

**Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko**

Janez Nastran

**MO NOSTNA
ELEKTRONIKA**

OSNOVE

Ljubljana, 2015

Kazalo:

1	UVOD	1
1.1	Zgodovinski razvoj.....	1
1.2	Vrste pretvornikov in njihove naloge	3
1.3	Gradniki.....	5
1.3.1	Vrste	5
1.3.2	Ventili.....	6
2	MODERNI POLPREVODNIŠKI VENTILI.....	10
2.1	Osnovni moderni ventili v mo nostni elektroniki	10
2.2	Osnovni problem mo nostne elektronike	12
2.3	Silicijeve diode	14
2.3.1	Zgradba in podatki.....	14
2.3.2	Dinami ne lastnosti	15
2.4	Tiristorji.....	17
2.4.1	Zgradba in podatki.....	17
2.4.2	Dinami ne lastnosti	19
2.4.3	Posebne vrste tiristorjev.....	24
2.5	Mo nostni tranzistor.....	28
2.5.1	Uvod	28
2.5.2	Zgradba in delovanje	29
2.5.3	Glavni parametri bipolarnih tranzistorjev	30
2.5.4	Dinami ne lastnosti	31
2.5.5	Ve stopenjski bipolarni tranzistor	34
2.5.6	MOS-tranzistor na poljski efekt MOS-FET.....	35
2.5.7	Bipolarni tranzistor z izoliranimi vrati – IGBT	38
3	ZAŠ ITA, RAZBREMENJEVANJE IN KRMILJENJE POLPREVODNIŠKIH VENTILOV	42
3.1	RC- leni za zaš ito tiristorjev in diod	44
3.1.1	Zaš ita pred efektom nosilcev naboja (ENN).....	44
3.1.2	Omejitev du/dt pri tiristorjih in diodah	50
3.1.3	Omejitev prenapetosti na transformatorju in na bremenu.....	51
3.1.4	Vklopne izgube ventilov in omejitve tokovnih strmin di/dt pri tiristorjih	52
3.2	Razbremenjevanje tranzistorjev	54
3.3	Krmiljenje polprevodniških ventilov	57
3.4	Zaporedna in vzporedna vezava ventilov	62

4	HLAJENJE VENTILOV.....	65
4.1	Elektri ne izgube.....	66
4.2	Termi no nadomestno vezje.....	67
4.3	Hladilna telesa in namestitvev ventilov.....	70
5	TIRISTORSKA STIKALA IN NASTAVLJALNIKI.....	72
5.1	Tiristorsko stikalo v izmeni nih tokokrogih.....	72
5.2	Vklop induktivnosti s tiristorskim stikalom	76
5.3	Tiristorski nastavljalniki za izmeni ni tok.....	77
5.3.1	Trifazni tiristorski nastavljalnik.....	80
6	JALOVA MO ZARADI KRMILJENJA IN ZARADI POPA ENJA.....	82
6.1	Harmonska analiza	82
6.2	Energetske razmere v linearnih tokokrogih s sinusnimi veli inami	84
6.3	Energetske razmere v izmeni nih tokokrogih z nesinusnimi periodi nimi toki	87
7	TUJE VODENI PRETVORNIKI.....	91
7.1	Omrežno vodeni pretvorniki.....	91
7.2	Komutacija pri šestpulznem mosti nem vezju	99
7.3	Bremenska karakteristika	106
7.4	Induktivni padec napetosti.....	106
7.5	as sprostitve in rezervni kot	108
7.6	Napetostni vdori zaradi komutacije.....	111
7.7	Krmilna jalova mo	115
7.8	Karakteristika jalove mo i.....	117
7.9	Zaporedno krmiljenje	118
7.10	Polkrmiljena vezja.....	124
7.11	Krmljivost.....	126
7.12	Višje harmonske komponente enosmerne napetosti in izmeni nega toka.....	127
7.13	Kot prevajanja toka in mrtvi as.....	132

8 BREMENSKO VODENI PRETVORNIKI 134

8.1	Razsmernik s paralelnim resonan nim krogom.....	134
8.2	Razsmernik s serijskim resonan nim krogom	136
8.3	Zagon in krmiljenje resonan nih pretvornikov.....	137

9 USMERNIŠKI TRANSFORMATOR..... 140

9.1	Enofazno enohodno vezje.....	140
9.2	Trifazna enohodna vezja	142
9.3	Trifazno vezje Dy.....	143
9.4	Trifazno vezje zvezda – zvezda.....	144
9.5	Šestfazno vezje s primarjem v trikotu	145
9.6	Šestfazno vezje s primarjem v zvezdi.....	146
9.7	Trifazno cikcak vezje Yz (Dz)	146

10 PRETVORNIKI S PRISILNO KOMUTACIJO (LASTNO VODENI PRETVORNIKI)..... 148

10.1	Vklapljanje enosmernega tokokroga	148
10.2	Izklop enosmernega tokokroga.....	149
10.3	Lastno vodeni razsmerniki	155
10.3.1	Enofazni lastno vodeni razsmerniki.....	155
10.3.2	Ve fazni lastno vodeni razsmerniki	157

11 DIREKTNI PRETVORNIKI 160

11.1	Uvod.....	160
11.2	Vezja mo nostne (energetske) elektronike	160
11.3	Osnovna vezja za enokvadrantno delovanje.....	161
11.3.1	Pretvornik navzdol (Buck – Converter)	162
11.3.2	Pretvornik navzgor (Boost-Converter).....	165
11.3.3	Zaporni pretvornik (Sperrsteller ali angl. Flyback ali Buck-Boost-Converter).....	169
11.4	Enosmerni nastavljalnik za ve kvadrantno delovanje	172
11.4.1	Dvokvadrantni nastavljalnik s spremembo smeri napetosti	172
11.4.2	Pretvornik navzdol s spremembo smeri napetosti.....	172
11.4.3	Pretvornik navzgor s spremembo smeri napetosti	174
11.4.4	Enosmerni nastavljalnik v obliki asimetri nega polmosti a	175
11.4.5	Dvokvadrantni nastavljalnik z obra njem smeri toka	178

11.5	Enosmerni nastavljalniki za štirikvadrantno delovanje	180
11.5.1	Štirikvadrantni nastavljalnik s spremembo smeri napetosti s srednjim odcepom	180
11.5.2	Štirikvadrantni nastavljalnik v popolnem mosti nem vezju	182
11.6	Lastno vodeni usmerniki in razsmerniki	184
11.6.1	Enofazni usmerniki in razsmerniki	184
11.6.2	Enofazni usmernik in razsmernik v polmosti nem vezju	184
11.6.3	Trifazni usmernik in razsmernik v mosti nem vezju	187

12 OSNOVNI PRINCIPI MODULACIJE..... 190

12.1	Modulacijski principi za nastavljalnik z enim vklopno izklopnim enosmernim ventilom ...	190
12.1.1	Pulznoširinska modulacija pri pretvorniku navzdol.....	191
12.1.2	Dvopoložajna regulacija pri pretvorniku navzdol.....	194
12.1.3	asovno diskretno spreminjanje stikalnih stanj.....	196
12.1.4	»Current-Mode« princip pri pretvorniku navzdol.....	198
12.1.5	Pulzno - frekven na modulacija.....	200
12.2	Modulacijski postopki za enosmerne nastavljalnike v asimetri nem polmosti nem vezju ...	201
12.2.1	Pulznoširinska modulacija pri APV	201