
balance control	nastavení rovnováhy	Balanceregler,der
bass	hluboký	tief
battery	baterie	Batterie,die
battery charger	nabíječka baterií	Batterieladegerät, das
binary	dvojkový, binární	binär
bipolar transistor	bipolární tranzistor	Bipolartransistor,der
block-diagram	blokové schéma	Blockschema,das
brightness	jas	Helligkeit,die
broadcast quality	kvalita vysílání	Sendequalität,die
broadcasting	vysílací	Sende-; Sendung, die
bus	sběrnice	Bus,der
button	tlačítko	Taste,die
buzzer	bzučák	Summer,der
cable	kabel	Kabel,das
camcorder	videokamera	Videokamera,die
capacitance	kapacitní reaktance	Kapazitätsrektanz,die
capacitor	kondenzátor	Kondensator,der
cathode	katoda	Katode,die
central processing unit (CPU)	centrální řídicí jendotka	CPU-Auslastung,die; Zentra- leinheit,die
circuit	obvod, okruh	Schaltung,die, Kreis,der
circuit diagram	schéma zapojení	Schaltplan, der
collector	kolektor	Kollektor,der

comparator	komparátor (porovnávací obvod)	Komparator,der, cher,der	Vergleicher,der
complementary transistors	dvojice doplňkových tranzistorů	Transistorpaar,das	
computer	počítač	Computer, der	
connector	konektor	Konnektor,der	
counter	čítač	Zähler, der	
current	el. proud	elektrischer Strom	
DC (direct current)	DC (stejnoseměrný proud)	Gleichstrom,der	
decoder	dekodér	Decoder,der	
demodulator	demodulátor	Demodulator,der	
device	zařízení	Anlage,die	
diode	dioda	Diode,die	
disturbance	porucha	Störung, die	
efficiency	účinnost, efektivita	Effizienz,die; grad,der	Wirkungsgrad,der
electricity	elektrina	Elektizität,die	
electrolyte	elektrolyt	Elektrolyt,der	
electromagnetic field	elektromagnetické pole	elektromagnetisches Feld	
electromagnetic induction	elektromagnetická indukce	elektromagnetische Induktion	
electromagnetic wave	elektromagnetická vlna	elektromagnetische Welle	
electromagnetism	elektromagnetismus	Elektromagnetik,die	
electrostatic charge	elektrostatický náboj	elektrostatiche Aufladung	
emitter	emitor	Emitter,der	
excitation	buzení	Erregung,die	
fan	ventilátor	Ventilator,der, Lüfter,der	
feedback	zpětná vazba	Rückkoppelung,die	
ferromagnetic	feromagnetický	ferromagnetisch	
field effect transistor (FET)	tranzistor řízený polem	Feldefekttransistor,der (FET)	
fixed resistor	rezistor s pevnou hodnotou	Festwiderstand, der	
flowchart	vývojový diagram	Flussdiagramm,das	
frequency	frekvence	Frequenz,die	
frequency band	kmítočtové pásmo	Frequenzband,das	
function generator	funkční generátor	Funktionsgenerator,der	
gain	zisk	Gewinn,der	
generator	generátor/dynamo	Generator,der	

ground	zem, uzemnit	Erde, die, erden
high logic level	úroveň H (logická 1)	Logische Eins
channel	kanál	Kanal, der
characteristics	charakteristika	Charakteristik, die
charge	náboj	Aufladung, die
impulse	impuls	Impuls, der
inductance	indukčnost	Induktivität, die
induction	indukční	induktiv
inductor	cívka/ tlumivka	Drossel, der
input	vstup	Eingabe, die, Input, der
insulator	izolant, izolátor	Isolator, der
integrated circuit	integrovaný obvod	integrierter Schaltkreis
J-K flip-flop	J-K klopný obvod	J-K Flip-Flop-Schaltung, die
Light emitting diode (LED)	LED dioda	Leuchtdiode, die
local area network (LAN)	lokální počítačová síť	lokales Datennetz (LAN)
logarithmic scale	logaritmická stupnice	logarytmische Skala
logic gate	logický obvod (hradlo)	logisches Gate
logic level	logická úroveň	logische Ebene
logic probe	logická sonda	logische Sonde
long wave	dlouhá vlna (rozhlasová)	Langwelle, die
low logic level	úroveň L (logická 0)	logische Null
magnetic field	magnetické pole	magnetisches Feld
magnetic tape	magnetická páska	Magnetband, das
magnetism	magnetismus	Magnetismus, der
magnetize	magnetizovat	magnetisieren
measurement	měření	Messung, die; Messen, das
memory	paměť	Speicher, der
microchip	mikročip	Mikrochip, das
microphone (MIC)	mikrofon	Mikrofon, das
microprocessor	mikroprocesor	Mikroprozessor, der
modulation	modulace	Modulation, die
modulator	modulátor	Modulator, der, Umsetzer, der
multimeter	multimetr, univerzální měřicí přístroj	Multimeter, das; Universalprüfer, der
noise	šum, hluk	Geräusch, das
ohm	ohm	Ohm, das

operational amplifier	operační zesilovač	Operationsverstärker, der
optical fibre	optické vlákno	optischer Faser
optoelectronics	optoelektronika	Optoelektronik, die
OR gate	hradlo OR	OR Gate, das
oscillate	kmitat, oscilovat	oscillieren, schwingen
oscillator	oscilátor	Oszillator, der, Schwinger, der
oscilloscope	osciloskop	Oszilloskop, das
output	výstup	Ausgabe, die, Output, der
overshoot	překmit, překmitnutí	Überschwingung, die
parallel wire cable	paralelní kabel	Parallelkabel, der
phone	telefon	Telefon, das
phones, headphone	sluchátka	Kopfhörer, der
photodiode	fotodioda	Fotodiode, die
photoresist	fotorezistor	Fotoresistor, der
piezoelectric crystal	krystal	piezoelektrischer Kristall
PN junction	přechod PN	PN-Übergang, der
potentiometer	potenciometr	Potentiometer, das
power transistor	výkonnový tranzistor	End-Transistor, der
pre-amp	předzesilovač	Vorverstärker, der
radar	radiolokátor	Radar, der
radio receiver	rozhlasový přijímač	Rundfunkempfänger, der
radio wave	rádiová vlna	Radiowelle, die
random access memory (RAM)	paměť s náhodným přístupem (RAM)	RAM, der; Schreib-Lese-Speicher, der
read-only memory (ROM)	paměť ROM (pouze pro čtení)	Festwertspeicher, der (ROM, der)
receiver	přijímač	Empfänger, der
resistor	rezistor, odpor	elektrischer Widerstand, der, Resistor, der
S/N ratio	odstup signál-šum	Rauschabstand, der
satellite receiver	satelitní přijímač	Satelliten-Empfänger, der
semiconductor	polovodič	Halbleiter, der
sensitivity	citlivost	Sensitivität, die
sensor, transducer	snímač	Abfühler, der, Transducer, der
schematic	schematický	schematisch
sine wave	sinusový průběh, sinusovka	Sinuslinie, die

source	zdroj	Quelle, die
speaker	reproduktor	Lautsprecher, der
stabilising circuit	stabilizovaný obvod	stabilisierter Schaltkreis
standby	pohotovost (stav zařízení)	Betriebsbereitschaft, die; Reserve, die
surge guard	přepěťová ochrana	Spannungssicherung, die
switch	spínač	Schalter, der
television (TV)	televize	Fernsehen, das
termistor	termistor	Sensistor, der, Thermistor, der
time response	časová odezva	Ansprechzeit, die
transformer	transformátor	Transformator, der; Umspanner, der
transistor	tranzistor	Transistor, der
transmit	přenášet	übertragen
transmitter	vysílač, přenašeč	Übertrager, der; Umsetzer, der
TV set	televizor	Fernseher, der
twisted pair	UTP kabel křížený	Twisted-Kabel, die; verdrehtes Doppelkabel
unipolar transistor	unipolární tranzistor	Unipolartransistor, der
variable resistor	proměnný odpor	veränderlicher Widerstand
voltage	napětí	Spannung, die
volume	hlasitost	Lautstärke, die
volume control	ovládání hlasitosti	Lautstärkeregelung, die
winding	vinutí	Wicklung, die
zener diode	zenerova dioda	Zener-Diode, die
zener voltage	zenerovo napětí	Zener-Spannung, die

