

SADRŽAJ

Simboli	Strana XIII
-------------------	----------------

I DEO - POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE

1.	FIZIKA POLUPROVODNIKA	1
1.1.	Električna svojstva materijala	1
1.2.	Nosioci naelektrisanja u poluprovodniku	1
1.3.	Određivanje koncentracije slobodnih nosilaca	3
1.4.	Provođenje struje u poluprovodniku	4
2.	PN SPOJ	7
2.1.	Formiranje PN spoja	7
2.2.	PN spoj bez spoljašnje polarizacije	7
2.3.	Direktno polarizovani PN spoj	10
2.4.	Inverzno polarizovani PN spoj	12
2.5.	Kapacitivnost PN spoja	13
2.6.	Naponski proboj PN spoja	15
3.	DIODE	17
3.1.	Poluprovodnička dioda	17
3.2.	Raspodela struje i napona u diodnim kolima	18
3.2.1.	<i>Raspodela trenutnih vrednosti signala u diodnim kolima</i>	18
3.2.2.	<i>Jednosmerni režimi rada diode</i>	19
3.2.3.	<i>Rad diode pri istovremenoj pobudi jednosmernim i promenljivim signalom</i>	20
3.2.4.	<i>Prekidački režim rada diode</i>	20
3.3.	Šotkijeva dioda	22
3.4.	Cenerova dioda	23
	Dodatak	23
4.	BIPOLARNI TRANZISTOR	25
4.1.	Aktivni režim rada tranzistor	25
4.1.1.	<i>Raspodela struja u tranzistoru</i>	25
4.1.2.	<i>Strujno-naponske karakteristike tranzistora</i>	26
4.1.3.	<i>Električni model tranzistora</i>	29
4.1.4.	<i>Statičke karakteristike tranzistora</i>	30
4.1.5.	<i>Polarizacija tranzistora</i>	31
4.1.6.	<i>Ograničenja kod polarizacije tranzistora</i>	36
4.1.7.	<i>Ekvivalentno kolo tranzistora</i>	37
4.2.	Režim zasićenja tranzistora	41
4.3.	Neprovodni režim tranzistora	43
4.4.	Tranzistor u inverznom aktivnom režimu	43

4.5.	Tranzistor kao prekidač	43
	Dodatak	45
5.	FETOVI I MOSFETOVI	47
5.1.	Fetovi	47
	5.1.1. Analiza rada feta	47
	5.1.2. Statičke karakteristike feta	49
	5.1.3. Polarizacija fetova	51
	5.1.4. Ekvivalentno kolo feta	52
	5.1.5. Fet u prekidačkom režimu	53
5.2.	Mosfetovi	54
	5.2.1. Analiza mosfeta sa ugrađenim kanalom	54
	5.2.2. Mosfet sa indukovanim kanalom	57
	5.2.3. Vertikalni mosfet (VMOS)	59
	5.2.4. Polarizacija mosfetova	60
	5.2.5. Ekvivalentno kolo mosfeta	61
	5.2.6. Polarizacija mosfetova u integrisanim kolima	62
	5.2.7. Mosfet kao prekidač	68
	5.2.8. Analogni prekidač sa mosfetom	68
6.	VIŠESLOJNE SILICIJUMSKE KOMPONENTE	70
6.1.	Tiristor	70
	6.1.1. Analiza rada tiristora	70
	6.1.2. Uključenje tiristora	72
	6.1.3. Ograničenja u radu tiristora	74
	6.1.4. Vremenski parametri tiristora	74
6.2.	Specijalne četvoroslojne komponente	75
6.3.	Trijak	76
7.	OPTOELEKTRONSKE POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE	78
7.1.	Fotokonduktivni elementi	79
7.2.	Fotonaponski elementi	79
	7.2.1. Fotodiode	80
	7.2.2. Fototranzistori	80
	7.2.3. Fotovoltaične ćelije	81
7.3.	LED diode, optokapleri i indikatori	82
8.	TEHNOLOGIJA INTEGRISANIH KOLA	85
8.1.	Tehnološki postupci	85
8.2.	Izrada elektronskih komponenti u integrisanoj tehnologiji	87
	8.2.1. Izrada elektronskih komponenti u bipolarnoj tehnologiji	87
	8.2.2. Realizacija elektronskih komponenti u MOS tehnologiji	90

