

*Dr Radojle Radetić*

**PRIRUČNIK ZA RUKOVAOCE  
TRAFOSTANICAMA I  
RAZVODNIM POSTROJENJIMA**

# PRIRUČNIK ZA RUKOVAOCE TRAFOSTANICAMA I RAZVODNIM POSTROJENJIMA

**Dr Radojle Radetić, dipl. inž. el.**

Recenzenti prvog izdanja:  
Dr Dragoslav Jovanović, dipl. inž. el.  
Mr Gojko Dotlić, dipl. inž. el.

Kompjuterska obrada teksta – dr Radojle Radetić

ISBN 978-86-80134-49-9

## *Važne napomene*

1. Autor je nastojao da materija u ovoj knjizi bude izložena tačno i jasno. I pored velikih napora da izbegne greške, on ne može garantovati da ih još uvek nema. Autor na to upozorava čitaoce i ne snosi nikakvu odgovornost za eventualne posledice.
2. Praktičan rad u VN postrojenjima, koji su predmet razmatranja ove knjige, može biti opasan po život. Zato je neophodno pri radu, pridržavati se odgovarajućih mera zaštite propisanih za rad u ovoj oblasti.
3. Autor zadržava sva prava eventualnih izmena, bez obaveze prethodnog obaveštenja.
4. Bilo kakvo umnožavanje, preštampanje i kopiranje celine ili pojedinih delova ove knjige, nije dozvoljeno bez prethodne dozvole autora.

## PREDGOVOR

Posao rukovalaca u trafostanicama i razvodnom postrojenjima (TS/RP) je veoma kompleksan i zahteva širok opseg znanja. Tu se prvenstveno misli na poznavanje visokonaponske opreme svojih objekata, načina njenog korišćenja i održavanja, pa do otklanjanja jednostavnijih kvarova. Radi potpunijeg razumevanja posla, neophodno je poznavanje i osnovnih elemenata elektroenergetskog sistema (EES) i njegovih osnovnih karakteristika.

Kao i od svakog radnika JP EMS, i od rukovalaca, se u prvom redu očekuje posvećenost firmi. U okviru toga, važna uloga domaćina i rukovalaca DUTS-a je domaćinsko ophođenje prema svojim objektima (TS/RP), u smislu nadgledanja, čuvanja opreme, održavanja ispravnosti i urednosti postrojenja i objekta u celini.

Jačanjem sistema daljinske komande, od rukovalaca će se zahtevati izuzetan stepen snalažljivosti u objektima EMS-a (jer više neće biti vezan samo za jedan objekat i jedno radno mesto), a preduslov za to je znanje i iskustvo. Takođe, može se očekivati da će uloga rukovalaca biti sve manje izražena, a uloga domaćina sve više. I pored toga, zbog visoke odgovornosti i opasnosti koju sa sobom nosi, posebna pažnja, prilikom provere obučenosti rukovalaca, posvećuje se poznavanju manipulacija rasklopnom opremom na svojim objektima.

Ovim priručnikom pokušano je da se u sažetoj formi obuhvati najneophodnija stručna materija potrebna za rad rukovalaca TS/RP. Podrazumeva se da su rukovaoci tehnička lica koja poseduju osnovna znanja iz oblasti: električnih postrojenja, prenosa električne energije, električnih instalacija, mašina, merenja, relejne zaštite, itd. Sve ove teme se, i na nivou srednje škole, obrađuju daleko detaljnije. Zbog toga su te oblasti u ovom priručniku obrađene veoma kratko – na nivou podsetnika. U ovom priručniku autor se detaljnije bavio samo materijom koja nije obrađivana u pomenutoj literaturi a od značaja je za rad rukovalaca.

Radi potpunosti, na početku je dat kratak osvrt na najosnovnije pojmove elektrotehnike, osnovne elemente EES-a, organizacionu strukturu JP EMS, itd.

Na nivou podsetnika prikazana je i materija iz oblasti realnih uslova rada postrojenja i njihova VN oprema. Zbog čestih manipulativnih grešaka, i potencijalne opasnosti koju ona predstavlja, detaljnije je obrađena manipulacija rastavljačima.

Sledi materija o uzemljenjima, konfiguracijama postrojenja, relejnoj zaštiti, merenjima, lokalnom i daljinskom komandovanju, sopstvenoj potrošnji itd.

Dalje se razmatraju opšta pitanja vezana za svakodnevni rad u TS/RP (poznavanje TS/RP, primopredaja smene, pregledi, periodična ispitivanja opreme, itd.).

U tekstu je dalje, u najkraćim crtama prikazana i najvažnija interna tehnička regulativa (tehnička uputstva, pravilnici, preporuke itd). Taj prikaz ima za cilj da kod rukovalaca stvori pretstavu: šta oni sadrže, čime se bave, gde mogu da potraže i pronađu svi potrebni detalji i odgovori na pitanja koja ih interesuju. Ova materija je iz različitih razloga podložna promenama tako da:

U svom svakodnevnom radu, rukovaoci moraju da se pridržavaju zvaničnih i važećih: pravilnika, tehničkih uputstava, preporuka itd.

U poglavljima koja slede opisane su najkarakterističnije manipulacije i osnovni elementi o raspadu EES-a i načinu njegovog ponovnog uspostavljanja.

Takođe, u najkraćim crtama dotaknuta su pitanja iz oblasti protiv požarne zaštite (PPZ), provale, povreda na radu, pružanja prve pomoći itd.

Posebno važni delovi teksta, su naglašeni tako što su **boldovani** ili podvučeni.

Kao što se vidi, problematika ovog priručnika je veoma široka i najteži deo u njegovom pisanju bio je izbor tema i pronalaženje prave mere, do koje dubine ih obraditi. Pri pisanju, autor je imao na umu rukovaoce kao ciljnu grupu, i prema svom dugogodišnjem iskustvu i osećaju problematike, sastavio ovaj priručnik.