12.3 Německo–česko–anglický odborný slovníček

německy	česky	anglicky
A/D Wandler, der	AD převodník	A/D converter
Abfühler, der, Transducer, der	snímač	sensor, transducer
Amplitude, die	amplituda	amplitude
Anlage, die	zařízení	device
Anode, die	anoda	anode
Ansprechzeit, die	časová odezva	time response
Antenne, die	anténa	antenna

Aufladung, die	náboj	charge
Ausgabe, die, Output, der	výstup	output
Balanceregler, der	nastavení rovnováhy	balance control
Batterie, die	baterie	battery
Batterieladegerät, das	nabíječka baterií	battery charger
Betriebsbereitschaft, die; Reserve, die	pohotovost (stav zařízení)	standby
binär	dvojkový, binární	binary
Bipolartransistor, der	bipolární tranzistor	bipolar transistor
Blockschema, das	blokové schéma	block-diagram
Bus, der	sběrnice	bus
Computer, der	počítač	computer
CPU-Auslastung, die; Zentraleinheit, die	centrální řídicí jednotka	central processing unit (CPU)
Decoder, der	dekodér	decoder
Demodulator, der	demodulátor	demodulator
Diode, die	dioda	diode
Drossel, der	cívka/ tlumivka	inductor
Effizienz, die; Wirkungsgrad, der	účinnost, efektivita	efficiency
Eingabe, die, Input, der	vstup	input
Elektizität, die	elektřina	electricity
elektrischer Strom	el. proud	current
elektrischer Widerstand, der, Resistor, der	rezistor, odpor	resistor
Elektrolyt, der	elektrolyt	electrolyte
Elektromagnetik, die	elektromagnetismus	electromagnetism
elektromagnetische Induktion	elektromagnetická indukce	electromagnetic induction
elektromagnetische Welle	elektromagnetická vlna	electromagnetic wave
elektromagnetisches Feld	elektromagnetické pole	electromagnetic field
elektrostatiche Aufladung	elektrostatický náboj	electrostatic charge
Emitter, der	emitor	emitter
Empfänger, der	přijímač	receiver
End-Transistor, der	výkonnový tranzistor	power transistor
Erde, die, erden	zem, uzemnit	ground
Erregung, die	buzení	excitation
Feldeffekttransistor, der (FET)	tranzistor řízený polem	field effect transistor (FET)

Fernsehen, das		televize	television (TV)
Fernseher, der		televizor	TV set
ferromagnetisch		feromagnetický	ferromagnetic
Festwertspeicher, (ROM, der)	der	paměť ROM (pouze pro čtení)	read-only memory (ROM)
Festwiderstand, der		rezistor s pevnou hodnotou	fixed resistor
Flussdiagramm, das		vývojový diagram	flowchart
Fotodiode, die		fotodioda	photodiode
Fotoresistor, der		fotorezistor	photoresist
Frequenz, die		frekvence	frequency
Frequenzband, das		kmítočtové pásmo	frequency band
Funktionsgenerator, der		funkční generátor	function generator
Generator, der		generátor/dynamo	generator
Geräusch, das		šum, hluk	noise
Gewinn, der		zisk	gain
Gleichstrom, der		DC (stejnoseměrný proud)	DC (direct current)
Halbleiter, der		polovodič	semiconductor
Helligkeit, die		jas	brightness
Charakteristik, die		charakteristika	characteristics
Impuls, der		impuls	impulse
induktiv		indukční	induction
Induktivität, die		indukčnost	inductance
integrierter Schaltkreis		integrováný obvod	integrated circuit
Isolator, der		izolant, izolátor	insulator
J-K Flip-Flop-Schaltung, die		J-K klopný obvod	J-K flip-flop
Kabel, das		kabel	cable
Kanal, der		kanál	channel
Kapazitätsreaktanz, die		kapacitní reaktance	capacitance
Katode, die		katoda	cathode
Kollektor, der		kolektor	collector
Komparator, der, cher, der	Vergleich-	komparátor (porovnávací obvod)	comparator
Kondensator, der		kondenzátor	capacitor
Konnektor, der		konektor	connector
Kopfhörer, der		sluchátka	phones, headphone
Langwelle, die		dlouhá vlna (rozhlasová)	long wave

Lautsprecher, der	reproduktor	speaker
Lautstärke, die	hlasitost	volume
Lautstärkeregelung, die	ovládání hlasitosti	volume control
Leuchtdiode, die	LED dioda	Light emitting diode (LED)
logarytmische Skala	logaritmická stupnice	logarithmic scale
logische Ebene	logická úroveň	logic level
Logische Eins	úroveň H (logická 1)	high logic level
logische Null	úroveň L (logická 0)	low logic level
logische Sonde	logická sonda	logic probe
logisches Gate	logický obvod (hradlo)	logic gate
lokales Datennetz (LAN)	lokální počítačová síť	local area network (LAN)
Magnetband, das	magnetická páska	magnetic tape
magnetisches Feld	magnetické pole	magnetic field
magnetisieren	magnetizovat	magnetize
Magnetismus, der	magnetismus	magnetism
Messung, die; Messen, das	měření	measurement
Mikrofon, das	mikrofon	microphone (MIC)
Mikrochip, das	mikročip	microchip
Mikroprozessor, der	mikroprocesor	microprocessor
Modulation, die	modulace	modulation
Modulator, der, Umsetzer, der	modulátor	modulator
Multimeter, das; Universalprüfer, der	multimetr, univerzální měřicí přístroj	multimeter
Niederfrequenz-Verstärker, der	nízkofrekvenční zesilovač	audio amplifier
Ohm, das	ohm	ohm
Operationsverstärker, der	operační zesilovač	operational amplifier
optischer Faser	optické vlákno	optical fibre
Optoelektronik, die	optoelektronika	optoelectronics
OR Gate, das	hradlo OR	OR gate
oscillieren, schwingen	kmitat, oscilovat	oscillate
Oszillator, der, Schwinger, der	oscilátor	oscillator
Oszilloskop, das	osciloskop	oscilloscope
Parallelkabel, der	paralelní kabel	parallel wire cable
piezoelektrischer Kristall	krystal	piezoelectric crystal
PN-Übergang, der	přechod PN	PN junction
Potentiometer, das	potenciometr	potentiometer

Quelle, die	zdroj	source
Radar, der	radiolokátor	radar
Radiowelle, die	rádiová vlna	radio wave
RAM, der; Schreib-Lese-Speicher, der	paměť s náhodným přístupem (RAM)	random access memory (RAM)
Rauschabstand, der	odstup signál-šum	S/N ratio
Rückkoppelung, die	zpětná vazba	feedback
Rundfunkempfänger, der	rozhlasový přijímač	radio receiver
Satelliten-Empfänger, der	satelitní přijímač	satellite receiver
Sende-; Sendung, die	vysílací	broadcasting
Sendequalität, die	kvalita vysílání	broadcast quality
Sensistor, der, Thermistor, der	termistor	termistor
Sensitivität, die	citlivost	sensitivity
Schalter, der	spínač	switch
Schaltplan, der	schéma zapojení	circuit diagram
Schaltung, die, Kreis, der	obvod, okruh	circuit
schematisch	schematický	schematic
Sinuslinie, die	sinusový průběh, sinusovka	sine wave
Spannung, die	napětí	voltage
Spannungssicherung, die	přepěťová ochrana	surge guard
Speicher, der	paměť	memory
stabilisierter Schaltkreis	stabilizovaný obvod	stabilising circuit
Störung, die	porucha	disturbance
Summer, der	bzučák	buzzer
Taste, die	tlačítko	button
Telefon, das	telefon	phone
tief	hluboký	bass
Ton, der; Audio-,	zvuk	audio
Transformator, der; Umspanner, der	transformátor	transformer
Transistor, der	tranzistor	transistor
Transistorpaar, das	dvojice doplňkových tranzistorů	complementary transistors
Twisted-Kabel, die; verdrilltes Doppelkabel	UTP kabel křížený	twisted pair
Überschwingung, die	překmit, překmitnutí	overshoot
übertragen	přenášet	transmit