II DEO - POJAČAVAČKA KOLA

9.	POJAČAVAČKI STEPENI	92
9.1.	Mere za određivanje osobina pojačavača	92
9.2.	Jednostepeni pojačavači sa bipolarnim tranzistorom	93
	9.2.1. Step sa zajedničkim emitorom	94
	9.2.2. Step sa zajedničkim kolektorom	96
	9.2.3. Step sa zajedničkom bazom	97
	9.2.4. Uporedne karakteristike jednostepenih tranzistorskih pojačavača	97
9.3.	Jednostepeni pojačavači sa fetovima i mosfetovima	98

9.3.1.	<i>Stepen sa zajedničkim sorsom</i>	98
9.3.2.	<i>Stepen sa zajedničkim drejnom</i>	99
9.3.3.	<i>Stepen sa zajedničkim gejtom</i>	100
9.4.	Diferencijalni pojačavač	101
9.4.1.	<i>Bipolarni diferencijalni pojačavač</i>	101
9.4.2.	<i>Diferencijalni pojačavač sa fetovima</i>	104
9.4.3.	<i>Diferencijalni pojačavač sa mosfetovima</i>	106
9.4.5.	<i>Ulazne karakteristike diferencijalnog pojačavača</i>	107
9.5.	Izlazni pojačavački stepeni	108
9.5.1.	<i>Pojačanje snage</i>	108
9.5.2.	<i>Izlazni stepeni sa jednim tranzistorom</i>	110
9.5.3.	<i>Izlazni stepeni sa više tranzistora</i>	111
9.6.	Višestepeni pojačavači	115
10.	FREKVENTNE KARAKTERISTIKE POJAČAVAČA	118
10.1.	Metodi analize frekventnih karakteristika pojačavača	118
10.1.1.	<i>Prenosna funkcija linearnog kola</i>	118
10.1.2.	<i>Približno crtanje frekventnih karakteristika</i>	119
10.1.3.	<i>Geometrijsko mesto polova i nula</i>	124
10.1.4.	<i>Analiza pojačavača u vremenskom domenu</i>	126
10.2.	Pregled frekventnih karakteristika pojačavačkih stepeni	129
10.2.1.	<i>Niskofrekventne karakteristike pojačavača</i>	129
10.2.2.	<i>Osobine pojačavača na visokim učestanostima</i>	129
	Dodatak	133
11.	NEGATIVNA POVATNA SPREGA	134
11.1.	Struktura kola sa povratnom spregom	134
11.2.	Vrste povratne sprege	135
11.3.	Osobine negativne povratne sprege	136
11.3.1.	<i>Osobine jake negativne reakcije</i>	136
11.3.2.	<i>Uticao negativne reakcije na propusni opseg</i>	136
11.3.3.	<i>Smanjenje nelinearnosti kola dejstvom negativne reakcije</i>	137
11.3.4.	<i>Potiskivanje smetnji pomoću negativne reakcije</i>	138
11.4.	Topologije kola sa povratnom spregom	138
11.5.	Uticao negativne reakcije na impedansu	139
12.	OPERACIONI POJAČAVAČ	141
12.1.	Idealni operacioni pojačavač	141
12.2.	Linearna kola sa idealnim operacionim pojačavačem	142
12.3.	Osobine realnih operacionih pojačavača	147
12.3.1.	<i>Realizacija operacionih pojačavača</i>	147
12.3.2.	<i>Jednosmeme karakteristike realnog operacionog pojačavača</i>	150
12.3.3.	<i>Frekventne karakteristike operacionih pojačavača</i>	152
12.3.4.	<i>Slurejt operacionog pojačavača</i>	153
13.	STABILNOST POJAČAVAČA SA POVATNOM SPREGOM	155
13.1.	Koncepti stabilnosti	155
13.2.	Testovi za ispitivanje stabilnosti	156
13.2.1.	<i>Hurvičov test</i>	156
13.2.2.	<i>Nikvistov test</i>	157
13.3.	Frekventna kompenzacija	157
13.3.1.	<i>Kompenzacija smanjenjem kružnog pojačanja</i>	160
13.3.2.	<i>Kompenzacija dominantnim polom</i>	160