Ovaj "priručnik" je prvenstveno namenjen osnovnoj obuci, i pripremi rukovalaca TS za kontrolni ispit. Svojim sadržajem tema koje obuhvata, sigurno može biti od koristi i u njihovom svakodnevnom radu.

Osim rukovalca, ovaj priručnik može sigurno biti korisna literatura u razumevanju rada TS i RP u celini, i drugim radnicima JP EMS, a možda i šire.

Rad u firmi je "živa" stvar podložna svakodnevnim promenama u raznim segmentima (organizaciona struktura, interna regulativa, itd). Ovde izložena materija predstavlja presek stanja u trenutku njenog pisanja tokom 2012. godine. Najavljene organizacione promene najnovijim Zakonom o energetici nisu obuhvaćene.

Ovde želim da se zahvalim svim svojim kolegama na podršci koju su mi pružili tokom pisanja ovog teksta, svojim korisnim primedbama i sugestijama. U tom smislu posebno izdvajam: Z. Stojkovića, Z. Milićevića, Z. Mićanovića, J. Jovića, itd.

Na kraju moram da izrazim svoju zahvalnost i međunarodnom projektu TEMPUS JPHES 158781 Occupational safety and health – degree curricula and lifelong learning (Bezbednost i zdravlje na radu – obrazovni programi i doživotno učenje), koji kroz TEMPUS program finansira Evropska unija. Kao nosilac projekta, svoj doprinos u ovom poslu dala je i VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA STRUKOVNIH STUDIJA u Novom Sadu, i izražavam im svoju zahvalnost.

U odnosu na prvo izdanje, u ovom je promenjen redosled poglavlja tako što je sopstvena potrošnja prebačene ispred relejne zaštite. Takođe ispravljene su uočene greške i unesene manje korekcije teksta.

Tražnja za ovim priručnikom od kolega podstakla me je na izdavanje ovog – drugog izdanja priručnika. U odnosu na prvo, u ovom izdanju otklonjene su uočene štamparske greške i unešene minimalne korekcije u tekstu.

*Bor, septembar – 2023. godine*

*dr Radojle Radetić, dipl. inž. el.*

**SADRŽAJ**

<b>1. Osnovni pojmovi elektrotehnike</b>	<b>9</b>
1.1. Elektrostatika	9
1.2. Kolo jednosmerne struje	11
1.3. Magnetizam	13
1.4. Kolo naizmenične struje	14
1.5. Podaci o materijalima	18
<b>2. Elektroenergetski sistem</b>	<b>21</b>
2.1. Potrebe za električnom energijom	21
2.2. Elektroenergetski sistem – osnovni pojmovi	23
<b>3. Organizaciona struktura JP EMS</b>	<b>27</b>
3.1. Direkcija za prenos električne energije	27
3.2. Direkcija za upravljanje prenosnim sistemom	28
<b>4. Elektroenergetski objekti JP EMS</b>	<b>31</b>
4.1. Naponi u postrojenjima	32
4.2. Struje u postrojenjima	34
4.3. Dinamička naprezanja	35
4.4. Termička naprezanja	35
4.5. Ambijentni uslovi – spoljašnja i unutrašnja montaža	35
<b>5. Visokonaponska oprema u postrojenju</b>	<b>37</b>
5.1. Sabirnice	37
5.2. Izolatori	38
5.3. Rastavljači	40
5.4. Prekidači	43
5.5. Merni transformatori	45
5.6. Odvodnici prenapona	51
5.7. Energetski transformatori	53
<b>6. Uzemljenje u postrojenjima</b>	<b>59</b>
<b>7. Vrste jednopolnih šema postrojenja</b>	<b>61</b>
<b>8. Sopstvena potrošnja TS</b>	<b>65</b>
8.1. Trofazni napon (3 x 380/220 V, 50 Hz)	65
8.2. Invertorski napon 220 V 50 Hz	65
8.3. Jednosmerni napon 110 V (220 V)	67
<b>9. Relejna zaštita</b>	<b>71</b>
9.1. Područje primene	71

9.2.	Osnovni principi relejne zaštite	72
9.3.	Elektromehaničke i statičke zaštite dalekovoda 400, 220 i 110 kV	73
9.4.	Mikroprocesorska zaštita dalekovoda 400, 220, 110 kV	76
9.5.	Zaštita u distributivnim mrežama 35, 20 i 10 kV	77
9.6.	Zaštita u mreži 6 i 5,25 kV	77
9.7.	Zaštita transformatora	78
9.8.	Zaštita sabirnica	81
9.9.	Ostale zaštite i relei	83
9.10.	Pronalaženje mesta zemljospoja u kolima jednosmerne struje	86
<b>10.</b>	<b>Merenja u TS/RP</b>	<b>89</b>
<b>11.</b>	<b>Komandovanje – lokalno, daljinsko</b>	<b>93</b>
11.1.	Centralna preklopka – izbor režima komandovanja	93
11.2.	Sistemi daljinskog komandovanja	93
<b>12.</b>	<b>Kratki prikaz sistema SCADA</b>	<b>99</b>
12.1.	Struktura sistema	99
12.2.	Izgled ekrana radne stanice	101
12.3.	Komandovanje	105
12.4.	Liste	105
<b>13.</b>	<b>Poznavanje trafostanice</b>	<b>107</b>
13.1.	Struktura TS/RP	107
13.2.	Poznavanje komandne table	111
13.3.	Upravljanje pomoću sistema SCADA	112
<b>14.</b>	<b>Rukovalac u TS/RP, primopredaja smene, pregledi postrojenja</b>	<b>115</b>
14.1.	Rukovalac u TS/RP	115
14.2.	Primopredaja smene i obila TS/RP	115
14.3.	Održavanje TS/RP	116
14.4.	Pregledi TS/RP	116
14.5.	Knjige koje se vode o radu TS/RP i dokumentacija	117
<b>15.</b>	<b>Periodična ispitivanja u TS/RP</b>	<b>119</b>
15.1.	Merenje na sistemu uzemljenja	119
15.2.	Ispitivanje gromobranske instalacije	119
15.3.	Termovizijsko snimanje	119
15.4.	Ispitivanje energetske transformatora	120
15.5.	Ispitivanje relejne zaštite	121
15.6.	Ispitivanje akumulatorskih baterija	121
15.7.	Proba dizel električnog agregata	121

