

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Dr Dragutin J. KOSTIĆ
Dr Zoran S. BOJKOVIĆ

ELEKTROTEHNIKA

IV izdanje

BEOGRAD
2023.

Recenzenti: dr Miodrag Bakmaz, dr Vujo Drndarević
Za izdavača: dr Nebojša Bojović, dekan
Glavni i odgovorni urednik: dr Marijana Petrović
Tehnički urednik: Gordana Marjanović
Korice: Predrag S. Zdravković
Izdavač: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,
Vojvode Stepe 305; telefon: 011 3976 017;
faks: 011 3096 704; <http://www.sf.bg.ac.rs>
Priprema: Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta;
telefon: 011 3091 344; idsf@sf.bg.ac.rs;
(skriptarnica) sfknjige@sf.bg.ac.rs
Štampa: PEKOGRAF DOO,
Vojni put 258/d, 11080 Zemun;
telefon: 011 31 49 166; www.pekograf.com
Tiraž: 300 primeraka
ISBN 978-86-7395-253-6

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu broj 107/2 od 24. januara 2023. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi kao osnovni udžbenik na osnovnim studijama za predmet „Elektrotehnika”.

S a d r Ź a j

Predgovor	1
1. Pregled i primena osnovnih zakona elektrostatike i elektrokinetike u analizi električnih mreža jednosmerne struje.....	3
1.1. Pojam električne sile i naelektrisanja	3
1.1.1. Jedinica naelektrisanja	4
1.1.2. Provodnici, izolatori i poluprovodnici	5
1.2. Kulonov zakon	5
1.3. Elektrostatičko polje.....	6
1.4. Fluks vektora elektrostatičkog polja.....	9
1.4.1. Potencijal elektrostatičkog polja	12
1.5. Potencijal, potencijalna razlika i napon.....	13
1.6. Kondenzator	16
1.7. Energija opterećenog kondenzatora	17
1.8. Sile u elektrostatičkom polju.....	18
1.9. Vezivanje kondenzatora u grupe	19
1.10. Električno kolo	21
1.11. Elektromotorna sila	22
1.12. Intenzitet električne struje	23
1.13. Gustina električne struje.....	23
1.14. Omov zakon	24
1.14.1. Režimi rada izvora električne energije.....	27
1.15. Zagrevanje provodnika.....	28
1.16. Električni rad i električna snaga generatora i potrošača.....	29
1.17. Stepen korisnog dejstva sistema generator – prijemnik	31
1.18. Uslov prenosa maksimalne snage.....	32
1.19. Napon između priključaka generatora.....	33
1.20. Određivanje intenziteta električne struje u prostom električnom kolu sa više generatora i otpornika.....	34

1.21.	Potencijalna razlika između dve tačke u električnom kolu	35
1.22.	Kirhofovi zakoni	36
1.23.	Vezivanje otpornika u grupe	37
1.24.	Združivanje izvora elektromotornih sila	40
1.25.	Električna mreža jednosmerne struje	42
1.26.	Naponski i strujni generatori	43
1.27.	Delitelj napona i delitelj struje	45
1.28.	Transformacije u električnim kolima	46
1.29.	Metoda struja u granama	49
1.30.	Metoda konturnih struja	50
1.31.	Metoda napona između čvorova	53
1.32.	Teorema superpozicije	52
1.33.	Tevenenova teorema	55
1.34.	Nortonova teorema	58
1.35.	Teorema reciprociteta	59
1.36.	Teorema kompenzacije	60
1.37.	Elektrostatičke mreže	62
1.38.	Složena električna kola jednosmerne struje sa kondenzatorima	64
2.	Odabrana poglavlja iz elektromagnetizma.....	71
2.1.	Magnetno polje	71
2.2.	Elektromagnetna sila i moment elektromagnetnih sila	73
2.3.	Magnetni fluks i Gausov zakon u magnetizmu	79
2.4.	Primeri određivanja magnetnog polja	82
2.4.1.	Magnetno polje strujnog elementa u vakuumu	82
2.4.2.	Magnetno polje pravolinijskog provodnika sa strujom	85
2.4.3.	Magnetno polje na osi kružne konture sa strujom	87
2.5.	Magnetno polje u prisustvu materije	88
2.6.	Zakon ukupne struje	91
2.7.	Magnetno kolo	94
2.8.	Induktivnost električnog kola	97
2.9.	Uzajamna induktivnost dva kola	98
2.10.	Koeficijent induktivne sprege	100
2.11.	Elektromagnetna indukcija	102
2.12.	Energija magnetnog polja u magnetnom kolu	107
2.13.	Privlačna sila magneta	108
2.14.	Električna kola spregnuta posredstvom magnetnog polja	112
2.15.	Redno i paralelno vezivanje kalemova	103
3.	Prelazna stanja u električnim kolima jednosmerne struje	115
3.1.	Uspostavljanje električne struje u induktivnom kolu	115
3.2.	Ukidanje električne struje u induktivnom kolu	118
3.3.	Energetski procesi u induktivnom kolu	119
3.4.	Uspostavljanje električne struje u kapacitivnom kolu	121
3.5.	Ukidanje električne struje u kapacitivnom kolu	124
3.6.	Energetski procesi u kapacitivnom kolu	127

