

Električne mašine i uređaji u rudarstvu

Snežana Aleksandrović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

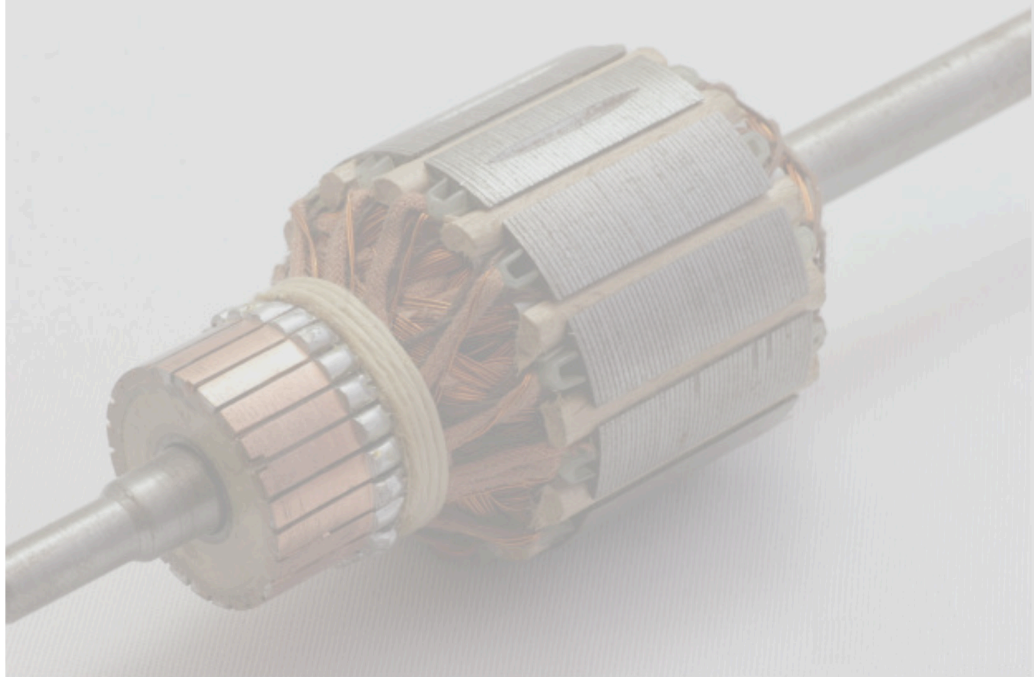
[ДР РГФ]

Električne mašine i uređaji u rudarstvu | Snežana Aleksandrović || 2017 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006136>

UNIVERZITET U BEOGRADU

Rudarsko-geološki fakultet



ELEKTRIČNE MAŠINE I UREĐAJI U RUDARSTVU

Snežana Aleksandrović

Beograd, 2017.

UNIVERZITET U BEOGRADU

Rudarsko-geološki fakultet

**ELEKTRIČNE MAŠINE I UREĐAJI
U RUDARSTVU**

Snežana Aleksandrović

Beograd, 2017.

Prof. dr Snežana Aleksandrović
Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu

ELEKTRIČNE MAŠINE I UREĐAJI U RUDARSTVU

Recenzenti: Prof. dr Mihajlo Jović, vanredni profesor u penziji
Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu

Prof. dr Dragan Ignjatović, redovni profesor
Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu

Publikovanje ovog udžbenika odobreno je od strane Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu odlukom br. 8/75 od 12.05.2016. god.

Uređivački odbor: dr Aleksandar Ganić, dr Ivica Ristović, dr Rade Tokalić, dr Milena Kostović, dr Miloš Tanasijević, dr Branko Leković, dr Branko Gluščević, mr Milena Gojković

Izdavač: Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet

Za izdavača: Prof.dr Dušan Polomčić

Štampa:
SaTCIP Ltd., 36210 Vrnjačka Banja, Srbija

Tiraž:
100 primeraka

Copyright © Autor zadržava sva prava

ISBN 978-86-7352-292-0

PREDGOVOR

Izvod iz recenzije - umesto predgovora

“...Knjiga predstavlja udžbenik za bolje i razumljivije savladavanje predavanja iz predmeta Električni uređaji i mašine u rudarstvu, koji slušaju studenti VI semestra Rudarskog odevka Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu. Pri pisanju udžbenika uzeta je u obzir obimna i raznovrsna literatura iz ove oblasti, kao i skripta autora, napisana za istoimeni predmet i zasnovana na ličnim iskustvima u radu sa studentima. Osim studenata kojima je namenjena, knjiga može korisno poslužiti i širem krugu čitalaca, naročito studentima fakulteta i viših škola na kojima se nastava iz električnih mašina izvodi po sličnom programu, kao i inženjerima iz prakse, kojima može poslužiti kao korisan priručnik. Pri pisanju udžbenika autor je težio da gradivo, po sadržaju i obimu, odgovara nastavnim planovima i programima, odnosno potrebama studenata kao budućim inženjerima.