13.3.3.	<i>Kompenzacija nulom i polom</i>	160
14.	JEDNOSMERNI IZVORI ZA NAPAJANJE	161
14.1.	Usmeraći	167
14.2.	Filtri za usmeraće	169
14.3.	Lincarni regulatori	171
14.4.	Prekidački regulatori	174
14.4.1.	<i>Realizacija prekidačkih konvertora</i>	176
14.4.2.	<i>Realizacija prekidačkih regulatora</i>	179
15.	ŠUM U ELEKTRONSKIM KOLIMA	181
15.1.	Slučajna priroda šuma i njegov statistički tretman	181
15.2.	Izvori šuma u elektronskim komponentama	186
15.3.	Model šuma u elektronskim komponentama	187
15.4.	Izračunavanje ukupnog šuma u elektronskom kolu	189
15.5.	Mere za ocenu šuma	192
III DEO - IMPULSNA KOLA		
16.	IMPULSNI OBLICI NAPONA	195
16.1.	Oblici nesinusoidnih napona	195
16.2.	Harmonična analiza nesinusoidnih napona	197
16.3.	Osnovna kola za oblikovanje napona	198
16.3.1.	<i>Akumulacijska kola</i>	198
16.3.2.	<i>Kola sa diodama</i>	202
16.3.3.	<i>Kola sa tranzistorima</i>	205
16.3.4.	<i>Kola sa operacionim pojačavačem</i>	208
17.	LOGIČKA KOLA	211
17.1.	Logičke operacije	211
17.1.1.	<i>Elementarne operacije ILI, I i NE</i>	212
17.1.2.	<i>Operacije NILI, NI, EX-ILI i EX-NILI</i>	213
17.2.	Opšte karakteristike logičkih kola	214
17.3.	Elementarna logička kola	216
17.4.	Diodno-tranzistorska logika - DTL	220
17.4.1.	<i>Osnovna konfiguracija NI i NILI kola</i>	220
17.4.2.	<i>Integrirano NI kolo</i>	220
17.4.3.	<i>Kola sa velikom marginom smetnji</i>	221
17.5.	Tranzistorsko-tranzistorska logika - TTL	222
17.5.1.	<i>Standardno NI kolo</i>	223
17.5.2.	<i>Prenosna karakteristika standardnog kola</i>	224
17.5.3.	<i>Proizvodne varijante TTL kola</i>	225
17.6.	Logika sa emitorskom spregom - ECL	226
17.6.1.	<i>Osnovna konfiguracija kola</i>	227
17.6.2.	<i>Praktična realizacija ECL kola</i>	228
17.7.	MOS i CMOS logika	229
17.7.1.	<i>MOS inverter</i>	229
17.7.2.	<i>CMOS inverter</i>	230
17.7.3.	<i>NI i NILI kola u MOS i CMOS tehnici</i>	232
17.7.4.	<i>Bilateralni CMOS prekidač</i>	234
17.8.	Integrirana injektorska logika - I ² L	235
17.8.1.	<i>Osnovno kolo u I²L sistemu</i>	235
17.8.2.	<i>Složenija mreža u I²L tehnici</i>	236