15.8.	Ispitivanje PP centrale	121
15.9.	Ispitivanje mernih transformatora	122
15.10.	Pregled elektro energetskeg inspektora	122
<b>16.</b>	<b>Radovi u postrojenju i tehnička regulativa</b>	<b>123</b>
16.1.	Tehnička uputstva JP EMS	123
16.2.	TU-EX-01 Tehničko uputstvo za pogon MS i daljinski upravljanih TS	124
16.3.	TU-EX-03 Mere i postupci nakon dejstva zaštitnih i automatskih uređaja u prenosnom sistemu	125
16.4.	TU-EX-04 Uputstvo za organizaciju izvođenja radova na EE objektima JP EMS	126
16.5.	Pravilnik o bezbednosti i zdravlju na radu (BZR)	128
<b>17.</b>	<b>Manipulacije u postrojenju</b>	<b>131</b>
17.1.	Primeri manipulacije	132
17.2.	Sinhronizacija	135
<b>18.</b>	<b>Raspad sistema</b>	<b>137</b>
18.1.	Odbrana sistema od raspada	137
18.2.	Stanje u TS/RP posle raspada	138
18.3.	Opšta koncepcija uspostavljanja	139
18.4.	Postupci osoblja u EE objektima tokom uspostavljanja EES	139
<b>19.</b>	<b>Požar u postrojenju, gašenje i provala</b>	<b>141</b>
19.1.	Nastanak požara i akcije na njegovom gašenju	141
19.2.	Aparati za gašenje požara	142
19.3.	Provala u TS/RP	143
<b>20.</b>	<b>Povrede u postrojenju i pružanje prve pomoći</b>	<b>145</b>
20.1.	Dejstvo električne struje na čoveka:	145
20.2.	Pružanje prve pomoći	146
20.3.	Postupci u slučaju smrtnih ishoda	146
20.4.	Fizička aktivnost, zdravlje i preventiva	147
<b>21.</b>	<b>Dodatak</b>	<b>149</b>
21.1.	Skraćenice	150
21.2.	Komandna sala NDC	151
21.3.	Električna korona, varnica i luk u postrojenju	153
21.4.	Pitanja za proveru obučenosti	157
<b>Bibliografija</b>		<b>165</b>

## 1. OSNOVNI POJMOVI ELEKTROTEHNIKE

Pre nego što se krene sa izlaganjem predviđene materije, dobro je podsetiti se najvažnijih pojmova iz osnova elektrotehnike. Lica kojima je namenjena ova materija su elektrotehničke struke, i podrazumeva se da poznaju ove pojmove. Na njima se zasniva dalje razumevanje kompletne materije.

### 1.1. Elektrostatika

Elektrostatika je oblast elektrotehnike koja proučava električne pojave koje izazivaju naelektrisanja u mirovanju.

#### 1.1.1. Kulonov zakon

Pojava elektriciteta uočena je tako što je primećena sila između naelektrisanih tela. Veličina te elektrostatičke sile ( $F$ ) između dva tačkasta naelektrisanja ( $q_1$  i  $q_2$ ) na međusobnom razmaku  $r$  je:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \text{ jedinica za silu } \textit{njutn} \text{ (N)}$$

$k$  konstanta proporcionalnosti ( $9 \cdot 10^9$  m/F)

$\epsilon_0$  dielektrična konstanta vakuma ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m)

Sila je vektorska veličina definisana intenzitetom, pravcem i smerom.

Jedinica za količinu elektriciteta ( $q$ ) je *kulon* (C). Jedan kulon je količina elektriciteta koja se sastoji od oko  $8,25 \cdot 10^{18}$  naelektrisanja protona. Naelektrisanje elektrona jednako je naelektrisanju protona ali je suprotnog znaka (negativno).

#### 1.1.2. Električno polje

Pojava elektrostatičke sile tumači se tako što oko naelektrisanja postoji električno polje. Linije polja su zrakaste. Za pozitivno naelektrisanje linije polja su usmerene od njegovog centra prema okolnom prostoru a za negativno imaju suprotan smer. Električno polje se detektuje unošenjem probnog naelektrisanja u njegov prostor.

Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja na rastojanju  $r$  je:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}, \text{ jedinica za jačinu električnog polja je } \textit{V/m}.$$

Kao i elektrostatička sila, i jačina električnog polja je vektorska veličina.

Sa povećanjem rastojanja jačina električnog polja opada jako brzo (sa kvadratom) i na beskonačno velikoj udaljenosti prestaje da postoji.

#### 1.1.3. Rad električnog polja

Ako se pod dejstvom sile ( $F$ ) u električnom polju naelektrisanje pomeri za neku dužinu ( $l$ ) u pravcu dejstva sile, izvršen je rad koji iznosi:

$$W = Fl, \text{ jedinica za rad je } \textit{džul} \text{ (J)}$$



#### 1.1.4. Električni potencijal i napon

Svaka tačka u električnom polju (vektorsko polje) može da se predstavi veličinom električnog potencijala. Potencijal (V) neke tačke u polju jednak je radu koji je potrebno izvršiti da bi prenelo jedinično naelektrisanje iz referentne tačke u tu tačku.

$$V = \frac{W}{q}, \text{ jedinica za električni potencijal je volt (V)}$$

Potencijal je skalarna veličina kojom se karakteriše neka tačka u električnom polju. U praksi, kao referentna tačka obično se koristi zemlja.

Razlika potencijala dve tačke u polju naziva se električni napon ( $U$ ).

$$U = V_1 - V_2, \text{ jedinica za napon je volt (V)}$$

U praksi se koriste jednosmerni i naizmjenični napon.