Gradivo u ovom udžbeniku grupisano je u sedam poglavlja. U prvom delu knjige obuhvaćene su električne mašine i aparati, koji se mogu upotrebljavati u rudarstvu i u drugim granama privrede. Samim tim, ovu knjigu mogu, osim rudarskih inženjera, koristiti i stručnjaci drugih progila, koji u eksploataciji koriste električne mašine kao pogonsko sredstvo.

U drugom delu knjige razmotrene su tehničko-ekonomske i elektromehaničke karakteristike električnih mašina i aparata, na osnovu kojih se lako može izvršiti pravilan izbor električnog motora za razne vrste pogona mašina radilica u rudarskoj eksploataciji. Izložene su električne mašine i aparati specijalne izrade, koji se smeju primenjivati u rudnicima sa metanom, a za koji postoji malobrojna literatura na našem jeziku. Primena protiveksploziona zaštićenih električnih uređaja predstavlja stvar propisa i posebne izrade takvih uređaja, zbog čega su u knjizi obrađene samo osnove zaštite, sa naglaskom na primenu u rudnicima.

SADRŽAJ

	str.
1. ELEKTROMEHANIČKO PRETVARANJE ENERGIJE	1
1.1. OSNOVNI PRINCIPI PRETVARANJA ENERGIJE	1
1.2. INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA I OBRтни MOMENT	2
1.3. MAGNETNO POLJE I OBRтни MOMENT	7
1.4. KONSTRUKCIJA NAMOTAJA	9
1.5. REVERZIBILNOST ELEKTRIČNIH MAŠINA	10
1.6. PREGLED ELEKTRIČNIH MAŠINA	11
2. MAŠINE JEDNOSMERNE STRUJE	13
2.1. UVOD	13
2.2. OSNOVNI DELOVI I PRINCIP RADA	13
2.3. NAMOTAJ INDUKTA	18
2.4. POBUĐIVANJE MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE	20
2.5. ELEKTROMOTORNA SILA INDUKTA	21
2.6. REAKCIJA INDUKTA	22
2.7. KARAKTERISTIKE GENERATORA JEDNOSMERNE STRUJE	24
2.8. PUŠTANJE U RAD GENERATORA JEDNOSMERNE STRUJE	27
2.9. PROTIV ELEKTROMOTORNA SILA I OBRтни MOMENT KOD MOTORA JEDNOSMERNE STRUJE	28
2.10. REDNI MOTOR JEDNOSMERNE STRUJE	29
2.11. OTOČNI MOTOR JEDNOSMERNE STRUJE	31
2.12. SLOŽENI MOTOR JEDNOSMERNE STRUJE	32
2.13. PRIMENA MOTORA JEDNOSMERNE STRUJE	34
2.14. KARAKTERISTIČNA RADNA STANJA MOTORA JEDNOSMERNE STRUJE	36
2.14.1. Pokretanje motora jednosmerne struje	36
2.14.2. Regulisanje broja obrtaja motora jednosmerne struje	38
2.14.3. Promena smera obrtanja motora jednosmerne struje	41
2.14.4. Kočenje motora jednosmerne struje	42
2.15. GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE I STEPEN KORISNOG DEJSTVA KOD MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE	42
3. TRANSFORMATORI	45
3.1. UVOD	45
3.2. OSNOVNI DELOVI I PRINCIP RADA	46

