

Manfred Frohn • Wolfgang Oberthür • Hans-Jobst Siedler
Manfred Wiemer • Peter Zastrow

ELEKTRONIKA

**součástky
a základní zapojení**

Praha 2006



Rozsáhlá učebnice elektroniky, pokrývající zaměřená na základní polovodičové součástky a jejich základní obvodová zapojení.

Kniha obsahuje mnoho názorných obrázků a nespočet nenáročných řešených příkladů. Vše je podáno tak, aby byly na první pohled vidět principy funkce. Teoretická část je omezena na co nejnütnější míru

Učebnice vychází z 9. celoněmeckého vydání. Je určena pro každodenní použití jako studijní materiál pro prohlubování a upevňování vědomostí, samostatné opakování učební látky nebo i jako přehledná příručka.

Kniha je překladem německého originálu

M. Frohn, W. Oberthür, H.-J. Siedler, M. Wiemer, P. Zastrow:

Bauelemente und Grundsaltungen der Mikroelektronik, 9. Auflage

ISBN 3-7905-0900-0, vydaného nakladatelstvím Pflaum Verlag GmbH, 9. vydání.

M. Frohn, W. Oberthür, H.-J. Siedler, M. Wiemer, P. Zastrow

Elektronika – součástky a základní zapojení

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© M. Frohn, W. Oberthür, H.-J. Siedler, M. Wiemer, P. Zastrow, 2003

© Pflaum Verlag GmbH, 2003

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Translation © Jiří Nobilis, Vlastislav Kazda, Pardubice 2006

M. Frohn, W. Oberthür, H.-J. Siedler, M. Wiemer, P. Zastrow:

ELEKTRONIKA – SOUČÁSTKY A ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ

BEN – technická literatura, Praha 2006

1. české vydání

ISBN 80-7300-123-3

Orig.: ISBN 3-7905-0900-0 (Pflaum Verlag GmbH, 9. Auflage)

OBSAH

1 Polovodičové diody	14
1.1 Všeobecné poznatky	14
1.2 Fyzika polovodičů	16
1.2.1 Polovodičové materiály	16
1.2.2 Vlastní vodivost	20
1.2.3 Dotovaný polovodič	23
1.2.3.1 Nevlastní vodivost	23
1.2.3.2 Polovodič typu N	24
1.2.3.3 Polovodič typu P	25
1.2.4 Přechod PN	25
1.2.4.1 Vytvoření přechodu PN	25
1.2.4.2 Přechod PN bez připojeného napětí	26
1.2.4.3 Přechod PN v propustném směru	28
1.2.4.4 Přechod PN v závěrném směru	29
1.3 Usměrňovací a spínací diody	30
1.3.1 Charakteristiky	30
1.3.2 Charakteristické hodnoty	33
1.3.2.1 Mezní hodnoty	33
1.3.2.2 Parametry	36
1.3.2.3 Teplotní závislost	41
1.3.3 Charakteristické vlastnosti křemíkových, germaniových a selenových diod	47
1.3.4 Značení diod	49
1.3.4.1 Značení podle normy „JEDEC“	49
1.3.4.2 Značení podle normy „Pro-Electron“	49
1.4 Příklady použití usměrňovacích a spínacích diod	51
1.4.1 Zapojení usměrňovačů	52
1.4.1.1 Jednocestný usměrňovač	52
1.4.1.2 Dvoucestné usměrňovače	58
1.4.1.3 Filtrace výstupního napětí usměrňovače	65
1.4.1.4 Zdvojovače a násobiče napětí	68

1.4.2	Diodové spínače	71
1.4.2.1	Základní princip	71
1.4.2.2	Logické operace	74
1.4.2.3	Omezovače	77
1.5	Zenerovy diody	79
1.5.1	Základní princip a činnost	79
1.5.2	Charakteristické hodnoty	80
1.5.2.1	Charakteristiky	80
1.5.2.2	Velikosti Zenerových napětí	82
1.5.2.3	Teplotní závislost	83
1.5.2.4	Diferenciální odpor r_Z	86
1.5.2.5	Charakteristické a mezní hodnoty	87
1.5.3	Příklady originálních katalogových listů	88
1.5.4	Příklady použití	92
1.5.4.1	Stabilizace napětí	92
1.5.4.2	Omezovače napětí se Zenerovými diodami	99
1.6	Kapacitní diody	101
1.6.1	Základní princip a činnost	101
1.6.2	Charakteristické hodnoty	102
1.6.3	Příklad použití	105
1.7	Schottkyho diody	106