#### 1.1.5. Električni kapacitet

Električni kapacitet ( $C$ ), je odnos naelektrisanja i napona koje je ono izazvalo.

$$C = \frac{q}{U}, \text{ jedinica za kapacitet je farad (F)}$$

#### 1.1.6. Kondenzatori

Elementi kod kojih se koristi ova osobina nazivaju se kondenzatori. Kondenzator se sastoji od dve metalne ploče međusobno izolovane dielektrikom. Za površine ploča  $S$  i debljinu dielektrika  $d$ , kapacitet kondenzatora je:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$  dielektrična konstanta dielektrika ( $\varepsilon_r$  - relativna dielektrična konstanta)

Kondenzatori se mogu vezivati redno i paralelno. Ekvivalentni kapaciteti ( $C_E$ ) redne i paralelne veze su:

- Redna veza: 
$$\frac{1}{C_E} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

- Paralelna veza: 
$$C_E = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Kondenzatori u sebi akumuliraju električnu energiju koja iznosi:

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$

Sva dosadašnja razmatranja su se odnosila na naelektrisanja u mirovanju. Kada se naelektrisanja kreću nastaje električna struja.

## 1.2. Kolo jednosmerne struje

### 1.2.1. Električna struja

Kada se naelektrisanje nađe u električnom polju na njega deluje sila. Ako je naelektrisanje slobodno – nevezano (provodnici) pod dejstvom ove sile dolazi do njegovog kretanja. Usmereno kretanje naelektrisanja (elektrona) u provodniku naziva se električnom strujom. Jačina električne struje se definiše kao količina naelektrisanja ( $q$ ) koja u jedinici vremena ( $t$ ) prođe kroz poprečni presek provodnika:

$$I = \frac{q}{t}, \text{ jedinica za jačinu električne struje je } \textit{ampere} \text{ (A)}.$$

Zatvaranjem električnog kola gotovo istovremeno kreću svi slobodni elektroni u provodniku, tako da je brzina dejstva veoma velika i približno je jednaka brzini svetlosti. Međutim brzina kretanja elektrona u provodnicima je mnogo manja i obično je ispod 1 mm/s.

Ovde treba naglasiti i to da je jednosmerna struja ravnomerno raspoređena po čitavoj površini poprečnog preseka provodnika.

### 1.2.2. Električna otpornost

Električna otpornost fizička pojava koja karakteriše suprotstavljanje nekog dela električnog kola kretanju naelektrisanja (struji). Za provodnik u obliku žice preseka ( $S$ ) i dužine ( $l$ ), i specifične električne otpornosti ( $\rho$ ), električna otpornost je:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \text{jedinica za merenje otpornosti je } \textit{om} \text{ (}\Omega\text{)}.$$

Specifična električna otpornost ( $\rho$ ), je karakteristika materijala. Prema njenoj veličini, materijali se dele na provodnike, poluprovodnike i izolatore.

Ako se u gornjoj relaciji dužina uvrsti u metrima (m), presek u kvadratnim milimetrima ( $\text{mm}^2$ ) i specifična električna otpornost u ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ), rezultat se dobija u omima ( $\Omega$ ). U tabelama u 1.5. date su vrednosti za  $\rho$ , za neke provodne materijale.

Otpornici se mogu vezivati redno i paralelno. Ekvivalentne otpornosti ( $R_E$ ) redne i paralelne vezivanje otpora su:

- Redna veza:  $R_E = R_1 + R_2 + R_3 \dots$
- Paralelna veza:  $\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

### 1.2.3. Zavisnost električne otpornosti od temperature

Pokazuje se da električna otpornost nije konstantna. Ona prvenstveno zavisi od temperature, kako zbog promena dimenzija ali i zbog promena specifične električne otpornosti ( $\rho$ ). Ta zavisnost od temperature je:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(\mathcal{G}_t - \mathcal{G}_0)]$$

$\alpha$  temperaturni koeficijent promene otpornosti

$R_t$  otpornost na temperaturi  $\mathcal{G}_t$

$R_0$  otpornost na temperaturi  $\mathcal{G}_0$

Element kod koga se koristi osobina električne otpornosti naziva se otpornik.

#### 1.2.4. Omov zakon za jednosmernu struju

Kada se otpornik sa električnom otpornošću  $R$  priključi na jednosmerni napon  $U$ , kroz njega će se pojaviti struja  $I$ , čija je veličina:

$$I = \frac{U}{R}, \text{ jedinica za jačinu električne struje je } \textit{amper} \text{ (A)}$$

Ova relacija predstavlja jedan od osnovnih zakona elektrotehnika – Omov zakon.

Da ne bi bilo zabune, treba naglasiti da je električna otpornost karakteristika potrošača ili nekog drugog elementa. Ona ne zavisi od struje ili napona, ali se njihovim merenjem može izračunati, kao količnik napona i struje.

#### 1.2.5. Kirhofovi zakoni

Kola sastavljena od otpornika i naponskih (ili strujnih) izvora nazivaju se složenim električnim kolima. Za rešavanje složenih električnih kola (nalaženje nepoznatih napona u čvorovima ili struja u granama) koriste se Kirhofovi zakoni.

- Prema prvom zakonu algebarski zbir struja koji ulaze u neki čvor jednak nuli.

$$\sum I_i = 0$$

- Prema drugom zakonu algebarski zbir napona svih izvora duž jedne zatvorene konture, jednak je zbiru padova napona na njenim otpornicima.

$$\sum U_i = \sum R_i I_i$$

#### 1.2.6. Energija jednosmerne struje i Džulov zakon

Prolaskom struje ( $I$ ) kroz otpornik ( $R$ ) na njemu se razvija toplota. Toplota je energija, u ovom slučaju dobijena prolaskom električne struje. Ovu pojavu prvi je opisao Džul pa se ona naziva Džulovom toplotom.

Iz definicije napona, i jačine električne struje, proizilazi da je ova energija:

$$\text{Džulov zakon, } W = U \cdot q = U \cdot I \cdot t$$

Instrument kojim se meri električna energija je električno brojilo a jedinica kojom se izražava je džul (J). U praksi se koriste veće jedinice kao što su Wh, kWh, MWh itd.