3.2.1 Veličina elektromotorne sile u namotajima transformatora	47
3.2.2. Prazan hod (neopterećen transformator)	48
3.2.3. Vektorski dijagram transformatora u praznom hodu	49
3.2.4. Opterećen transformator	50
3.2.5. Kompletan vektorski dijagram opterećenog transformatora	53
3.3. OGLEDNI KRATAK SPOJ TRANSFORMATORA	55
3.3.1. Vektorski dijagram transformatora pri oglednom kratkom spoju	56
3.3.2. Ekvivalentno kolo transformatora	59
3.3.3. Promena napona transformatora	60
3.4. BILANS SNAGA	61
3.5. ELEMENTI KONSTRUKCIJE TRANSFORMATORA	63
3.5.1. Zagrevanje transformatora	64
3.5.2. Uljni transformatori	65
3.5.3. Transformatori sa kvarcnim peskom	66
3.5.4. Suvi transformatori sa silikonskom izolacijom	67
3.6. TROFAZNI TRANSFORMATORI	68
3.7. PARALELAN RAD TRANSFORMATORA	71
3.8. SPECIJALNI TRANSFORMATORI	73
3.8.1. Autotransformatori	73
3.8.2. Regulacioni transformatori	72
3.8.3. Merni transformatori	74
3.8.4. Transformatori sa većim brojem namotaja	75
3.8.5. Transformatori koji se upotrebljavaju u uređajima za zavarivanje	76
4. ASINHRONI MOTORI	77
4.1. PRINCIP RADA	77
4.2. STVARANJE OBRITNOG MAGNETNOG POLJA	78
4.2.1. Obrtno magnetno polje stvoreno trofaznom strujom	80
4.3. OSNOVNI ELEMENTI KONSTRUKCIJE I VRSTE ASINHRONIH MOTORA	82
4.3.1. Kratkospojeni rotor	85
4.3.2. Namotani rotor	87
4.4. PRAZAN HOD ASINHRONOG MOTORA	88
4.4.1. Prazan hod asinhronog motora pri otvorenom namotaju rotora	88
4.4.2. Prazan hod asinhronog motora pri zatvorenom namotaju rotora	90
4.5. RAD MOTORA POD OPTEREĆENJEM	91
4.5.1. Ekvivalentni asinhroni motor	94
4.5.2. Vektorski dijagram opterećenog asinhronog motora	96
4.6. ENERGETSKI DIJAGRAM ASINHRONOG MOTORA	97

4.7. KARAKTERISTIKE ASINHRONIH MOTORA	99
4.8. STABILNOST RADA ASINHRONOG MOTORA	103
4.9. ANALIZA KARAKTERISTIKE OBRTNOG MOMENTA	105
4.10. POKRETANJE ASINHRONIH MOTORA	106
4.10.1. Pokretanje kratkospojenih asinhronih motora	107
4.10.2. Pokretanje motora sa namotanim rotorom	112
4.11. REGULACIJA BRZINE OBRTANJA ASINHRONOG MOTORA	114
4.11.1. Promena brzine obrtanja naponom statora	114
4.11.2. Promena brzine obrtanja promenom otpora u kolu rotora	116
4.11.3. Promena brzine obrtanja promenom broja pari polova	118
4.11.4. Skalarna ili U/f regulacija brzine	118
4.11.5. Vektorska regulacija brzine	123
4.12. PROMENA SMERA OBRTANJA	124
5. SINHRONE MAŠINE	127
5.1. VRSTE SINHRONIH MAŠINA	127
5.2. KONSTRUKCIJA SINHRONIH MAŠINA	128
5.3. PRINCIP RADA SINHRONE MAŠINE	130
5.4. GENERATORI NAIZMENIČNE STRUJE (ALTERNATORI)	131
5.4.1. Paralelan rad sinhronih generatora	133
5.5. SINHRONI MOTORI	134
5.5.1. Pokretanje sinhronih motora	136
5.6. MOMENT SINHRONE MAŠINE	137
5.7. EKVIVALENTNO KOLO SINHRONE MAŠINE SA CILINDRIČNIM ROTOROM	139
5.8. KARAKTERISTIKE SINHRONE MAŠINE	141
5.8.1. Prazan hod sinhronne mašine	141
5.8.2. Kratak spoj sinhronne mašine	142
5.8.3. Karakteristika regulacije sinhronog generatora	143
5.8.4. Spoljna karakteristika sinhronog generatora	144
5.8.5. Mordejeve krive	144
5.9. SINHRONI MOTOR KAO SREDSTVO ZA POPRAVKU FAKTORA SNAGE MREŽE	146
5.10.1. Primena sinhronih motora	147
6. IZBOR ELEKTROMOTORA U RUDNICIMA	149
6.1. IZBOR VRSTE STRUJE ELEKTROMOTORA	149
6.1.1. Motori jednosmerne struje	149
6.1.2. Motori naizmjenične struje	151