2 Bipolární tranzistory 112

2.1	Všeobecné poznatky	112
2.2	Základní princip	115
2.2.1	Princip funkce NPN a PNP tranzistorů	115
2.2.2	Porovnání germaniových a křemíkových tranzistorů	119
2.3	Charakteristiky	119
2.3.1	Vstupní charakteristika	120
2.3.2	Charakteristika proudového zesílení	121
2.3.3	Výstupní charakteristika	122
2.3.4	Převodní charakteristika	123

2.4	Charakteristické hodnoty	124
2.4.1	Všeobecné poznatky	124
2.4.2	Mezní hodnoty	125
2.4.2.1	Mezní hodnoty napětí a proudů	125
2.4.2.2	Mezní hodnoty ztrátového výkonu	126
2.4.2.3	Mezní hodnoty teploty přechodů ϑ_j	127
2.4.2.4	Mezní hodnoty teploty okolí ϑ_a	127
2.4.2.5	Přípustná pracovní oblast	128
2.4.3	Parametry	128
2.5	Provedení tranzistorů	132
2.5.1	Druhy tranzistorů	132
2.5.2	Systém značení polovodičových součástek	133
2.6	Nastavení a stabilizace klidového pracovního bodu	134
2.6.1	Určení velikosti kolektorového rezistoru	134
2.6.2	Získávání napětí na bázi	137
2.6.3	Teplotní stabilizace klidového pracovního bodu	139
2.6.3.1	Stabilizace pomocí termistoru NTC	139
2.6.3.2	Stabilizace emitorovým rezistorem	140
2.6.3.3	Stabilizace napěťovou zápornou zpětnou vazbou	144
2.7	Základní zapojení tranzistoru	145
2.7.1	Zapojení se společným emitorem (SE)	146
2.7.2	Zapojení se společným kolektorem (SC)	151
2.7.3	Shrnutí a vzájemné porovnání vlastností zesilovacích stupňů	155
2.8	Příklady použití	155
2.8.1	Stejnoseměrné zesilovače	157
2.8.2	Zesilovač střídavého napětí	160
2.8.3	Výkonové zesilovače	168
2.8.4	Spínací zesilovače	174



3 Unipolární tranzistory 186

	3.1 Obecný popis	186
	3.2 Unipolární tranzistory s přechodovým hradlem (JFET)	189
	3.2.1 Provedení a funkce	189
	3.2.2 Označení a schematické značky	190
	3.2.3 Charakteristiky	190
	3.2.3.1 Převodní charakteristika	190
	3.2.3.2 Výstupní charakteristika	193
	3.2.3.3 Teplotní závislost	195
	3.2.4 Charakteristické hodnoty	196
	3.2.4.1 Mezní hodnoty	196
	3.2.4.2 Typické hodnoty	198
	3.2.4.3 Tepelný odpor	204
	3.3 MOSFET	204
	3.3.1 MOSFET s vodivým kanálem	205
	3.3.1.1 Provedení a funkce	205
	3.3.1.2 Označení a schematické značky	205
	3.3.1.3 Charakteristiky	206
	3.3.2 MOSFET s nevodivým kanálem	209
	3.3.2.1 Provedení a funkce	209
	3.3.2.2 Označení a schematické značky	210
	3.3.2.3 Charakteristiky	210
	3.3.3 Charakteristické hodnoty	211
	3.3.3.1 Mezní hodnoty	211
	3.3.3.2 Typické hodnoty	212
	3.3.3.3 Tepelný odpor	213
	3.3.3.4 Porovnání	214
	3.4 MOSFET zvláštní konstrukce	215
	3.4.1 MOSFET s dvěma hradly (Dual Gate MOSFET)	215
	3.4.2 VMOSFET	217
	3.4.3 SIPMOSFET	218
	3.5 Nastavení pracovního bodu	220