17.9.	Komponente logičkih kola	237
18.	KOMPARATORSKA KOLA	240
18.1.	Diferencijalni komparator	240
18.2.	Šmitovo kolo	242
18.2.1.	Osnovna konfiguracija Šmitovog kola	242
18.2.2.	Šmitovo kolo sa operacionim pojačavačem	244
18.2.3.	Šmitova kola sa logičkim komponentama	245
19.	GENERATORI LINEARNOG NAPONA	247
19.1.	Integratorsko kolo sa strujnim izvorom	248
19.2.	Milerova kola	250
19.2.1.	Opšta analiza Milerovih kola	250
19.2.2.	Osnovna konfiguracija Milerovog kola	251
19.2.3.	Milerova kola sa operacionim pojačavačima	252
19.3.	Butstrep-kolo	254
19.3.1.	Opšta analiza butstrep-kola	254
19.3.2.	Osnovna konfiguracija butstrep-kola	255
19.3.3.	Butstrep-kola sa operacionim pojačavačima	256
20.	BISTABILNA KOLA - FLIPFLOPOVI	258
20.1.	Opšta analiza regenerativnih kola	258
20.2.	Osnovna konfiguracija flipflopa	259
20.2.1.	Statički režim flipflopa	260
20.2.2.	Dinamički režim flipflopa	261
20.3.	Integrirani flipflopovi	263
20.3.1.	RS flipflop	263
20.3.2.	T, JK i D flipflop	266
20.3.3.	Flipflop sa zadržskom	267
20.3.4.	Flipflop sa ivičnim okidanjem	269
20.3.5.	Vremenski dijagrami taktovanih flipflopova	270
21.	MONOSTABILNA KOLA - MONOVIBRATORI	273
21.1.	Osnovna konfiguracija monovibratora	273
21.1.1.	Način rada monovibratora	273
21.1.2.	Analiza rada monovibratora	274
21.2.	Monovibratori sa integriranim komponentama	275
21.2.1.	Monovibrator sa TTL kolima	275
21.2.2.	Monovibrator sa CMOS kolima	276
21.2.3.	Monovibrator sa operacionim pojačavačem	277
21.3.	Integrirani monovibrator	278
22.	ASTABILNA KOLA - MULTIVIBRATORI	280
22.1.	Osnovna konfiguracija multivibratora	280
22.1.1.	Način rada multivibratora	280
22.1.2.	Analiza rada multivibratora	282
22.2.	Multivibratori sa integriranim komponentama	283
22.2.1.	Multivibrator sa TTL kolima	283
22.2.2.	Multivibrator sa CMOS kolima	285
22.2.3.	Multivibrator sa operacionim pojačavačem	286
22.3.	Integrirani relaksacioni oscilatori	287
22.4.	Univerzalno vremensko kolo	288
22.5.	Stabilnost multivibratorskih kola	291

23.	HARMONIJSKI OSCILATORI	294
23.1.	Analiza harmonijskih oscilatora	294
23.2.	Realizacije harmonijskih oscilatora	297
23.2.1.	<i>Oscilatori sa mostnom spregom</i>	298
23.2.2.	<i>Oscilatori sa faznim pomerajem</i>	299
23.2.3.	<i>Oscilatori sa oscilatornim kolom</i>	300
23.3.	Stabilnost učestanosti oscilatora	303
23.4.	Stabilizacija amplitude oscilacija	305

