

Bohumil BRTNÍK, David MATOUŠEK

ELEKTRONICKÉ PRVKY

Praha 2011



Tato monografie byla vypracována a publikována s podporou Rozvojového projektu VŠPJ na rok 2011.

Bohumil Brtník, David Matoušek

Elektronické prvky

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.

Autoři 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

© Bohumil Brtník, David Matoušek, 2011

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

Bohumil Brtník, David Matoušek: Elektronické prvky

BEN – technická literatura, Praha 2011

1. vydání

ISBN 978-80-7300-426-2 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-427-9 (elektronická kniha v PDF)

Obsah

1	Rozdělení látek z hlediska elektrické vodivosti	
1.1	Energetické hladiny a pásy.....	1-1
1.2	Pásové diagramy.....	1-2
1.3	Fermi - Diracova rozdělovací funkce.....	1-3
1.4	Polovodičové materiály dříve a dnes.....	1-3
2	Fyzikální základy polovodičů	
2.1	Vlastní (intrinzický) polovodič.....	2-1
2.2	Nevlastní polovodič typu P.....	2-2
2.3	Nevlastní polovodič typu N.....	2-2
2.4	Pásové diagramy polovodičů.....	2-3
2.5	Transport nosičů náboje.....	2-5
2.6	Injekce nosičů náboje.....	2-8
2.7	Generace a rekombinace nosičů náboje.....	2-8
2.8	Jevy v silném elektrickém poli.....	2-9
3	Princip a vlastnosti PN přechodu	
3.1	Polarizace PN přechodu.....	3-3
3.2	Difúzní napětí.....	3-4
3.3	V-A charakteristika a Shockleyho rovnice.....	3-5
3.4	Bariérová a difúzní kapacita.....	3-6
3.5	Praktická provedení diod.....	3-7
3.6	Struktura PIN.....	3-8
4	Diody – ostatní typy	
4.1	Stabilizační diody.....	4-1
4.2	Tunelová dioda.....	4-3
4.3	Přechod kov – polovodič.....	4-5
4.4	Parametry diod.....	4-7
4.5	Dioda jako spínací prvek.....	4-8
5	Bipolární tranzistor (BJT)	
5.1	Princip činnosti bipolárního tranzistoru.....	5-1
5.2	Tranzistorový jev.....	5-3
5.3	Základní zapojení tranzistoru.....	5-4
5.4	V-A charakteristiky tranzistoru.....	5-6
5.5	Modely tranzistoru.....	5-8
5.6	Obvody pro nastavení pracovního bodu.....	5-11
5.7	Vliv obvodových veličin a teploty na vlastnosti tranzistoru.....	5-13
5.8	Pracovní oblast tranzistoru.....	5-15
5.9	Darlingtonovo zapojení.....	5-16
5.10	Technologie výroby tranzistoru.....	5-16
5.11	Mezní kmitočty tranzistoru.....	5-17
5.12	Základní zesilovací stupně.....	5-19
5.13	Tranzistor jako spínač (saturační režim).....	5-19
6	Tranzistory řízené elektrickým polem (FET)	
6.1	JFET (tranzistor s přechodovým hradlem).....	6-1
6.2	MESFET.....	6-7
6.3	MISFET (resp. MOSFET).....	6-8
6.4	Tenkvrstvé FET (TFT).....	6-14
6.5	Zvláštní provedení tranzistorů MISFET.....	6-15
6.6	Technologie CMOS (Complementary MOS).....	6-18
6.7	MISFET jako spínač.....	6-18
6.8	Teplotní závislost unipolárních tranzistorů.....	6-21
6.9	Body-dioda a parazitní bipolární tranzistor.....	6-21

ELEKTRONICKÉ PRVKY

7	Výkonové a spínací aplikace tranzistorů	
7.1	Ztrátový výkon a chlazení součástky.....	7-1
7.2	První a druhý průraz bipolárního tranzistoru	7-3
7.3	Spínání indukivní zátěže tranzistorem	7-4
7.4	Spínací a lineární režim	7-8
7.5	SOA – Bezpečná pracovní oblast	7-10
8	Ostatní spínací součástky	
8.1	Diak.....	8-1
8.2	Tyristor	8-1
8.3	Další typy tyristorů.....	8-6
8.4	Triak.....	8-8
8.5	Transil a trisil.....	8-8
8.6	IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	8-9
9	Operační zesilovač (OZ)	
9.1	Schématická značka, základní pojmy	9-1
9.2	Ideální a reálný operační zesilovač.....	9-2
9.3	Zpětná vazba	9-5
9.4	Praktické použití záporné zpětné vazby	9-7
10	Součástky řízené neelektrickými veličinami	
10.1	Optoelektronické součástky	10-1
10.2	Termistory – součástky řízené teplotou.....	10-9
10.3	Součástky řízené magnetickým polem.....	10-10

Předmluva

Tato je určena všem čtenářům, kteří se zabývají elektronickými prvky tedy elektronickými součástkami. Kromě popisu klíčových součástek nechybí ani doplnění fyzikálních základů, které umožní lépe pochopit jejich princip a také příklady praktického použití.

První dvě kapitoly jsou věnovány fyzikálním základům polovodičů. Probírají se pásové diagramy, vlastní a nevlastní polovodiče, vedení proudu v polovodičích, injekce, generace a rekombinace nosičů náboje.

Kapitoly 3 a 4 probírají PN přechod, který je základem všech polovodičových součástek. Jsou diskutovány pojmy: difúzní napětí, Shockleyho rovnice, bariérová a difúzní kapacita a praktická provedení diod. Dále jsou vysvětleny diody PIN, stabilizační diody, tunelová dioda, přechod kov – polovodič (Schottkyho dioda) a použití diod pro spínací aplikace.

Kapitoly 5 až 7 probírají tranzistory. Nejdříve se probírají bipolární tranzistory (NPN a PNP), následně tranzistory řízené elektrickým polem (JFET a MOSFET). Kromě fyzikálních principů jsou uvedeny jejich charakteristiky, modely, obvody pro nastavení a stabilizaci pracovního bodu, zesilovací stupně, spínací aplikace a technologie výroby s ohledem na cílové parametry. Též je diskutována otázka chlazení, první a druhý průraz a přepínací ztráty.

Osmá kapitola uvádí ostatní spínací součástky: diak, tyristor, GTO tyristor, IGCT, MCT, triak, transil, trisil a IGBT.

Devátá kapitola je věnována operačním zesilovačům. Jsou uvedeny a vysvětleny základní vlastnosti (zesílení otevřené smyčky, vstupní a výstupní odpor, šířka pásma, rychlost přeběhu, vstupní ofsety). Je diskutována zpětná vazba a použití záporné zpětné vazby je dokumentováno na příkladu invertujícího a neinvertujícího zesilovače.

Desátá kapitola je zaměřena na součástky řízené neelektrickými veličinami. Jedná se o optoelektronické součástky (LED, laserová dioda, fotorezistor, fotodiody, fototranzistor, oprtony, zobrazovací prvky), termistory a součástky řízené magnetickým polem.