3.6	Základní zapojení FET	224
3.6.1	Zapojení se společnou elektrodou S (source)	225
3.6.2	Zapojení se společnou elektrodou D (drain)	228
3.6.3	Shrnutí a porovnání	232
3.7	Příklady použití	232
3.7.1	Zesilovač střídavého signálu	233
3.7.2	Zesilovač stejnosměrného napětí	236
3.7.3	Zdroj konstantního proudu	237
3.7.4	Řízený odpor	239
3.7.5	MOSFET jako spínač	241
4	Tyristory, triaky a diaky	244
4.1	Všeobecné poznatky	244
4.2	Tyristory	245
4.2.1	Technologie výroby a funkce	245
4.2.2	Spínání tyristorů	248
4.2.3	Chování tyristorů v propustném směru	252
4.2.4	Vypínání tyristorů	252
4.2.5	Charakteristické hodnoty	253
4.2.5.1	Charakteristické parametry	254
4.2.5.2	Mezní hodnoty	254
4.2.5.3	Ztrátový výkon	255
4.2.5.4	Tepelné charakteristické hodnoty	256
4.2.5.5	Dynamické charakteristické hodnoty	258
4.2.6	Ochranné obvody	260
4.2.6.1	Ochrana proti nadměrnému proudu	260
4.2.6.2	Ochrana proti přepětí	260
4.2.7	Typy pouzder a značení tyristorů	261
4.2.7.1	Typy pouzder	261
4.2.7.2	Značení	263
4.3	Triaky	263
4.3.1	Provedení a funkce	263
4.3.2	Charakteristické parametry	266



4.3.3	Ochranné obvody	267
4.3.4	Typy pouzder a značení triaků	267
4.4	Způsoby spouštění tyristorů a triaků	267
4.4.1	Provoz tyristoru při spouštění stejnosměrným napětím na řídicí elektrodě	268
4.4.2	Provoz tyristoru při spouštění střídavým napětím na řídicí elektrodě	269
4.4.3	Impulzní spouštění	270
4.4.3.1	Impulzní spouštění s jednosměrnými tyristorovými diodami	271
4.4.3.2	Impulzní spouštění s obousměrnými tyristorovými diodami	272
4.4.3.3	Impulzní spouštění pomocí integrovaných obvodů	274
4.5	Možnosti využití	275
4.5.1	Fázové řízení tyristorů a triaků	276
4.5.1.1	Fázové řízení tyristoru pomocí členu RC	279
4.5.1.2	Fázové řízení tyristorů a triaků pomocí členů RC a diaků	279
4.5.1.3	Fázové řízení tyristorů a triaků pomocí integrovaných obvodů	282
4.5.2	Regulace výkonu v obvodu stejnosměrného proudu	284

5 Optoelektronické součásti 286

5.1	Obecný popis	286
5.2	Polovodičové součásti emitující světlo	286
5.2.1	Základní princip	286
5.2.2	Svítilivé diody pro viditelné světlo	289
5.2.3	Infračervené svítivé diody	293
5.2.4	Příklady použití	294
5.2.4.1	LED jako optická signalizace	294
5.2.4.2	Optické vazební členy	298
5.2.4.3	Světelné závory	302
5.2.4.4	Světelné dálkové ovládání	307
5.3	Optický přenos signálu	308
5.3.1	Optická vlákna	308
5.3.2	Výkonové LED a lasery jako zdroje záření	312
5.3.2.1	Výkonové LED	312
5.3.2.2	Laserové LED	313

5.3.3	Fotodioda PIN a fototranzistor jako přijímač záření	314
5.3.4	Příklady použití	316
5.4	Zobrazovací jednotky	319
5.4.1	Zobrazovače LED	319
5.4.2	Zobrazovače LCD	322
5.4.3	Vakuové fluorescenční zobrazovací jednotky	325