ČETVRTI DEO - DIGITALNA KOLA

24.	ELEMENTI DIGITALNE OBRADE PODATAKA	309
24.1.	Način obrade informacija	309
24.2.	Digitalna obrada podataka	310
24.3.	Numerički sistemi i kodovi	311
24.3.1.	<i>Numerički sistemi za predstavljanje podataka</i>	311
24.3.2.	<i>Binarno-kodovani decimali - BCD</i>	314
24.3.3.	<i>Alfanumerički kodovi</i>	316
24.4.	Prekidačka algebra i logičke mreže	316
24.4.1.	<i>Osnovni stavovi prekidačke algebre</i>	316
24.4.2.	<i>Prekidačke funkcije</i>	319
24.4.3.	<i>Prekidačke mreže</i>	321
24.4.4.	<i>Minimizacija prekidačkih funkcija</i>	322
25.	KOMBINACIJSKE MREŽE	327
25.1.	Koder	327
25.2.	Dekoder	328
25.2.1.	<i>Dekoder 4/16</i>	328
25.2.2.	<i>Dekoder BCD/DC</i>	330
25.3.	Konvertor koda	332
25.4.	Multipleksor	333
25.4.1.	<i>Multipleksorske komponente</i>	333
25.4.2.	<i>Sinteza mreže sa multipleksorom</i>	334
25.5.	Demultipleksor	336
25.6.	Programljive logičke strukture	336
25.6.1.	<i>PLA struktura</i>	338
25.6.2.	<i>PAL struktura</i>	339
25.7.	Indikatorske mreže	340
25.7.1.	<i>Segmentna indikacija</i>	340
25.7.2.	<i>Tačkasta indikacija</i>	342
26.	MEMORIJE	344
26.1.	Čitačke memorije	344
26.1.1.	<i>Konfiguracija ROM i PROM memorije</i>	345
26.1.2.	<i>RePROM memorije</i>	347
26.2.	Registri	348
26.2.1.	<i>Stacionarni registri</i>	349
26.2.2.	<i>Pomerački registri</i>	349
26.3.	RAM memorije	352
26.3.1.	<i>Bipolarne RAM memorije</i>	353
26.3.2.	<i>Statičke MOS memorije</i>	354
26.3.3.	<i>Dinamičke MOS memorije</i>	355

26.3.4.	<i>Povećanje kapaciteta memorije</i>	3583
26.4.	Masovne memorije	359
26.4.1.	<i>Magneino memorisanje podataka</i>	359
26.4.2.	<i>Magnetne memorijske naprave</i>	361
27.	SEKVENCIJSKE MREŽE I BROJAČI	365
27.1.	Osnovna konfiguracija sekvencijske mreže	365
27.2.	Redni brojači	367
27.2.1.	<i>Brojač modula 2^n</i>	367
27.2.2.	<i>Brojač proizvoljnog modula</i>	370
27.3.	Paralelni brojači	370
27.3.1.	<i>Brojač modula 2^n</i>	370
27.3.2.	<i>Brojač proizvoljnog modula</i>	373
27.3.3.	<i>Dekadni brojač</i>	374
27.4.	Složene brojačke mreže	376
27.4.1.	<i>Integrirane brojačke komponente</i>	376
27.4.2.	<i>Povećanje kapaciteta brojača</i>	377
27.5.	Kružni brojači	378
27.6.	Indikacija brojanja	379
28.	ARITMETIČKA KOLA	381
28.1.	<i>Komplementiranje brojeva</i>	381
28.1.1.	<i>Binarni komplementori</i>	381
28.1.2.	<i>BCD komplementori</i>	381
28.2.	Komparacija brojeva	382
28.3.	Sabiranje	383
28.3.1.	<i>Sinteza sabirača</i>	384
28.3.2.	<i>Sabiranje više brojeva</i>	385
28.3.3.	<i>Sabirači sa paralelnim prenosom</i>	386
28.4.	Oduzimanje	387
28.4.1.	<i>Sinteza oduzimača</i>	387
28.5.	BCD aritmetika	388
28.5.1.	<i>Sabiranje brojeva BCD8421</i>	388
28.6.	Višefunkcionalne jedinice	389
28.7.	Množenje i deljenje	391
29.	D/A I A/D KONVERZIJA	394
29.1.	Konverzioni postupci i karakteristike	394
29.2.	Otporne mreže D/A konvertora	396
29.2.1.	<i>Težinska otporna mreža</i>	396
29.2.2.	<i>Lesvičasta otporna mreža</i>	398
29.2.3.	<i>Otporna mreža za BCD brojeve</i>	399
29.2.4.	<i>Otporna mreža sa strujnom pobudom</i>	400
29.3.	D/A konvertori	401
29.4.	Principi rada A/D konvertora	402
29.4.1.	<i>Konvertor sa paralelnim komparatorima</i>	402
29.4.2.	<i>Konvertori sa stepenastom referencom</i>	403
29.4.3.	<i>Konvertori sa vremenskim ekvivalentom</i>	405
29.4.4.	<i>Konvertor sa programiranim brojačem</i>	407
29.5.	Specifikacija A/D konvertora	408
	Registar	411