

Dr Radojle Radetić

ELEKTRONIKA

Sva prava zadržana. Nijedan deo ove knjige ne sme biti reprodukovan u bilo kom materijalnom obliku, uključujući fotokopiranje ili slučajno ili nenamerno smeštanje na bilo koji elektronski medijum sa ili uz pomoć bilo kog elektronskog sredstva, bez pismenog odobrenja nosioca autorskih prava osim u skladu sa odredbama zakona o autorskim pravima, dizajnu i patentima. Prijave za pismene dozvole radi štampanja bilo kog dela ove publikacije upućuje se izdavaču ove knjige. Izdavač je uložio najveće napore da bi se obezbedila tačnost informacije sadržanih u ovoj knjizi. Izdavač ne može da pretpostavi neprijatnosti i ovom izjavom isključuje bilo kakvu odgovornost za bilo koju stranku koja bi imala gubitke ili štetu uzrokovanu greškama ili propustima u ovoj knjizi, bez obzira da li su greške ili propusti nastali usled nemara, nezgode ili bilo kog drugog razloga.

ISBN 978-86-80134-15-4

Autor: Radojle Radetić

Izdavač i štampa: Agencija Eho

e-mail: redakcija@infoelektronika.net

*Svet je zanimljiv onoliko koliko smo
mi radoznali. (Šekspir)*

PREDGOVOR

Ova knjiga je namenjena upoznavanju čitaoca sa elementarnim pojmovima savremene elektronike. Pisana je tako da približno prati i srednjoškolski program. Pošto se ne radi o udžbeniku autor je imao slobodu da pojedinim temama pristupi na drugi način i da ih obradi prema svom osećaju za teoriju i praksu elektronike.

Knjiga se sastoji od 11 teorijskih poglavlja, i dodataka.

U teorijskim poglavljima materija je podeljena po oblastima koje predstavljaju zaokružene logičke celine, počev od fizičkih osnova, do konkretnih primena pojedinih elektronskih komponenata. Prikazana je osnovna teorija poluprovodnika, *P-N* spoja i komponenata zasnovanih na njima kao što su: diode, (ispravljачke, Cenerove, Šotkijeve, varikap, ...), tranzistori (bipolarni i sa efektom polja), tiristori, optoelektronske komponente, itd. Pored upoznavanja sa principima rada, prikazani su primeri njihove primene kao i osnovni elementi proračuna elektronskih kola sa njima. Posebno detaljno su analizirani pojačavači i oscilatori.

Posle teorijskih razmatranja logično je videti kako se to primenjuje u praksi. Tome je posvećen dodatak u kome je obrađena osnovna problematika praktične elektronike, počev od projektovanja štampanih kola, njihove amaterske izrade, bušenja i lemljenja. Elektronika je apstraktna nauka. Dok se uči samo teorija elektronika liči na naučnu fantastiku. Kada se svojim rukama napravi prvo, makar i najjednostavnije kolo, i kad ono proradi, za početnika nastaje magija.

Osnovne elektronske komponente su veoma jeftine tako da i ako nešto pregori, nema velike štete. U elektronici se radi sa malim naponima i strujama tako da u najvećem broju slučajeva nema opasnosti od električnog udara. Ovo su samo početni argumenti koji idu u prilog rada u elektronici.

Zašto treba učiti elektroniku?

Elektronski procesi su nevidljivi i od elektroničara se zahteva velika moć imaginacije. Lemilica u rukama elektroničara, drugima deluje kao čarobni štapić koji čini čuda. Elektronika je nauka sadašnjosti i budućnosti. U odnosu na druge oblasti tehnike (energetiku, mašinstvo, građevinarstvo, itd.), kod nje je sve minijaturno, od komponenata, preko alata instrumenata do radnog prostora. U ceni elektronskih uređaja, najveći udeo ima znanje. Zato elektronika pruža šansu njenim poznavaočima, da sa malim materijalnim ulaganjima urade veoma složene projekte.

Elektronika je cenjena i teška nauka koja zahteva dosta rada. Ali ona je i veoma zahvalna nauka, i onima koji je nauče otkriva svu svoju lepotu. Za mladog čoveka koji traži svoju budućnost elektronika je puna izazova zbog kojih se vredi potruditi. Elektronika je namenjena najboljima, čast je biti u tom društvu.