Übertrager, der; Umsetzer, der	vysílač, přenašeč	transmitter
UND Gate, das	hradlo AND	AND gate
Unipolartransistor, der	unipolární tranzistor	unipolar transistor
Ventilator, der, Lüfter, der	ventilátor	fan
veränderlicher Widerstand	proměnný odpor	variable resistor
Verstärker, der	zesilovač	amplifier
verstärkern	zesílit	amplify
Videokamera, die	videokamera	camcorder
Vorverstärker, der	předzesilovač	pre-amp
Wechselstrom, der	AC (střídavý proud)	AC (alterting current)
Wicklung, die	vinutí	winding
Zähler, der	čítač	counter
Zener-Diode, die	zenerova dioda	zener diode
Zener-Spannung, die	zenerovo napětí	zener voltage

Rejstřík

- μ A1458, II:65
- h_{21E} , I:143
- I_{MAX} , I:114
- U_T , I:114
- U_{MAX} , I:114
- 2N3820, I:150
- 2SJ201, II:79
- 2SJ352, II:79
- 2SK1530, II:79
- 2SK2221, II:79
- 4xxx, II:117
- 74Cxx, II:116
- 74HCTxx, II:116, II:117
- 74HCxx, II:116, II:117
- 74SCxx, II:116
- 78xx, II:33
- 79xx, II:33

- 1458, II:65
- 4001, II:116, II:118
- 4002, II:116
- 4006, II:116
- 4007, II:116
- 4008, II:116
- 4011, II:118
- 4026, II:118
- 4049, II:118
- 7400, II:115
- 7403, II:115
- 7404, II:115
- 7405, II:115
- 7410, II:115
- 7420, II:115
- 7430, II:115
- 7450, II:115

- AC, I:29
- ADC, II:121
- AKO, II:109

- aktivovaná kalafuna, I:63
- akumulátor, I:100
 - alkalický, I:100
 - kadmiový, I:100
 - lithium-iontový, I:100, I:104
 - lithium-polymerový, I:100, I:104
 - metal-hybridový, I:100
 - niklo-kadmiový, I:103
 - niklo-metal-hybridový, I:104
 - olověný, I:100, I:102, I:105
 - stříbro-zinkový, I:100
- algebra
 - Booleho, II:115
- Alternating Current, I:29
- ALU, II:119
- Analog to Digital Converter, II:121
- AND, II:116, II:117
- anoda, I:100, I:129, II:23
- architektura
 - harvardská, II:119
- arsenid galia, I:120
- astabilní klopný obvod, II:109
- astigmatismus, I:33
- AT89C2051, II:119

- baterie, I:100
 - formování, I:103
 - kapacita, I:103
 - lithium-iontová, I:104
 - lithium-polymerová, I:104
 - niklo-kadmiová, I:103
 - niklo-metal-hybridová, I:104
 - olověná, I:105
- báze, I:140
- BC546, II:53
- bezeztrátová regulace, II:24
- bistabilní klopný obvod, II:107
- BKO, II:107
 - nesouměrné spouštění, II:108

- souměrné spouštění, II:108
- bleskojistka, I:124, II:137
 - plynová, II:139
 - růžková, II:137
 - ventilová, II:138, II:139
- bleskojistky, I:124
- blok
 - odporový, II:138
- BM529, I:146
- bod
 - světelný, I:32
- Boole, II:115
- BRX45, I:132
- BT136/600, I:134
- Buck, II:112
- BUZ11, I:150
- BUZ91A, I:150
- bypass, II:74
- BZW06-12V, I:128
- cesta
 - kurýrní, I:108
 - propojení, I:64
 - přerušená, I:65
- cínová lázeň, I:48, I:61
- cínování, I:49
 - elektrochemické, I:49
 - mechanické, I:49
- citlivost
 - vstupní, II:49
- cívka, I:85, I:108
 - válcová, I:86
 - ztráty, I:86
- CMOS, II:116
- CMOS 4000, II:117
- CPU, II:119
- cupal, I:101
- cuprextit, I:47
- cyklus
 - nabíjecí, I:103
- časovač, II:121
- četnost spínání, II:102
- činitel
 - jakosti, II:84
 - zesilovací, I:143
- čip
 - vývody, I:152
- čítač, II:121
 - programový, II:119
- článek
 - alkalický, I:100
 - derivační, II:15, II:81
 - galvanický, I:100
 - galvanický místní, I:101
 - integrační, II:15, II:81
 - Leclancheův, I:100
 - lithium-iontový, I:104
 - lithium-polymerový, I:104
 - niklo-kadmiový, I:103
 - niklo-metal-hydridový, I:104
 - olověný, I:105
 - primární, I:100
 - příčkový, II:85
 - sekundární, I:100
 - T dvojitý, II:85
 - útlumový, II:13
 - Voltův, I:100
 - Wienův, II:81
 - zpožďovací, I:128, II:138
- čtyřpól, II:79
 - lineární, II:79
- DB3, I:136
- DB4, I:136
- DC, I:29
- děj
 - přechodový, I:43
- dělicí sonda
 - kalibrace, I:37
- dělič
 - kapacitní, II:14
 - napětí
 - kompensovaný, II:16
 - napěťový, II:12, II:14
 - odporový, II:12
- derivační článek, II:15
- deska
 - dvouvrstvá, I:47
 - jednovrstvá, I:47
 - keramická, I:47
 - vícevrstvá, I:47
- desky
 - dělení, I:48

- destrukce
 - tepelná, I:116
- diagram
 - Hannův, I:87
- diak, I:134, II:25, II:106
- dielektrikum, I:83
 - průraz, II:137
- digitalizace, II:101
- DIL, I:153
- dioda, I:112, I:113
 - elektroluminescenční, I:121
 - formátování, I:115
 - fotodioda, I:118
 - Gunnova, I:119
 - kapacitní, I:117
 - korekční, II:109
 - laserová, I:121
 - LED, I:121
 - mžiková, I:120
 - PIN, I:119
 - Shottkyho, I:117
 - spínací, II:101
 - stabilizační, II:28
 - supresorová, I:124
 - tunelová, I:116
 - úbytek, II:18
 - úbytek napětí, II:19
 - usměrňovací, I:114
 - vakuová, I:13
 - vysokofrekvenční, I:115
 - hrotová, I:115
 - plošná, I:115
 - s přivařeným zlatým hrotem, I:116
 - Zenerova, I:116, I:124, I:125, II:28, II:137
 - Zenerova supresorová, II:138
 - zhášecí, II:110
- diody
 - značení, I:123
- DIP, I:153
- Direct Current, I:29
- displej, I:139
- doba
 - kyvu, II:108
 - náběhu, I:43
 - odezvy, I:124
 - zotavení, I:117
- dodací list, I:23
- DPS, I:47
- drain, I:147
- dsPIC33, II:121
- dspPIC33, II:121
- DTL, I:152
- EEPROM, II:119
- efekt
 - paměťový, I:103
- EI, I:89
- elektrický odpor, I:79
- elektroda
 - řídící, I:110, I:129, I:146, II:24
- elektrolyt, I:84
 - polosuchý, I:84
- elektrolýza, I:100
- elektromagnet, I:108
- elektronické filtry, II:22
- elektroodpad, II:143
- emitor, I:140
- epoxid
 - zuhelnatělý, I:64
- EPROM, II:119
- fáze signálu, II:38
- fázovací článek, II:96
- fázovací čtyřpól, II:96
- fázové řízení, II:26
- filtr
 - aktivní, II:83
 - Besselův, II:83
 - Butterworthův, II:83
 - Čebyševův, II:83
 - dolní propust, II:81
 - elektronický, II:22
 - filtrační řetězec, II:22
 - horní propust, II:81
 - kmitočtový, II:79
 - pásmový, II:81
 - zádrž, II:82
- filtrace, II:20
- filtrační kondenzátor, II:20
- filtry, II:20
 - odrušovací, II:139
- fine limiter, I:123
- FLASH, II:119
- Flux-pen, I:63