#### 1.2.7. Snaga u kolu jednosmerne struje

Po svojoj prirodi snaga ( $P$ ) je brzina vršenja rada (ili brzina razvijanja energije).

$$P = \frac{W}{t}$$

Koristeći Omov zakon ova snaga se može izraziti i na sledeće načine:

$$P = U \cdot I, \quad P = R \cdot I^2, \quad \text{ili} \quad P = \frac{U^2}{R}, \quad \text{Jedinica za snagu je } \textit{vat} \text{ (W)}.$$

Ove relacije predstavljaju različite oblike Džulovog zakona.

### 1.3. Magnetizam

#### 1.3.1. Magnetno polje

Prolazeći kroz provodnik struja oko njega stvara magnetno polje. Jačina magnetnog polja ( $H$ ) oko beskonačno dugačkog pravog provodnika kroz koji protiče struja ( $I$ ), na rastojanju ( $r$ ) od ose je:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}, \quad \text{smer polja određen je pravilom desnog zavrtnja.}$$

Linije polja imaju oblik kružnica oko provodnika, sa centrom na osi provodnika.

Kada se od provodnika napravi namotaj, polje u nekoj tački prostora jednako je zbiru polja od svakog od  $N$  navojaka. Za namot u obliku tankog valjka dužine ( $l$ ), prečnika ( $D$ ,  $l \gg D$ ) i broja navojaka ( $N$ ) kroz koji teče struja ( $I$ ), jačina magnetnog polja u osi namota je približno:

$$H \approx \frac{NI}{l}, \quad \text{jedinica jačine magnetnog polja je A/m}$$

#### 1.3.2. Magnetna indukcija

Kada se ovakav namot nalazi u vazduhu linije magnetnog polja se zatvaraju kroz namot i okolni prostor. Kad se u magnetnom polju nađe magnetni materijal on svojim prisustvom menja magnetno polje. Zato se definiše magnetna indukcija ( $B$ ), kao:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H, \quad \text{jedinica jačine magnetne indukcije je } \textit{tesla} \text{ (T)}$$

$\mu_r$  relativna magnetna permeabilnost materijala

$\mu_0$  magnetna permeabilnost vakuma ( $12,56 \cdot 10^{-7}$  H/m)

U pogledu permeabilnosti, magnetni materijali se dele na feromagnetne dijamagnetne i paramagnetne. Posebnu važnost imaju feromagnetni materijali jer im je  $\mu_r$  mnogo veće od 1, tako da svojim prisustvom povećavaju magnetni fluks. Odlikuju se nelinearnošću koja se predstavlja krivom magnećenja. Za magnećenje sa oba smera struje, kriva nije jednoznačna već ima histerezis. On je jedan od uzroka gubitaka snage (i zagrevanja) u jezgru transformatora i prigušnica.

#### 1.3.3. Magnetni fluks

Veza između indukcije i magnetnog fluksa je takva, da je magnetna indukcija jednaka gustini fluksa. U homogenom magnetnom polju indukcije  $B$ , kroz površinu  $S$  normalnu na pravac linija magnetnog polja, magnetni fluks je:

$$\Phi = B \cdot S, \quad \text{jedinica magnetnog fluksa je } \textit{veber} \text{ (Wb)}$$

Magnetni fluks je rezultat prolaska struje. Veličina koja daje vezu između fluksa i struje je koeficijent indukcije ili induktivnost ( $L$ ).

$$L = \frac{\Phi}{I}, \text{ jedinica za induktivnost je henri (H)}$$

#### 1.3.4. Prigušnice

Elementi kod kojih se koristi osobina induktivnosti nazivaju se origušnice. To su elementi sastavljeni od kalema i magnetnog jezgra. Za velike induktivnosti jezgro se pravi od feromagnetnih materijala.

Na primer, za prigušnicu sa vazдушnim jezgrom, čiji je namot u obliku tankog valjka dužine ( $l$ ), prečnika ( $D$ ,  $l \gg D$ ) i broja navojaka ( $N$ ) kroz koji teče struja ( $I$ ), induktivnost je približno:

$$L \approx \mu_0 N^2 \frac{(D/2)^2 \pi}{l}$$

Kalem induktivnosti ( $L$ ) pri struji ( $I$ ) ima akumulisanu energiju:

$$W = L \frac{I^2}{2}$$

Prigušnice se mogu vezivati redno i paralelno. Ako između njih ne postoji magnetna sprega (mešanje flukseva), prigušnice se ponašaju slično otpornicima. Ekvivalentne induktivnosti ( $L_E$ ) pri rednom i paralelnom vezivanju su:

- Redna veza:  $L_E = L_1 + L_2 + L_3 \dots$
- Paralelna veza:  $\frac{1}{L_E} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$

#### 1.4. Kolo naizmenične struje

U opštem slučaju napon i struja mogu imati proizvoljan oblik. U praksi se pored jednosmernog, koristi i naizmenični napon. Najčešće se koristi naizmenični napon sinusnog oblika. I struja je takođe sinusna ali je fazno pomerena za ugao  $\varphi$ .

$$\text{Napon } u = U_m \sin \omega t, \quad \text{struja } i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

Karakteristične veličine ovog oblika su: maksimalna vrednost ( $U_m$ ,  $I_m$ ) i frekvencija ( $f$ ). Maksimalna vrednost je amplitudna (najviša) vrednost napona (i struje). Frekvencija je brzina ponavljanja u sekundi. Izražava se u *hercima* (Hz).

U praksi se umesto amplitude češće koriste; efektivna i srednja vrednost napona (i struje). Efektivna vrednost napona (i struje) jednaka je ekvivalentnom jednosmernom naponu (ili struji) koji na linearnom otporniku razvija istu snagu kao i posmatrani napon (ili struja). U svim daljim razmatranjima podrazumevaće se ova vrednost.