6 Operační zesilovače 328

6.1	Obecný popis	328
6.2	Princip a základní parametry operačních zesilovačů	329
6.2.1	Základní zapojení operačních zesilovačů	329
6.2.2	Parametry a konstrukční provedení	334
6.3	Základní zapojení operačních zesilovačů	337
6.3.1	Vstupní a výstupní napětí	337
6.3.2	Komparátor	338
6.3.3	Invertující zapojení OZ	340
6.3.4	Neinvertující zapojení OZ	342
6.3.5	Kompenzace rušivých vlivů	344
6.3.5.1	Kompenzace vstupních klidových proudů	344
6.3.5.2	Kompenzace napěťové nesymetrie	345
6.3.5.3	Frekvenční kompenzace	347
6.3.5.4	Rychlost změny výstupního napětí	349
6.4	Operační zesilovače s frekvenčně nezávislou zpětnou vazbou	350
6.4.1	Invertující zesilovač	350
6.4.1.1	Základní princip invertujícího zesilovače	350
6.4.1.2	Příklad použití	351
6.4.2	Neinvertující zesilovač	352
6.4.2.1	Základní princip neinvertujícího zesilovače	352
6.4.2.2	Sledovač napětí	352
6.4.2.3	Příklady použití	353

6.4.3	Sčítací zesilovač	356
6.4.3.1	Základní princip sčítacího zesilovače	356
6.4.3.2	Příklad použití	357
6.4.4	Rozdílový zesilovač	358
6.4.4.1	Základní princip rozdílového zesilovače	358
6.4.4.2	Příklad použití	359
6.5	Operační zesilovače s frekvenčně závislou zpětnou vazbou	360
6.5.1	Integrátor	360
6.5.2	Derivátor	363
6.5.3	Zesilovače střídavého napětí	364
6.5.3.1	Princip zesilovače střídavého napětí s frekvenčně závislou zápornou zpětnou vazbou	365
6.5.3.2	Příklady použití	366
6.5.4	Aktivní filtry	367
6.5.4.1	Aktivní dolní propust	368
6.5.4.2	Aktivní horní propust	369
6.6	Operační zesilovače s výkonovým koncovým stupněm	369
6.6.1	Koncový stupeň s tranzistorem	370
6.6.2	OZ s integrovaným koncovým stupněm	371

7 Senzory 376

7.1	Všeobecné poznatky	376
7.2	Varistory	378
7.2.1	Princip činnosti a charakteristiky	378
7.2.2	Příklady použití	380
7.3	Senzory pro snímání teploty	382
7.3.1	Odporové senzory	382
7.3.1.1	Princip činnosti a konstrukce	382
7.3.1.2	Příklady použití a kritéria pro výběr	384
7.3.2	Termistory	387
7.3.2.1	Termistory NTC	387
7.3.2.2	Termistory PTC (pozistory)	398

7.3.3	Křemíkové teplotní senzory	407
7.3.3.1	Princip a charakteristiky	407
7.3.3.2	Korekce odporové charakteristiky	409
7.3.3.3	Parametry a provedení	412
7.3.3.4	Příklad použití	413
7.3.4	Integrované teplotní senzory	413
7.4	Senzory citlivé na magnetické pole	415
7.4.1	Magnetorezistory	417
7.4.1.1	Princip a činnost	417
7.4.1.2	Charakteristiky a vlastnosti	418
7.4.1.3	Provedení a možnosti využití	420
7.4.1.4	Příklady použití	421
7.4.2	Senzory využívající Hallova jevu	422
7.4.2.1	Princip a činnost	422
7.4.2.2	Charakteristiky a parametry	424
7.4.2.3	Provedení a možnosti použití	425
7.5	Senzory pro zjišťování mechanického namáhání	427
7.5.1	Piezorezistivní senzory	428
7.5.1.1	Odporové proužky pro měření prodloužení	428
7.5.1.2	Polovodičové proužky pro měření prodloužení	432
7.5.2	Piezoelektrické senzory	435
7.5.2.1	Princip a činnost	435
7.6	Senzory citlivé na světlo	435
7.6.1	Základní veličiny z techniky osvětlování	435
7.6.2	Polovodiče citlivé na světlo	440
7.6.2.1	Fotorezistor	441
7.6.2.2	Fotoelektrické a solární články	444
7.6.2.3	Fotodiody	451
7.6.2.4	Fototranzistory	457
7.6.3	Příklady použití	463

Rejstřík **464**

Adresy prodejen technické literatury	479
Pár slov o nakladatelství	480