U Boru, januara 2018. godine

Autor

SADRŽAJ

1. UVOD	8
1.1. ELEKTRONIKA, NJEN NASTANAK I RAZVOJ	8
1.2. STRUKTURA ATOMA I PROVOĐENJE STRUJE	9
1.2.1. STRUKTURA ATOMA	9
1.2.2. PROVOĐENJE STRUJE.....	9
1.3. KRISTALNA STRUKTURA POLUPROVODNIKA	11
1.4. POLUPROVODNICI P I N TIP	12
1.5. PROVOĐENJE STRUJE U POLUPROVODNIKU	12
1.6. DOBIJANJE KRISTALA POLUPROVODNIKA	13
2. DIODE – PRINCIP RADA, VRSTE I PRIMENA	14
2.1. P–N SPOJ	14
2.1.1. POLARIZACIJA <i>P-N</i> SPOJA	15
2.1.2. NAPONSKO STRUJNA KARAKTERISTIKA <i>P-N</i> SPOJA	16
2.1.3. PROBOJ <i>P–N</i> SPOJA.....	17
2.2. DIODE	18
2.2.1. VRSTE DIODA	19
2.3. ISPRAVLJAČI (USMERAČI)	19
2.3.1. JEDNOSTRANI ISPRAVLJAČ.....	20
2.3.2. DVOSTRANI ISPRAVLJAČ.....	24
2.3.3. GRECOV (MOSTNI) ISPRAVLJAČ	26
2.4. DIODE ZA STABILIZACIJU NAPONA – CENEROVE DIODE	28
2.4.1. KARAKTERISTIKE CENEROVIH DIODA	28
2.4.2. PRIMENA CENEROVIH DIODA.....	30
2.5. KAPACITIVNOST P-N SPOJA	31
2.6. ISPRAVLJAČKE, PREKIDAČKE, ŠOTKIJEVE I PIN DIODE	33
3. BIPOLARNI TRANZISTORI	37
3.1. PRINCIP RADA TRANZISTORA	37
3.1.1. POLARIZACIJA I STRUJE TRANZISTORA	38
3.2. KOMPONENTE STRUJA U TRANZISTORU I POJAČANJE	40
3.2.1. INVERZNE STRUJE ZASIĆENJA	41
3.3. NAČINI VEZIVANJA TRANZISTORA	42
3.4. KARAKTERISTIKE TRANZISTORA	42
3.4.1. STATIČKE KARAKTERISTIKE TRANZISTORA	43
3.5. OBLASTI RADA TRANZISTORA	44
3.6. OGRANIČENJA U RADU TRANZISTORA	45
3.6.1. MAKSIMALNI KOLEKTORSKI NAPON	45
3.6.2. MAKSIMALNA STRUJA KOLEKTORA	46
3.6.3. MAKSIMALNA SNAGA DISIPACIJE	46
3.7. PARAMETRI TRANZISTORA	47
3.8. EKVIVALENTNE ŠEME TRANZISTORA	49
3.8.1. EKVIVALENTNA ŠEMA SA “ <i>H^c</i> ” PARAMETRIMA	49