- fólie
 - měděná, I:47
- formátování diody, I:115
- fotocesta, I:53
- fotodioda, I:118
- fotonka, I:118
- fotoodpor, I:82
- fotorezistor, I:82
- fototyristor, I:130
- frekvence
 - kritická, II:97
 - kvazirezonanční, II:98
 - výhybka, II:17
- Frescale, I:20
- frézování, I:53
- funkce
 - logická, II:116, II:117
- funkční generátor, II:43
- funkční vzorek, I:51

- galium, I:116
- gate, I:147
- generátor funkcí, II:43
- germanium, I:113, I:115
- GND, II:54
- Graetzův můstek, II:19
- GTO, I:113
- Gunn J. B., I:119
- Gunnova dioda, I:119

- hard limiter, I:123
- Henry Josef, I:108
- hladina
 - izolační, II:137
 - ochranná, II:137
- hodiny, II:119
- hodnota
 - efektivní
 - skutečná, I:29
- horkovzdušná jehla, I:60
- horkovzdušný nůž, I:48
- horní mezní kmitočet, II:55
- hradlo, II:23
- hrot
 - věčný, I:63
- hrubá ochrana, II:138
- hustota
 - proudová, I:55
- hystereze, II:110

- charakteristika
 - kmitočtová, II:49
 - volt-ampérová
 - dioda stabilizační, II:29
 - vstupní, II:111

- IGBT, I:151
- IGFET, II:105
- impedance
 - normovaná, II:49
 - vstupní, II:49
- impuls
 - kladný, II:107
 - přepěťový vstupní, II:138
 - spouštěcí, II:107, II:109
 - záporný, II:107
- indium, I:115
- indukce
 - elektromagnetická, I:87
 - magnetická, I:86, I:87
- indukčnost, I:48, I:85
 - praralelní řazení, II:15
 - sériové řazení, II:15
- induktivní zátěž, II:110
- instrukční soubor, II:122
- integrační článek, II:15
- integrátor, II:42
- integrátor s OZ, II:42
- IRF450, I:111
- izolace
 - proti okolí, I:106

- jádro, I:85
 - feritové, I:86
 - železové, I:86
- jazyčkové kontakty, I:109
- jednotka
 - ALU, II:119
- jehla
 - horkovzdušná, I:60
- jemná ochrana, II:138
- jev
 - termoelektrický, I:106
- jev piezoelektrický, II:92
- JFET, I:147

- jiskřiště, I:48, I:124, II:137
 - hlavní, II:137
 - ochranné, II:137
 - vzduchové, I:124
 - zapalovací, II:137
- jmenovitý odpor, I:80
- kalafuna, I:63
 - aktivovaná, I:63
- kanál
 - vodivost, I:146
 - vodivý, I:110
- kapacita, I:83
 - bariérová, I:114
 - difúzní, I:114
 - jmenovitá, I:83
 - tolerance, I:84
 - statická, I:114
 - vlastní, II:138, II:139
- kapacitní dělič, II:14
- kartit, I:47
- kaskáda, II:96
- katalog
 - konstrukční, I:18
 - obchodní, I:17
 - online, I:19
 - přehledový, I:17
- katalogový list, I:18
- katoda, I:100, I:129, II:23
- keramický nosič, I:47
- klávesnice
 - počítačová, I:108
- klopný obvod
 - astabilní, II:109
 - bistabilní, II:107
 - monostabilní, II:108
 - Schmitův, II:110
- kmitání, II:109
- kmitočet
 - kompenzace, II:38
 - mezní, I:114, I:143, II:55
 - pásmo, II:55
 - přesnost, II:87
 - rezonanční, II:84
 - výhybka, II:17
- kmitočtový filtr, II:79
- kolektor, I:140
- kombinovaná ochrana, II:138
- komparátor, II:42
 - analogový, II:121
- kompenzovaný dělič napětí, II:16
- kondenzátor, I:48, I:83
 - dolaďovací, I:84
 - elektrolytický, I:84
 - filtrační, II:21
 - keramický, I:84
 - nabíjecí, II:22
 - napěťový dělič, II:14
 - paralelní řazení, II:14
 - sběrací, II:22
 - sériové řazení, II:13
 - svitkový, I:84
 - urychlovací, II:108, II:109
 - vazební, II:56
- konstanta
 - Nagaokova, I:86
- kontakt, I:106
 - jazyčkový, I:109
 - odskoky, I:107
 - pružný, I:108
- kontaktní hluk, I:107
- kontrola, I:27
- korekce RIAA, II:48
- korekční zesilovače, II:66
- kostra, I:92
- krystal, II:92, II:119
- křemík, I:113
- KT201/600, I:132
- kusovník, I:26
- KY130/600, I:115
- kyselina
 - solná, I:100
- L4960, II:112
- lázeň
 - cínová, I:48
- LED, I:121
- leptání, I:48
 - pěnové, I:53
 - probublávací, I:53
 - sprejové, I:53
- Li-Ion, I:100
- Li-Pol, I:100
- linka

- telegrafní, I:108
- list
 - katalogový, I:18
- LM1036, II:70
- LM317, II:34
- LM337, II:34
- LM386, II:73
- LM3886T, II:77
- LM4752T, II:77
- LM7402, II:79
- LM741, II:39
- LME49810, II:79
- logická funkce, II:116, II:117
- logický
 - negovaný součet, II:117
 - negovaný součin, II:117
 - součet, II:117
 - součin, II:117
 - výhradní součet, II:117
- LOUDNESS, II:70
- LSI, I:152
- maska
 - nepájivá, I:49
- MB3735, II:77
- MCU, II:119
- měděná fólie, I:47
- měkký start, II:112
- měření
 - fázového posuvu, I:41
 - indukčnosti, I:42
 - kapacit, I:84
 - kmitočtu, I:39
 - kondenzátorů, I:84
 - napětí, I:29, I:31, I:39
 - osciloskop, I:32
 - proudu, I:29, I:30, I:40
 - V-A charakteristiky, I:42
- metoda
 - dělicích čar, I:51
 - kombinovaná, I:51
 - spojových čar, I:50
- mez
 - průrazu, I:116
- mezera
 - vzduchová, I:86
- MH54xx, II:115
- MH74xx, II:115
- MH84xx, II:115
- mikrokontrolér, II:119
- mikropočítač, II:119
- MKO, II:108
- monostabilní klopný obvod, II:108
- MOSFET, I:148
- Motorola, I:20
- mřížka, I:129, II:23
- MSI, I:152
- MUTE, II:75
- náběh zdroje, II:111
- nabíjení
 - dvoustupňové, I:106
- náboj
 - otevřeného přechodu, II:108
- nadproudová ochrana, II:112
- NAND, II:116, II:117
- napájení
 - symetrické, II:37
- napětí
 - spínací, II:25
 - šumové, I:80
- napětí
 - blokovací, I:135
 - dělič, II:12
 - dělič kompenzovaný, II:16
 - difúzní, I:113
 - elektromotorické, I:101
 - jmenovité, I:84
 - malé, II:137
 - maximální
 - povolené, I:29
 - měření, I:31
 - na oblouku, I:124
 - naprázdno, I:93
 - nejvyšší dovolené, I:80
 - nízké, II:137
 - polarizační, I:101
 - prahové, I:114, II:108
 - primární, I:89
 - přidržené, II:109
 - pulsní, tepavé, II:18
 - rozkladné, I:101
 - rušivé, I:106
 - saturační, I:142, II:103