Za sinusni oblik napona i struje, odnos maksimalne i efektivne vrednosti je:

$$\text{za napon: } U_m = \sqrt{2} \cdot U \approx 1,41 \cdot U, \quad \text{za struju: } I_m = \sqrt{2} \cdot I \approx 1,41 \cdot I$$

U nekim slučajevima važna je i srednja vrednost ispravljenog napona (ili struje). Ona je za oko 10 % manja od efektivne.

$$\text{napon: } U_{SR} \approx 0,9 \cdot U, \quad \text{struja: } I_{SR} \approx 0,9 \cdot I$$

#### 1.4.1. Otpornosti u kolu naizmjenične struje

Kada se u kolo naizmjenične struje priključi prethodno definisana električna otpornost ( $R$ ), u njoj se pojavljuje električna struja:

$$I = \frac{U}{R}$$

Ova struja je istog oblika kao i napon. Za sinusni oblik napona i struja je u fazi sa njim. To znači da se ova otpornost ponaša na isti način kao i u kolu jednosmerne struje.

U kolu naizmjenične struje, pored opisane električne otpornosti, mogu da postoje još dve vrste otpornosti. Zbog toga je prethodno opisana otpornost dobila ime aktivna otpornost a ostale su reaktivne. Postoje dve vrste reaktivnih otpornosti i to su induktivna i kapacitivna otpornost. Reaktivne otpornosti zavise i od frekvencije.

Za element sa induktivnošću ( $L$ ), induktivna otpornost na frekvenciji ( $f$ ) je:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Za element sa kapacitetom ( $C$ ), kapacitivna otpornost na frekvenciji  $f$  je:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

U opštem slučaju, u kolu mogu da postoje sve tri otpornosti i onda se govori o impedansi ( $Z$ ). Za rednu vezu ovih otpornosti, impedansa je:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Prisustvo reaktivnih otpornosti u kolu unosi fazni stav ( $\varphi$ ) između napona i struje. On je definisan na sledeći način:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Iz ovoga proizilaze i sledeće relacije:

$$R = Z \cos \varphi, \quad X = Z \sin \varphi$$

Kad se radi o rednim i paralelnim vezama, ovde je situacija nešto komplikovanija nego kod jednosmerne struje. Obično sa za ova računanja koristi kompleksni račun, tako da se odvojeno radi sa aktivnim i reaktivnim komponentama impedanse. To prevazilazi potrebe ovog kursa, i neće biti razmatrano.

Za razliku od jednosmerne struje, naizmjenična struja ima veću gustinu na površini provodnika nego u unutrašnjosti. Pojava se naziva skin efektom i izražena je kod viših frekvencija i provodnika većih poprečnih preseka.

#### 1.4.2. Omov zakon za naizmeničnu struju

Kada se element sa impedansom ( $Z$ ) priključi na naizmenični napon ( $U$ ), u njemu će se pojaviti struja ( $I$ ) čija efektivna vrednost iznosi:

$$I = \frac{U}{Z}$$

Kod čisto omskog opterećenja, struja je u fazi sa naponom ( $\varphi=0$ ). Kod čisto induktivnog, ona kasni za  $90^\circ$  ( $\varphi=-90^\circ$ ), a kod čisto kapacitivnog prednjači za  $90^\circ$  ( $\varphi=90^\circ$ ). Kod mešovitog opterećenja ugao je unutar granica od  $\varphi=-90^\circ$  do  $\varphi=90^\circ$ .

Ovo pokazuje da je u kolu naizmenične struje impedansa slično što i otpornost u kolu jednosmerne struje. Zato se prethodna relacija često naziva i Omovim zakonom za naizmeničnu struju.

#### 1.4.3. Snaga i Džulov zakon u kolu naizmenične struje

Kao i u kolu jednosmerne struje, prolaskom struje ( $I$ ) kroz otpornik ( $R$ ) na njemu se razvija toplota. Električna snaga ( $P$ ), koja stvara ovu toplotu je:

$$P = R \cdot I^2$$

Ovaj izraz važi kako u kolu jednosmerne tako i u kolu naizmenične struje. To znači da reaktivne otpornosti ne proizvode toplotu.

Izraženo preko impedanse ova snaga je:

$$P = U \cdot I \cos \varphi = I^2 R = I^2 Z \cos \varphi, \text{ jedinica za aktivnu snagu je } \text{vat (W)}.$$

Ovo je Džulov zakon u kolu naizmenične struje.

Ovde se pored snage ( $P$ ) pojavljuju još dve snage: reaktivna i prividna. Radi razlikovanja snaga "P" nazvana je aktivnom jer samo ona razvija toplotu ili može da izvrši koristan rad.

- Reaktivna snaga je:  $Q = U \cdot I \sin \varphi = I^2 X = I^2 Z \sin \varphi$ , jedinica je VAR.

- Prividna snaga je:  $S = U \cdot I = I^2 Z$ , jedinica je VA.

Međusobna veza između ove tri snage je:  $S^2 = P^2 + Q^2$

#### 1.4.4. Energija u kolu naizmenične struje

Prema definiciji snage, energija ( $W$ ) je proizvod snage i proteklog vremena ( $t$ ).

$$W = P \cdot t$$

Instrument kojim se meri je električno brojilo a jedinica kojom se izražava je džul (J). U praksi se koriste veće jedinice kao što su Wh, kWh, MWh itd.