6.2. IZBOR NAPONA ELEKTROMOTORA	153
6.3. IZBOR BROJA OBRTAJA ELEKTROMOTORA	154
6.4. IZBOR SNAGE ELEKTROMOTORA	155
6.4.1. Toplotni procesi u elektromotorima	155
6.4.2. Zagrevanje motora pri stalnom opterećenju	156
6.4.3. Hlađenje motora	159
6.4.4. Motori sa nepromenljivim opterećenjem	160
6.4.5. Motori sa promenljivim opterećenjem	161
6.5. METODE ODREĐIVANJA SNAGE NA BAZI ZAGREVANJA MOTORA	164
6.5.1. Metoda ekvivalente struje	164
6.5.2. Metoda ekvivalentnog momenta	167
6.5.3. Metoda ekvivalente snage	171
7. ANTIEKSPLOZIVNE MAŠINE I UREĐAJI U RUDNICIMA	173
7.1. UVOD	173
7.2. ELEKTRIČNI UZROCI PALJENJA RUDNIČKIH EKSPLOZIVNIH ATMOSFERA	174
7.3. FIZIČKA SVOJSTVA EKSPLOZIJE	176
7.3.1. Uslovi nastanka eksplozije	176
7.3.2. Pritisak koji se razvija pri eksploziji	180
7.3.3. Probojno paljenje	182
7.4. ZAPALJIVE I EKSPLOZIVNE SMEŠE	185
7.5. KLASIFIKACIJA ELEKTRIČNIH UREĐAJA	186
7.5.1. Klasifikacija električnih uređaja prema temperaturi paljenja	187
7.5.2. Klasifikacija električnih uređaja prema energiji paljenja	188
7.6. KLASIFIKACIJA UGROŽENIH PROSTORA	189
7.6.1. Klasifikacija ugroženih prostora podzemnih rudnika	190
7.7. KONSTRUKCIJA PROTIVEKSPLOZIONO ZAŠTIĆENIH ELEKTRIČNIH UREĐAJA	191
7.7.1. Vrste protiveksplozionih zaštita	191
7.7.2. Opšti zahtevi protiveksploziono zaštićenih električnih uređaja	192
7.7.3. Specifični zahtevi konstrukcije električnih uređaja	195
7.7.4. Ispitivanje i atestiranje	196
7.7.5. Obeležavanje	196
7.8. NEPRODORNI OKLOP	198
7.8.1. Natpritisaci u pojedinim odeljcima kućišta	200
7.8.2. Deformacije kućišta	200
7.1.3. Ispitivanje	203

7.9. POVEĆANA SIGURNOST	205
7.9.1. Zaštita kućištem	206
7.9.2. Električna izolacija	206
7.9.3. Zagrevanje	206
7.9.4. Otpornost na dinamička naprezanja	208
7.9.5. Ispitivanje	208
7.10. SAMOSIGURNOST	209
7.10.1. Kategorije samosigurnosti i zahtevi za električne uređaje	212
7.10.2. Sigurnosne barijere	213
7.10.3. Ispitivanje	215
7.11. PUNJENJE ČVRSTIM MATERIJAMA	216
7.11.1. Ispitivanje	217
7.12. URANJANJE U TEČNOST	218
7.12.1. Uslovi primene	219
7.12.2. Ispitivanje	220
7.13. PUNJENJE PESKOM	220
7.13.1. Minimalna zaštitna visina peska	221
7.13.2. Ispitivanje	223
7.14. NAROČITA VRSTA ZAŠTITE	224
7.14.1. Ventilatori u ugroženim prostorima	224
7.14.2. Naglavne rudarske svetiljke	225
7.14.3. Mašine za paljenje mina	226
7.15. NATPRITISAK	227
7.15.1. Ispitivanje	230
7.16. STATIČKI ELEKTRICITET	231
7.16.1. Osnovni mehanizmi nastanka	232
7.16.2. Iskre i korona	235
7.16.3. Mere i sredstva zaštite od statičkog elektriciteta	235
7.16.4. Primeri primene zaštite od statičkog elektriciteta	238
7.16.5. Ispitivanje i merenje statičkog elektriciteta u pogonskim uslovima	240
LITERATURA	242