- sekundární, I:89
- stabilizační
 - měření, II:30
- stabilizátory, II:22
- stejnoseměrné, I:29
- střídavá složka, II:21
- střídavé, I:29
- špička, II:110
- transformace, II:111
- usměrněné, filtrované, II:20
- usměrněné, maximální hodnota, II:18
- usměrněné, střední hodnota, II:18
- ve fázi, II:54
- vlna, II:138
- v protifázi, II:54
- zápalné, I:124
- zapalovací, II:137
- závěrné, I:113
- závěrné maximální, I:114
- Zenerovo, II:28
 - měření, II:30
- zvlnění, II:19, II:21
- napěťová vlna, II:138
- napěťový dělič, II:12
- napěťový komparátor, II:42
- napěťový měnič
 - snižující, II:111
- násobič kapacity, II:22
- nastavitelné korekce, II:66
- National Semiconductors, I:20
- NE5534, II:68
- negistor, I:82
- nelineární člen, II:98
- nepáživá maska, I:49
- NiCd, I:100
- NiMH, I:100
- nízkofrekvenční zesilovač, II:63
- NOR, II:116, II:117
- nosič, I:47
 - keramický, I:47
- NPN, I:140
- NTC, I:82
- nůž
 - horkovzdušný, I:48
- nýt
 - dutý, I:48
- oblast
 - odporová, I:148
 - saturace, I:148
 - zahrazení, II:109
- oblouk, II:137
- obrazec spojů, I:48
- obvod
 - číslicový, II:115
 - digitální, II:115
 - integrováný, I:151
 - magnetický, I:86, I:88
 - monolytický, I:152
 - periferní, II:119
 - zhášecí, II:110
- obvody
 - integrované, I:152
 - programovatelné, I:152
 - zákaznické, I:153
- oddělení
 - galvanické, I:136
- odpor
 - dovolené zatížení, I:80
 - dynamický vstupní, II:111
 - elektrický, I:79
 - jmenovitý, I:80
 - magnetický, I:86
 - nejvyšší dovolené napětí, I:80
 - řízený, II:111
 - šumové napětí, I:80
 - teplotně závislý, II:139
 - teplotní součinitel, I:80
 - tolerance, I:80
 - v rozpojeném stavu, I:106
 - vnitřní, II:111
 - vstupní, II:49, II:55
 - v sepnutém stavu, I:106
 - záporný diferenciální, I:119
 - zatěžovací, II:59
- odsávačka, I:60
- odstup
 - cizích napětí, II:49
- Ohmův zákon, I:79
- ochrana
 - hrubá, I:123, II:138
 - jemná, I:123, II:138
 - kombinovaná, II:138
 - přepěťová, II:137

- oktáva, II:108
- oprava
 - fólií, I:65
 - plošky, I:68
 - prokovení, I:68
 - propojkou, I:66
- oprava DPS, I:64
- optočen, I:136, I:137
- optoelektrický vazební člen, I:136, I:137
- optokopler, I:136, I:137
- OR, II:116, II:117
- oscilátor
 - Clappův, II:91
 - Colpittsův, II:91
 - Hartleyův, II:90
 - krystalový, II:92, II:93
 - krystalový Clappův, II:94
 - krystalový Colpittsův, II:94
 - krystalový doladování, II:94
 - krystalový Pierceův, II:94
 - s fázovacími čtyřpóly RC, II:96
 - s Wienovým článkem, II:97
 - tříbodové, II:90
 - vysokofrekvenční, II:86
- oscilátory RC, II:95
- oscilokop
 - šířka pásma, I:36
- osciloskop, I:32
 - astigmatismus, I:33
 - bezpečnost práce, I:43
 - bod, I:33
 - časová lupa, I:33
 - časová základna, I:33
 - dělicí sonda, I:36
 - kalibrace, I:37
 - dvojitá časová základna, I:34
 - jas, I:33
 - kalibrátor, I:35
 - měření, I:38
 - měření fázového posuvu, I:41
 - měření indukčnosti, I:42
 - měření kmitočtu, I:39
 - měření napětí, I:38, I:39
 - měření proudu, I:40
 - měření V-A charakteristiky, I:42
 - posuv, I:33
 - princip, I:32
 - rastr, I:33
 - synchronizace, I:32, I:34
 - vstupní zesilovač, I:35
 - vyhledání, I:33
 - zobrazovač, I:32
- OTP, II:119
- otvory
 - prokovení, I:48
 - vrtání, I:48
- OVČ, I:136, I:137
- P6KE400-BIDIR, I:128
- P6KE6V8-BIDIR, I:128
- pájecí ploška
 - uvolněná, I:65
- pájecí stanice, I:60, I:61
- pájedla
 - odporová, I:61
 - regulovaná, I:61
 - transformátorová, I:61
- pájedlo, I:59
 - odporové, I:59
 - plynové, I:59
 - transformátorové, I:59
- pájení, I:59
- pájitelnost, I:62
- pájka, I:59
- pájky, I:62
- paměť
 - datová, II:119
 - nonvolativní, II:119
 - operační, II:119
 - RAM, II:119
- pásmo
 - slyšitelné, II:52
 - šířka, I:36
- pasta
 - grafitová, I:48
- PCB, I:47
- PENTAWAT, I:153
- periferie, II:121
- permeabilita, I:86
- pevné korekce, II:66
- PGA, I:153
- PIC10, II:121
- PIC12, II:121
- PIC16, II:121

- PIC16F628A, II:119, II:121–123
 PIC18, II:121
 PIC24, II:121
 pila
 rychloměrná, I:48
 PIN, I:119
 PIN dioda, I:119
 plechy
 EI, I:89
 plnění okénka, I:87
 plocha okénka, I:87
 plošný spoj, I:47, I:64
 pružný, I:47
 výměna součástek, I:69
 PNP, I:140
 počet závitů, I:87
 počítač
 analogový, II:37
 podmínka
 amplitudová, II:90
 fázová, II:90
 vzniku kmitů, II:90
 pojistka, II:137
 polarizace
 galvanická, I:100, I:101
 pole
 magnetické
 střídavé, I:88
 poloha
 klidová, II:107
 poměr
 převodní, II:111
 postup technologický, I:27
 potenciometr, I:81
 logaritmický, II:59
 průběh, I:81
 pozistor, I:82
 pracovní bod
 stejnoseměrný, II:60
 pracovní registr, II:121
 princip spínání stabilizátoru, II:112
 Print Board Pen, I:52
 programátor, II:121
 programování, II:121
 programování MCU, II:121
 programový čítač, II:119
 prokovení, I:48
 propust, II:81
 dolní, II:81, II:83
 horní, II:81, II:83
 pásmová, II:81, II:83, II:84
 proud
 maximální, I:114
 měření, I:30
 naprázdno, I:94
 přidržený, II:26
 vratný, II:24
 závěrný, II:25
 proudový zesilovací činitel, I:143
 průraz
 lavinový, I:113
 nedestruktivní, II:25
 Zenerův, I:113
 průrazka, II:138
 pružný plošný spoj, I:47
 prvek
 hrubé ochrany, II:138
 jemné ochrany, II:138
 regulační, II:32
 pryž
 vodivá, I:108
 přebuditelnost, II:49
 předloha, I:49
 přenos
 amatérsky, I:52
 profesionálně, I:52
 přechod PN, I:113
 přepětí, I:123, II:137
 přepětová ochrana, II:137
 přerušování, II:121
 maskované, II:121
 nemaskované, II:121
 vlasové, I:65
 příjemka, I:22
 přímka
 mezni, I:142
 zatěžovací, II:111
 PTC, I:82
 puls
 sklon temene, I:43
 Pulse Width Modulation, II:121
 pumpa
 vakuová, I:60
 PWM, II:121