#### 1.4.5. Trofazni sistem

Trofazni sistem se sastoji od tri jednaka, ali međusobno fazno pomerena napona za po  $120^\circ$ . Ovi naponi se dobijaju iz trofaznih sinhronih generatora koji na statoru imaju tri namota međusobno prostorno pomerena za po  $120^\circ$ . Ovaj pomeraj se meri u

električnim stepenima. Polovi rotora su napravljeni od permanentnih magneta ili najčešće sa električnom pobudom (elektromagnetima). Obrtanjem rotora, u namotima se indukuju naponi prema redosledu u pravcu rotacije. Ako se na ova tri namota priključi tri potrošača, u njima se pojavljuju tri struje. U praksi se najčešće analizira situacija sa jednakim opterećenjima sve tri faze, takozvano simetrično opterećenje. Dalje će biti prikazani osnovni odnosi (relacije) koji važe za simetrično opterećen trofazni sistem. Trenutne vrednosti napona faza **a**, **b** i **c** su:

$$u_a = U_m \sin \omega t, u_b = U_m \sin(\omega t - 120^\circ), u_c = U_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Struje u opštem slučaju kasne za ugao  $\varphi$  i iznose:

$$i_a = I_m \sin(\omega t - \varphi), i_b = I_m \sin(\omega t - 120^\circ - \varphi), i_c = I_m \sin(\omega t - 240^\circ - \varphi)$$

Ako se namoti generatora spoje tako da im se počeci vežu u zajedničku tačku, govori se sprezi zvezda. Zajednička tačka se naziva neutralnom i obično se veže za uzemljenje i tako dovodi na potencijal zemlje. Ako se početak jednog namota veže za kraj drugog i tako zatvori krug, govori se o sprezi trougao. Sprege zvezda i trougao mogu se formirati i sa namotima transformatora ali i na strani potrošača.

Umesto trenutnih najčešće se radi sa efektivnim vrednostima napona i struja. U trofaznom sistemu radi sa o dve grupe napona, to su fazni i međufazni (ili linijski). Fazni naponi su naponi pojedinih faza prema neutralnoj tački (ili zemlji). Međufazni (ili linijski) naponi su naponi između pojedinih faza.

Fazni naponi se mogu grafički predstaviti pomoću fazora (neka vrsta vektora). Tri fazna napona ( $U_f$ ) se predstavljaju kao tri jednaka fazora koja polaze iz iste (nulte) tačke i međusobno su pomerena za po  $120^\circ$ , tako da podsećaju na zvezdu. Spajanjem vrhova ovih fazora dobija se trougao čije stranice predstavljaju linijske napone ( $U_l$ ).

Odnos linijskih i faznih napona je:  $U_l = \sqrt{3} \cdot U_f$

Kod struja je pogodno pratiti struje u provodnicima kojima se napaja potrošač. Bez obzira kako je potrošač vezan, ove struje su uvek linijske.

Opšte je prihvaćeno da se i naponi izražavaju preko svojih linijskih vrednosti. To se podrazumeva pa se u oznaci napona ne stavlja indeks "f" (linijski).

Snaga u trofaznom sistemu jednaka je zbiru snaga po fazama. Za simetrično opterećenje snage u trofaznom sistemu su:

- Aktivna snaga:  $P = 3 \cdot U_f \cdot I_l \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cos \varphi$
- Reaktivna snaga:  $Q = 3 \cdot U_f \cdot I_l \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin \varphi$
- Prividna snaga:  $S = 3 \cdot U_f \cdot I_l = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$
- I ovde važi relacija:  $S^2 = P^2 + Q^2$

Napomena: Za označavanje faznih napona u trofaznom sistemu se pored slovnih oznaka **a**, **b** i **c** koriste i oznake **R**, **S**, i **T** kao i oznake kazaljki (na primer **0**, **4** i **8**).



## 1.5. Podaci o materijalima

## Provodni materijali – metali i legure

Br.	Materijal	Hemijska oznaka	Spec. masa kg/dm <sup>3</sup>	Tačka toplj. °C	Spec. toplota kcal/kg°C	Spec. el. otpornost Ωmm <sup>2</sup> /m	Temp. koef. otpora 1/°C	Zatezna čvrstoća daN/mm <sup>2</sup>	Tvrdoća po Brinelu daN/mm <sup>2</sup>
1	Aluminijum čist	Al	2,7	658	0,214	0,0241	0,0047	-	-
2	Aluminijum za el. teh.	E,Al	2,7	658	0,214	0,0277	0,0041	7-9	15-25
3	Aluminijum za polu	E,Al	2,7	658	0,214	0,0290	0,00393	10-14	25-40
4	Aluminijum tvrdi	E,Al	2,7	658	0,214	0,0280	0,00407	14-18	40-60
5	Aluminijum liveni	E,Al	2,56	658	0,214	0,0284	-	9-12	24-32
6	Aldrej	AlMgSi	2,7	650	0,22	0,0328	0,0036	30-50	70-100
7	Bakar za el. teh. meki	CuF20	8,89	1083	0,092	0,01754	0,0039	20-25	40-65
8	Bakar za el. teh. polu	CuF25	8,89	1083	0,092	0,01818	0,0039	25-30	60-80
9	Bakar za el. teh. tvrdi	CuF30	8,89	1083	0,092	0,01786	0,0039	30-37	75-115
10	Bakarna žica	Cu	8,89	1083	0,092	0,0160	0,0036	20	-
11	Bakarni liv	Cu	8,89	1083	0,092	0,04-	-	15-18	45
12	Bronza provodna	Bc I	8,9	900	0,09	0,0208	0,004	cca 50	-
13	Bronza provodna	Bc II	8,05	900	0,09	0,0278	0,004	cca 60	-
14	Bronza provodna	Bc III	8,05	900	0,09	0,0555	0,004	cca 70	-
15	Cink	Zn	7,14	419	0,09	0,06	0,0037	14-19	30
16	Čelik za konstrukcije	Č 0360	7,8	1520	0,115	-	0,0045	37-45	100-130
17	Čelik za konstrukcije	Č 0460	7,8	1520	0,115	-	0,0045	42-50	115-145
18	Čelik za konstrukcije	Č 0465	7,8	1520	0,115	-	0,0045	44-52	120-150
19	Čelik za konstrukcije	Č 0560	7,8	1520	0,115	-	0,0045	50-64	135-170
20	Duraluminijum	AlCu5	2,8	650	0,22	0,5	0,0035	-	-
21	Grafit	C	2,25	3800	0,21	22	0,0013	0,4-0,8	-
22	Konstantan	CuNi44	8,9	1275	0,1	0,49	0,00003	50	-
23	Kalai	Sn	7,3	232	0,055	0,12	0,0044	2,8	12
24	Hrom	Cr	6,92	1920	0,108	0,15	-	-	90
25	Mesing za zavrtneve	Cu58Zn	8,5	900	0,1	0,083	0,0016	37-51	90-140
26	Mesing kovani	Cu60Zn	8,5	900	0,1	0,075	0,0016	24-48	80-130
27	Mesing lim	Cu63Zn	8,5	900	0,1	0,075	0,0016	30-55	70-160
28	Nikl	Ni	8,9	1453	0,109	0,087	0,0067	40-45	80-90
29	Nikelin	CuNi30	8,8	1230	0,095	0,40	0,0002	50	-
30	Novo srebro	CuNi15	8,5	1000	0,094	0,38	0,00007	50-85	160
31	Olovo	Pb	11,34	237	0,031	0,208	0,0042	1,5	3
32	Platina	Pt	21,45	1773	0,032	0,1	0,0039	18-37	40-110
33	Silicijum	Si	2,3	1414	0,17	1000	-	70	-
34	Srebro	Ag	10,5	960	0,06	0,0163	0,0041	-	15-90
35	Srebro-nikl	AgNi20	10,1	1400	-	0,021	-	-	40-78
36	Srebro - tvrdo	AgCu5	10,4	930	-	0,19	-	-	56-90
37	Srebrna bronza	CuAg4	9,1	1080	-	0,024	-	-	160
38	Volfraam	W	19,3	3380	0,03	0,55	0,004	35-42	350
39	Woodova legura	BiSnPb	9,7	74	0,03	0,5	0,002	-	-
40	Zlato	Au	19,3	1063	0,031	0,023	0,004	10-23	13-75
41	Gvožđe - čisto	Fe	7,86	1535	0,11	0,096	0,006	18	45-90
42	Gvožđe - liveno	SL14	7,3	1200	0,129	0,6-1,6	0,0019	14-30	180-250
43	Živa	Hg	13,5	-38,5	0,03	0,96	0,0009	-	-