4. Naizmjenične struje	129
4.1. Alternator	130
4.2. Vrednosti naizmjeničnih veličina	132
4.3. Predstavljanje naizmjeničnih veličina pomoću fazora	135
4.4. Kolo naizmjenične struje sa čisto omskim opterećenjem	136
4.5. Kolo naizmjenične struje sa induktivnim opterećenjem	137
4.6. Kolo naizmjenične struje sa kapacitivnim opterećenjem	139
4.7. Kolo naizmjenične struje sa rednom vezom otpornika, kalema i kondenzatora	141
4.8. Fazna rezonansa	143
4.9. Faktor dobrote kola	144
4.10. Selektivnost kola	145
4.11. Kolo naizmjenične struje sa omsko-kapacitivnim i sa omsko-induktivnim opterećenjem	147
4.12. Snaga u kolu naizmjenične struje	150
4.12.1. Aktivni i reaktivni prijemnici	154
4.13. Popravka faktora snage mreže	154
4.14. Primena fazorskog računa na rešavanje problema u kolima naizmjenične struje	156
4.14.1. Uslov prenosa maksimalne snage u kolu naizmjenične struje	159
4.15. Analiza složenih električnih kola naizmjenične struje	161
4.15.1. Veze impedansi	161
4.15.2. Naponski i strujni generatori u električnim kolima naizmjenične struje	164
4.15.3. Metoda konturnih struja u kompleksnom obliku	165
4.15.4. Teoreme električnih mreža u kompleksnom obliku	165
4.15.5. Električne mreže sa spregnutim induktivnim kalemovima	167
4.15.6. Paralelno rezonantno kolo	168
4.16. Trofazni sistemi	169
4.17. Trofazno kolo sa vezom faznih namotaja u trougao	171
4.18. Trofazno kolo sa vezom faznih namotaja u zvezdu	173
4.19. Snaga trofaznog kola	177
4.20. Vihorne struje	179
4.21. Površinski efekat	181
5. Termoelektrični i piezoelektrični generatori	185
5.1. Termoelementi	185
5.2. Piezoelektrični generatori	187
6. Dejstvo električnih izvora na elektrolite	189
6.1. Elektrolitička disocijacija	189
6.2. Primarne i sekundarne reakcije	190
6.3. Faradejevi zakoni elektrolize	191
6.4. Električno polje u elektrolitu	192

6.5.	Elektrohemijski generatori.....	193
6.6.	Akumulatori.....	195
6.6.1.	Olovni akumulatori.....	195
6.6.2.	Čelični akumulatori.....	199
6.6.3.	Srebro-cink akumulatori.....	200
6.6.4.	Primena akumulatora.....	200
7.	Električna merenja.....	203
7.1.	Metode električnih merenja.....	204
7.2.	Tačnost merenja, preciznost i osetljivost.....	204
7.3.	Merni instrumenti sa pokretnom zavojnicom.....	205
7.4.	Ampermetri.....	207
7.5.	Voltmetri.....	209
7.6.	Ommetar.....	211
7.7.	Instrumenti sa pokretnim gvožđem.....	212
7.8.	Elektrodinamički instrumenti.....	214
7.9.	Indukcioni instrumenti.....	218
7.10.	Termoelektrični merni instrumenti.....	219
7.11.	Termički električni merni instrumenti.....	220
7.12.	Elektrostatički merni instrumenti.....	220
7.13.	Vibracioni električni merni instrumenti.....	221
7.14.	Registracioni instrumenti.....	222
7.15.	Merenje električne snage.....	222
7.16.	Merenje električne otpornosti.....	225
7.17.	Merni uređaji na principu ravnoteže.....	228
7.18.	Princip rada potenciometra.....	228
7.19.	Vitstonov most.....	230
7.20.	Tomsonov most.....	231
7.21.	Neuravnotežen Vitstonov most.....	232
7.22.	Električni mostovi za merenje impedansi.....	233
8.	Električno merenje neelektričnih veličina.....	237
8.1.	Pretvarači.....	238
8.2.	Indikatorski sistemi.....	242
8.3.	Merenje nekih mehaničkih veličina.....	242
8.4.	Električni i stroboskopski tahometri.....	246
P r i l o z i.....	247
Oznake upotrebljenih veličina.....	257
Literatura.....	259
Spisak pojmova.....	263
Beleška o autorima.....	267

Predgovor

Ovaj udžbenik nastao je iz potrebe da se studentima Saobraćajnog fakulteta približi jedna veoma važna tehnička oblast, koja je u osnovi kompleksa koji sačinjavaju saobraćajno transportne i komunikacione tehnologije, sredstva i metode upravljanja. Imajući u vidu ovakvu potrebu težili smo da u okviru udžbenika izložimo planom i programom predviđeno gradivo na što je moguće savremeniji i teorijski utemeljen način. Udžbenik mogu koristiti i studenti tehničkih fakulteta kojima oblast elektrotehnike nije osnovna disciplina. Konceptcija udžbenika proizišla je iz naših beležaka sa predavanja i vežbanja koje smo više godina držali na Saobraćajnom fakultetu.

Izloženo gradivo grupisano je u osam delova: pregled i primena osnovnih zakona elektrostatike i elektrokinetike u analizi električnih mreža jednosmerne struje, odabrana poglavlja iz elektromagnetizma, prelazna stanja u električnim kolima jednosmerne struje, naizmjenične struje, termoelektrični i piezoelektrični generatori, dejstvo električnih izvora na elektrolite, električna merenja i na kraju električno merenje neelektričnih veličina. Ovako koncipirani redosled izlaganja dopunjen je priložima, oznakama upotrebljenih veličina, spiskom pojmova, literaturom, kao i beleškom o autorima.

Pretpostavlja se da čitaoci raspolažu osnovnim znanjem iz Matematike i Fizike. Namera nam je da Elektrotehnika bude što savremeniji udžbenik, kako za naše studente, tako i za inženjere koji nisu imali prilike da ovu materiju izučavaju u praksi, i svaku primedbu i predlog u tom smislu pažljivo ćemo razmotriti..

Završavajući ovaj predgovor, želimo da se zahvalimo recenzentima na učinjenom trudu oko pregledanja teksta za ovaj udžbenik.