3.8.2.	EKVIVALENTNA “ π “ ŠEMA	51
3.9.	ZAGREVANJE I HLADENJE POLUPROVODNIKA I PRORAČUN	54
4.	POJAČAVAČI SA BIPOLARNIM TRANZISTORIMA	57
4.1.	OPŠTE OSOBINE POJAČAVAČA	57
4.1.1.	NAPONSKO POJAČANJE POJAČAVAČA	58
4.1.2.	STRUJNO POJAČANJE POJAČAVAČA.....	58
4.1.3.	POJAČANJE SNAGE	59
4.1.4.	ULAZNA OTPORNOST POJAČAVAČA	59
4.1.5.	IZLAZNA OTPORNOST POJAČAVAČA	59
4.1.6.	FREKVENCIJSKI PROPUSTNI OPSEG.....	60
4.1.7.	IZOBLIČENJA POJAČAVAČA.....	61
4.2.	POJAČAVAČ SA ZAJEDNIČKIM EMITEROM.....	64
4.2.1.	RADNA PRAVA I RADNA TAČKA.....	64
4.2.2.	NESTABILNOST RADNE TAČKE I STABILIZACIJA	67
4.2.3.	POJAČANJE POJAČAVAČA	71
4.2.4.	FREKVENCIJSKA KARAKTERISTIKA POJAČAVAČA	77
4.3.	OSTALE VRSTE POJAČAVAČA	78
4.4.	KLASIFIKACIJA POJAČAVAČA	79
4.5.	SIMULACIJA RADA ELEKTRONSKIH KOLA NA RAČUNARU	79
5.	TRANZISTORI SA EFEKTOM POLJA – FET	81
5.1.	SPOJNI TRANZISTOR SA EFEKTOM POLJA – JFET	81
5.1.1.	PRINCIP RADA JFET-A	82
5.1.2.	STATIČKE KARAKTERISTIKE JFET-A.....	83
5.2.	TRANZISTORI TIPA MOSFET	85
5.2.1.	VRSTE MOSFET-OVA	85
5.2.2.	UNUTRAŠNJA STRUKTURA I PRINCIP RADA MOSFET-OVA.....	86
5.2.3.	STATIČKE KARAKTERISTIKE MOSFET-OVA	89
5.3.	TRANZISTORI TIPA IGBT	91
5.4.	EKVIVALENTNA ŠEMA TRANZISTORA SA EFEKTOM POLJA	92
6.	POJAČAVAČI SA FET-OVIMA	93
6.1.	POJAČAVAČ SA ZAJEDNIČKIM SORSOM	93
6.2.	AUTOMATSKI PREDNAPON.....	95
6.3.	POJAČAVAČ SA ZAJEDNIČKIM SORSOM	97
7.	VIŠESTEPENI POJAČAVAČI	102
7.1.	VIŠESTEPENI POJAČAVAČI - OPŠTE	102
7.1.1.	TROSTEPENI POJAČAVAČ	104
7.2.	POVRATNA SPREGA.....	106
7.2.1.	NEGATIVNA POVRATNA SPREGA	110
7.3.	DARLINGTONOV SPOJ	113
7.4.	KLASE RADA POJAČAVAČA.....	115
7.5.	POJAČAVAČI SA KOMPLEMENTARNIM PAROM TRANZISTORA	119
8.	OSCILATORI.....	127

8.1.	POZITIVNA POVRATNA SPREGA	127
8.2.	BARKHAUZENOV USLOV OSCILOVANJA	129
8.3.	OSCILATOR SA VINOVIM KOLOM	131
8.4.	KOLPICOV OSCILATOR	134
9.	TRANZISTOR KAO PREKIDAČ	137
9.1.	BIPOLARNI TRANZISTOR KAO PREKIDAČ	137
9.1.1.	NAPON ZASIĆENJA (SATURACIJE)	139
9.1.2.	UKLJUČENJE I ISKLJUČENJE BIPOLARNOG TRANZISTORA	139
9.1.3.	POBUĐIVANJE BIPOLARNIH PREKIDAČKIH TRANZISTORA	140
9.2.	MOSFET KAO PREKIDAČ SNAGE	142
10.	TIRISTOR, TRIJAK, DIJAK	147
10.1.	TIRISTORI	147
10.1.1.	DVOTRANZISTORSKI MODEL TIRISTORA	148
10.1.2.	RAD TIRISTORA	149
10.1.3.	PRIMENA TIRISTORA	153
10.2.	DIJAK	156
10.3.	TRIJAK	157
10.3.1.	PRIMER PRIMENE TRIJAKA I DIJAKA	158
11.	OPTOELEKTRONIKA	160
11.1.	OSNOVE FOTOMETRIJE	160
11.2.	FOTOELEMENTI	161
11.2.1.	FOTO SENZORI	161
11.2.2.	FOTO EMITERI	164
11.3.	TEČNI KRISTALI	169
12.	DODATAK	172
12.1.	PRAKTIČAN RAD U ELEKTRONICI	172
12.2.	IZRADA ŠTAMPANIH PLOČICA	173
12.3.	OZNAČAVANJE ELEMENATA – SIMBOLI	177
12.4.	KARAKTERISTIKE KOMPONENATA	184
L I T E R A T U R A		188