- Q4010LT, I:136
 rail to rail, II:46
 raznice, I:48
 REF, II:70
 registr
 pracovní, II:121
 regulace
 bezeztrátová, II:24, II:26
 regulátor
 odrušení, II:28
 relé, I:108
 bistabilní, I:109
 časovací, I:109
 elektromagnetické, I:108
 jazýčkové, I:109
 nadproudové, I:109
 pohyb kontaktu, I:108
 polarizované, I:109
 přepínací, I:109
 rozpínací, I:109
 s definovaným chováním, I:109
 se zpožděným odpadem, I:109
 se zpožděným přitahem, I:109
 spínací, I:109
 světelné, I:109
 v pevné fázi, I:138
 reostat, I:81
 válcový, II:36
 reset, II:121
 rezistor, I:79
 dovolené zatížení, I:80
 drátový, I:81
 hodnota, I:80
 měření a kontrola, I:83
 napětí
 nejvyšší dovolené, I:80
 šumové, I:80
 napětově závislý, II:137
 napětový dělič, II:12
 nejvyšší dovolené napětí, I:80
 omezovací, II:107
 paralelní řazení, II:12
 promenný, I:81
 řízený, I:82
 sérioparalelní řazení, II:13
 sériové řazení, II:11
 teplotní součinitel, I:80
 tištěný, I:48
 tolerance, I:80
 vrstvový, I:80
 rezonance krystalu, II:93
 rezonátor piezokrystalový, II:92
 RMS, I:29
 Root-Mean-Square, I:29
 rozklad
 galvanický, I:100
 RTB xx-T-P/N, I:97
 rušivé napětí na spínači, I:106
 rychlost
 sepnutí, I:107
 unášivá, I:120
 řada
 vyvolená, I:80
 řadič
 přerušení, II:121
 řadič přerušení, II:121
 řazení
 indukčností a kondenzátorů, II:16
 paralelní
 indukčnosti, II:15
 kapacity, II:14
 rezistory, II:12
 RCL, II:17
 sérioparalelní
 rezistory, II:13
 sériové
 indukčnosti, II:15
 kapacity, II:13
 rezistory, II:11
 řetězec
 filtrační, II:22
 řízení
 fázové, I:131, I:134, II:26
 SA36-11EWA, I:140
 SFR, II:121
 Shottkyho dioda, I:117
 schéma, I:25
 Schmitův klopný obvod, II:110
 Schmitův klopný obvod s OZ, II:42
 signál
 jehlový, I:45

- obdélníkový, I:45
- popis, I:44
- sinusový, I:45
- trojúhelníkový, I:45
- SIOV-S20K20, I:127
- sítotisk, I:53
- skladní karta, I:23
- SKO, II:110
- služba
 - vyhledávací, I:21
- smáčecí úhel, I:62
- smyčka
 - hysterezní, I:87
- SNxxxx, II:115
- solid state relay, I:138
- sonda
 - dělicí, I:36
- soubor
 - instrukční, II:122
- source, I:147
- Special Function Register, II:121
- spínací součástka vícevrstvá, I:129
- spínač
 - diodový, I:112
 - mechanický, I:106
 - můstkový, I:112
 - polovodičový, I:129
- spoj
 - obrazec, I:48
 - plošný, I:47, I:64
 - přerušovaný, I:65
 - šířka, I:55
 - třída, I:54
 - I, I:54
 - II, I:54
 - III, I:54
 - IV, I:54
 - V, I:54
 - VI, I:55
- spojení
 - zkratové, II:137
- spojka
 - vlasová, I:64
- SSH11N90, I:21
- SSI, I:152
- SSR, I:138
- stabilita
 - krátkodobá, II:86
 - stabilita dlouhodobá, II:86
 - stabilita kmitočtu, II:86
 - stabilizace
 - teplotní, II:55
 - stabilizátor, II:22, II:28
 - LM317, II:34
 - LM337, II:34
 - nastavitelný, II:34
 - návrh, II:29
 - paralelní, II:28
 - pevný, II:32
 - poměr převodní, II:111
 - řady 78xx, II:32
 - řady 79xx, II:32
 - s diskrétními součástkami, II:32
 - s integrovaným obvodem, II:32, II:34
 - sériový, II:32
 - spínaný, II:111
 - spínaný princip, II:112
 - stabilizátor napětí, II:22
 - STAND-BY, II:75
 - start zdroje, II:111
 - stav
 - kvazistabilní, II:108
 - provozní normální, II:137
 - stabilní, II:107, II:108, II:110
 - Step-Down Converter Forward Mode, II:112
 - stroj
 - netočivý, I:87
 - struktura
 - tranzistorová, I:152
 - střídavá složka, II:20, II:21
 - stupeň integrace, I:152
 - svodič
 - pomocný, II:137
 - svodič přepětí, II:137
 - synchronizace, I:34
 - šířka pásma, II:84
 - špička
 - napěťová, II:110
 - šum
 - amplitudový, II:89
 - fázový, II:89
 - šumové napětí, I:80

- TA8220, II:77
- tavidla, I:62, I:63
- tavidlo, I:59
- TBA820, II:77
- TDA1515BQ, II:77
- TDA1521, II:76
- TDA1524, II:70
- TDA2003, II:77
- TDA2030A, II:77
- TDA2040, II:77
- TDA2050, II:77
- TDA2052, II:77
- TDA4292, II:70
- TDA7264, II:75
- TDA8560Q, II:77
- TDA8561, II:77
- TDA8571J, II:77
- technika
 - spínací, II:101
- technologie
 - planární, I:151
- telefon
 - mobilní, I:108
- teplotní drift, II:38
- teplotní součinitel odporu, I:80
- termistor, I:82, II:139
- Texas Instruments, I:20
- TIC106M, I:132
- TIC206D, I:134
- TIC263M, I:134
- TL072, II:98
- TL084, II:39
- tlumivka, I:86
- TO12, I:153
- TO220, I:145
- TO3, I:145
- TO73, I:153
- TO74, I:153
- TO77, I:153
- TO8, I:153
- transfer rezistor, I:140
- transformátor, I:87
 - měření
 - izolace, I:93
 - odporu, I:93
 - napětí naprázdno, I:93
 - proud naprázdno, I:94
 - toroidní, I:94
 - výpočet, I:92
 - zkouška
 - elektrické pevnosti, I:93
 - ztráty v železe, I:94
- transil, I:125, I:127
- tranzistor, I:140
 - bipolární, I:13, I:111, I:140
 - blokovací stav, II:102
 - destrukce, II:107
 - dynamické chování, II:102
 - IGBT, I:151
 - JFET, I:147
 - komplementární, II:71
 - koncový, II:73
 - mezní hodnoty, I:143
 - mezní kmitočety, I:143
 - MOSFET, I:110
 - napětí saturační, II:103
 - nasycení, I:142
 - průraz, I:148
 - saturace, I:142
 - spínací, II:102
 - unipolární, I:146, II:78, II:105
 - VA charakteristika, I:142
 - zesílení, I:143
 - ztrátový výkon, I:143
- trhlina
 - vlasová, I:65
- triak, I:113, I:133, II:24, II:106
- trimr, I:81
 - odporový, I:81
- trisil, I:125, I:127
- TRMS, I:29
- trubice
 - vyfukovací, II:137
- True Root-Mean-Square, I:29
- TTL, II:116
- TTL-LS, II:116
- tyristor, I:113, I:129, II:23, II:106
 - sepnutí, II:24
- UCYxxxx, II:115
- úhel
 - otevření, II:26
 - smáčecí, I:62
- ULSI, I:152

- Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter, 1121
 úroveň
 ochranná, I:124
 urychlení, II:107
 USART, II:121
 usměrňovač, II:18
 dvoucestný, uzlový, II:19
 dvoupulsní aktivní, II:20
 dvoupulsní Graetzův, II:19
 dvoupulsní můstkový, II:19
 dvoupulsní, uzlový, II:19
 jednocestný, II:18
 jednopulsní, II:18
 jednopulsní, aktivní, II:18
 řízený, II:26
 útlumový článek, II:13

 V-A charakteristika
 zobrazení, I:42
 vakuová pumpa, I:60
 varaktory, I:118
 variable resistor, I:125
 varikap, I:117
 varistor, I:82, I:124, I:125, II:137, II:138
 vazba
 stejnoseměrná, II:58
 zpětná, II:38, II:54, II:55
 kladná, II:54
 záporná, II:54
 vazební kondenzátor, II:56
 VCR-7D275V, I:127
 věčný hrot, I:63
 vlna napěťová, II:138
 VLSI, I:152
 vnitřní odpor, II:111
 vodič
 pro vinutí, I:92
 průřez, I:87
 vodivá vrstva, I:47
 vodivost
 intrinziční, I:119
 Volta A., I:13
 voltmetr
 nízkofrekvenční, I:29
 vysokofrekvenční, I:29
 vrstva
 uhlíková, I:49
 vodivá, I:47
 vrstva I, I:119
 vstup
 invertující, II:37
 klidový proud, II:38
 napěťová nesymetrie, II:38
 neinvertující, II:37
 výboj
 doutnavý, I:124
 obloukový, I:124
 výbrus, II:92
 výčetka, I:26
 výdejka, I:23
 výhybka
 kmitočtová, II:17
 výkonový zesilovač, II:70
 výkres
 grafitového potisku, I:25
 nepájivé masky, I:25
 osazení, I:25
 potisku, I:25
 spojů, I:24
 vrtání, I:25
 výkres zlacení, I:25
 vyvolená řada, I:80
 vzdálenost
 povrchová, I:56
 vzdušná, I:56
 vzorek
 funkční, I:51

 Watch Dog Timer, II:121
 WDT, II:121
 Wienův článek, II:96, II:97
 wolfram, I:115
 WTD, II:121

 XOR, II:117

 zádrž, II:82
 pásmová, II:82, II:83, II:85
 úzkopásmová, II:85
 základna
 časová, I:32
 zákon
 Ohmův, I:79
 Zákon o odpadech, II:143

- zapojení
 - kaskádní, II:138
- zapojení s komplementárními tranzistory, II:71
- záření
 - koherentní, I:121
- zátěž
 - indukční, II:110
- zatěžovací přímka, II:111
- zatížení
 - dovolené, I:80
- zatížitelnost zdroje, II:111
- zdroj
 - hodin, II:119
 - měkký start, II:112
 - náběh, II:111
 - nadproudová ochrana, II:112
 - přetížení, II:111
 - start, II:111
 - zatížitelnost, II:111
- zdroj hodin, II:119
- zdroj signálu
 - nízkoúrovňový, II:48
 - vysokoúrovňový, II:48
- zesílení, II:50
 - napěťové, II:89
- zesilovač
 - dvoustupňový, II:58
 - jednostupňový, II:56
 - jednotranzistorový, II:52
 - koncový, II:52
 - korekční, II:51, II:66
 - nastavitelný, II:66
 - pevný, II:66
 - napěťový, II:51
 - nastavení pracovního bodu, II:52
 - nízkofrekvenční, II:52
 - nízkofrekvenční s OZ, II:63
 - operační, II:37, II:61
 - bez zpětné vazby, II:42
 - BIFET, II:37, II:38
 - BIMOS, II:37, II:38
 - diferenční, II:41
 - generátor funkcí, II:43
 - ideální, II:37
 - integrační, II:42
 - invertující, II:40, II:61
 - katalogové údaje, II:38
 - kmitočtová kompenzace, II:38
 - komparátor, II:42
 - kompenzace vstupní proudové nesymetrie, II:41
 - konstrukční požadavky, II:39
 - napěťová nesymetrie, II:38
 - neinvertující, II:40, II:62
 - nízkofrekvenční, II:63
 - pouzďení, II:38
 - rozdílový, II:41
 - rychlost přeběhu, II:38
 - Schmitův klopný obvod, II:42
 - součtový, II:41
 - sumační, II:41
 - vlastnosti, II:37
 - vstupní klidový proud, II:38
 - předzesilovač, II:52
 - přenosový řetězec, II:51
 - stabilita, II:55, II:60
 - třída A, II:52, II:72
 - třída AB, II:52, II:72, II:73
 - třída B, II:52, II:72
 - třídy, II:52
 - třístupňový, II:60
 - vstupní odpor, II:55
 - výkonový, II:51, II:52, II:70
 - zhasnutí oblouku, I:125
 - zkrat, I:64
 - zkreslení, II:50
 - činitel harmonického zkreslení, II:50
 - harmonické, II:50
 - intermodulační, II:50
 - zlacení, I:49
 - zobrazovač, I:139
 - zobrazovače LCD, I:140
 - zpětná vazba, II:54
 - ztráta
 - tepelná, II:101
 - ztráty
 - tepelné, II:102
 - zvlnění, II:21

Literatura

- [1] ABE.tec. Desky pro výrobu plošných spojů [online]. 2008, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <http://www.prototypdps.cz/dps/dps_desk1.htm>
- [2] AHMADI H. Calculating Creepage and Clearance Early Avoids Design Problems Later [online]. 2006, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://www.ce-mag.com/ce-mag.com/archive/01/03/ProductSafety.html>>
- [3] BEČKA R. Určenie dolného a horného kmitočtu dvojbrány pomocou osciloskopu. Praha: Sdělovací technika č. 9 (str. 359), 1993
- [4] Ing. BELZA J. Zapojení s operačními zesilovači. Praha: AMARO spol. s r. o. Konstrukční elektronika A Radio č. 3, 1996, ISSN 1211-3557
- [5] BEZDĚK M. Elektronika 1. [České Budějovice?]: Kopp [2002?]. ISBN 80-7232-171-4
- [6] BORISOV, V. G. Mladý radioamatér. Praha: Naše Vojsko, 1953
- [7] Ing. ČERMÁK J. CSc. Kurs polovodičové techniky. Praha: SNTL, 1976
- [8] European commision. Frequently Asked Question on Directive 2002/95/EC on the Restriction of Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS) and Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) [online]. Evropská komise 2003 [citováno 25. září 2008]. Dostupné z: <http://ceho.vuv.cz/CeHO/CeHO/Elektroodpad/FAQ_WEEE_guidance_EU.pdf>
- [9] Evropská komise. Časté otázky u směrnic 2002/96/ES a 2002/95/ES (pracovní překlad) [online]. Praha: VÚV T.G.M - CeHO 2006 [citováno 29. září 2008]. Dostupné z: <http://ceho.vuv.cz/CeHO/CeHO/Elektroodpad/FAQ_OEEZ_CeHO_2000.doc>
- [10] Gatema s.r.o. Výroba plošných spojů – technické podmínky [online]. 2006 [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://www.gatema.cz/cz/vyroba-plosnych-spoju/technicke-podminky>>
- [11] GIJZEN B. IC-Prog Prototype Programmer [online]. 2008, poslední úpravy 6. září 2008 [citováno 17. prosince 2008]. Dostupné z: <<http://www.ic-prog.com>>
- [12] HALÍK L. Aktivní proudové sondy. Praha: Sdělovací technika č. 12 (str. 483), 1993
- [13] HALÍK L. Kurzory a zprávy na obrazovce. Praha: Sdělovací technika č. 2 (str. 57), 1994
- [14] HALÍK L. Osciloskop se vstupním odporem 50 Ω. Praha: Sdělovací technika č. 1 (str. 11), 1994

- [15] HALÍK L. Použití sond k osciloskopu. SNTL, Sdělovací technika č. 8 (str. 285), 1990
- [16] HALÍK L. Připojení měřeného objektu k osciloskopu. Praha: Sdělovací technika č. 11 (str. 441), 1993
- [17] HANUS, S., SVAČINA, J. Vysokofrekvenční a mikrovlnná technika – přednášky. Skripta FEI VUT. MJ Servis, Brno 2000
- [18] HAVÍŘOVÁ B. Monitorování průběhů pomocí osciloskopu [online]. 2003, [citováno 16. února 2009]. Dostupné z: <<http://www.math.muni.cz/stastna/dp/04.htm>>
- [19] HONG S. A History of the Regeneration Circuit [online]. 2004 [citováno 13. června 2008]. Seoul: Seoul National University. Dostupné z: <http://www.ieee.org/portal/cms_docs_iportals/iportals/aboutus/history_center/conferences/che2004/Hong.pdf>
- [20] HRUBÝ J. CSc. Návrh aktivních dolních a horních propustí RC s jediným operačním zesilovačem. Praha: Sdělovací technika č. 12 (str. 443), 1975
- [21] i-spec. Circuit Separation [online]. 2003, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <http://www.i-spec.com/Basics/circuit_separation.html>
- [22] Ing. KALA S. Program pro výpočet útlumového článku. Praha: Naše Vojsko, Amatérské rádio – konstrukční příloha (str. 65), 1988
- [23] katalog. Katalog elektronických součástek č. 5. Tesla Rožnov: Rožnov 1989 (strana 128 až 179)
- [24] kol. Elektrotechnická měření. Praha: BEN, 2006, ISBN 80-7300-022-9
- [25] kol. Obsah – výuka ZÁSOBOVÁNÍ [online]. Centrum pro rozvoj ekonomického vzdělávání, 2009 [citováno: 1.1.2009]. Dostupné z: <http://www.ceed.cz/podnik_ekonomika/zasobovani_logistika/Obsah_vyuka.htm>
- [26] kol. Technická dokumentace [online]. CVUT 2004, [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://k312.feld.cvut.cz/vyuka/tdo/dokumentace/texty/lectures/Electro.pdf>>
- [27] kol. Technická příprava výroby [online]. 2008 [citováno: 1.1.2009]. Dostupné z: <http://www.skolasnov.ic.cz/matury/technicka_priprava_vyroby__master.pdf>
- [28] kol. Tutoriál 1 (KNFE) VUT Brno Úvod do nízkofrekvenční techniky. [Brno?]: VUT Brno
- [29] KRAUS A. Moderní výkonové zesilovače. Praha: AMARO spol. s r. o. Amatérské rádio č. 10 (str. 25), 2007, ISSN 0322-9572
- [30] KRAUS A. Poweramp [online]. 2008 [citováno 17. prosince 2008]. Dostupné z: <<http://www.poweramp.eu>>
- [31] KRYŠKA L. prom. fyz, Zuska J. Aplikace operačních zesilovačů. Praha: Naše Vojsko, Amatérské rádio pro konstruktéry č. 6, 1977
- [32] KRŮŽEK, V. Když rádio bylo mladé. [Praha?]: Elli 2005. ISBN 80-239-2284-X.

- [33] KULHÁNEK M. Základy elektrického měření. Plzeň: SOUE 2007
- [34] MATUŠKA A. Nízkofrekvenční aktivní filtry s operačními zesilovači. Praha: Naše Vojsko, Amatérské radio pro konstruktéry č. 4 (str. 137), 1979
- [35] Ministerstvo vnitra. Sbírka zákonů, částka 123/2005. Praha: Tiskárna MV 2005. ISSN 1211-1244
- [36] Ing. SIGMUND M. CSc. Aktivní filtry RC 3. řádu s jedním operačním zesilovačem. Praha: MAGNET, Amatérské rádio – konstrukční příloha (str. 41), 1990
- [37] PINKER J., POUPA M. Číslicové systémy a jazyk VHDL, Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-198-5
- [38] printed. Konstrukční a zadávací podmínky [online]. 2001-2006 [citováno 13. února 2009]. Dostupné z: <<http://printed.webove-aplikace.com/konstrukcni-a-zadavaci-podminky>>
- [39] sinclar. Elektronky II – princip funkce elektronek a historie [online]. 2003 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <<http://www.zesilovace.cz/view.php?cislocianku>=2003031202>>
- [40] ŠTEVÁNKA D. Návrh aktivních pásmových propustů. Praha: SNTL, Sdělovací technika č. 12 (str. 456), 1975
- [41] Ing. TKOTZ K. a kol. Fachkunde Elektrotechnik. Europa Lehrmittel Verlag, 2008. ISBN 3-8085-3159-2
- [42] VACKÁŘ J. Amatérská měřicí technika. Praha: SNTL, 1990
- [43] VESELOVSKÝ J., DANIŠ S., Elektrotechnické kreslení pro SOU. Praha: SNTL, 1988
- [44] Ing. VÍT V. Televizní technika, anténní rozvody a signálové obvody přijímačů. Praha: AZ SERVIS, 1993
- [45] Ing. VÍT V. a kol. Televizní technika. Praha: SNTL, 1979
- [46] VOŽENÍLEK L., ŘEŠÁTKO M., Základy elektrotechniky 1. Praha: SNTL, 1984
- [47] SVOBODA J. BRDA J. Elektroakustika do kapsy. Praha: SNTL, 1981
- [48] TOMEK G. VRÁNKOVÁ V. Řízení výroby a nákupu, Grada publishing, Praha 2007, ISBN 978-80-247-1479-0
- [49] Wikipedia. Alessandro Volta [online]. 2008, poslední úpravy 13. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta>
- [50] Wikipedia. History of the transistor [online]. 2007, poslední úpravy 22. května 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_transistor>
- [51] Wikipedia. Edwin Howard Armstrong [online]. 2007, poslední úpravy 2. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_H._Armstrong>

- [52] Wikipedia. Jack Kilby [online]. 2008, poslední úpravy 10. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Jack_Kilby>
- [53] Wikipedia. John Ambrose Fleming [online]. 2007, poslední úpravy 26. května 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/John_Ambrose_Fleming>
- [54] Wikipedia. Julius Edgar Lilienfeld [online]. 2006, poslední úpravy 7. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Julius_Edgar_Lilienfeld>
- [55] Wikipedia. Hans Christian Ørsted [online]. 2008, poslední úpravy 12. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted>
- [56] Wikipedia. Lee De Forest [online]. 2007, poslední úpravy 12. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lee_De_Forest>
- [57] Wikipedia. Georg Ohm [online]. 2008, poslední úpravy 6. června 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Georg_Ohm>
- [58] Wikipedia. Greenleaf Whittier Pickard [online]. 2004, poslední úpravy 6. května 2008 [citováno 13. června 2008]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Greenleaf_Whittier_Pickard>

DÍLENSKÁ PŘÍRUČKA – ELEKTRONIKA I.
Druhý díl
kolektiv autorů

Sazba autor, tisk TYPOS Plzeň
Toto vydání neprošlo jazykovou ani redakční úpravou.

Vydalo Sdružení energetických a elektrotechnických škol a učilišť
jako svou 5. publikaci. 181 stran. Plzeň 2009.
Druhé přepracované vydání.

Střední odborné učiliště elektrotechnické, Vejprnická 56, 318 00 Plzeň.
<http://www.souepl.cz>, *e-mail* centrum@souepl.cz