## Izolacioni materijali

Br.	Materijal	Spec. masa kg/dm <sup>3</sup>	Relativna dielektrična konstanta, $\epsilon_r$	Spec. el. Otpornost $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	Dielektrična čvrstoća Up kV/mm	Zatezna čvrstoća daN/mm <sup>2</sup>	Toplotna stabilnost do °C
1	Azbest u prahu	2,7	6-10	$10^8$ - $10^{10}$	2-3	-	250
2	Azbest – ploče na papiru	0,75	5-8	$10^5$	0,3	-	300
3	Beton	1,8-2,5	-	$10^4$	1	1,2-2	-
4	Bitumen	1-1,1	3-3,6	$10^{13}$ - $10^{15}$	14-85	-	55-140
5	Celuloid	1,38	7-9	$10^{10}$ - $10^{12}$	20-30	3,5-7	40
6	Drvo impr. uljem	0,88	3,3-4	-	2,5-14	4,5-7	110
7	Pamučna tkan. impr. uljem	1,2	5-7	-	30-50	3,5-6	120
8	Svilena tkanina	1,1	5-7	-	40-50	2,1-4	180
9	Silikonska tkanina	1,4	3-4	-	13-35	3-20	180
10	Izolacioni lak	-	3,5	$10^{12}$ - $10^{16}$	40-120	-	100-200
11	Guma meka prirodna	1,3	2,1-2,9	$10^{15}$ - $10^{16}$	10-50	1-2,5	75
12	Guma veštačka	0,92	3,5-5	$10^{14}$	30	2-2,7	75
13	Melamin	1,45	6,4-4	$10^{11}$	14-16	4	120
14	Mokafolijum	1,25	3-4,6	-	20-25	1-3	130
15	Mikanit	1,9-2,5	2,5-5,5	$10^{15}$	25-35	-	150-300
16	Mermer	2,6-2,8	8,3-10,3	$10^9$ - $10^{10}$	20-50	-	250
17	Papir suvi	0,5-0,9	1,4-2,6	$10^{15}$ - $10^{17}$	8-14	6-8	90
18	Papir u ulju	-	3,8-4	-	50-60	-	15
19	Polietilen	0,92	2,1-2,3	$10^{14}$ - $10^{18}$	20-60	1-1,8	70-90
20	Polistiroil	1,05-	2,3-2,8	$10^{14}$ - $10^{17}$	50-70	3-5	70-85
21	Polivinil meki	1,38	3,3-3,4	$10^{16}$	50-75	2-7	67
22	Porculan	2,3-2,5	6-6,5	$10^{11}$ - $10^{12}$	25-38	2,5-5	350
23	Prešpan obični	1-1,3	2-4	-	8-11	6-7	90
24	Prešpan za žlebove	1-1,4	2-4	-	8-13	7-9	90
25	Staklo	2,4	4,5-6,3	$10^{13}$	10-50	6-8	200
26	Steatit	2,7	5,5-6,5	$10^{12}$	20-45	6-9,5	800
27	Šelak	1-1,1	3-4	$10^{15}$ - $10^{16}$	10-23	-	75
28	Liskun	1,7-1,8	6-8	$10^{15}$ - $10^{17}$	25-200	-	400
29	Epoksidne smole sa pun.	1,7-1,8	5,9	$10^{16}$ - $10^{19}$	30-35	7,8-8	120-130
30	Poliesterske smole sa pun.	1,77	4-5,2	$10^{14}$ - $10^{15}$	17-23	1-2	150-180
31	Pleksiglas (klirit)	1,19	3,6	$10^{10}$ - $10^{11}$	15-20	-	105
32	Pertinaks (bakelit)	1,3-1,4	4-4,5	$10^{11}$	5-20	10	120
33	Staklolit	1,7-1,9	-	$10^{13}$	40	22	160
34	Tekstolit	1,3-1,4	-	-	-	8	120
35	Teflon	2,2	2,1	$10^{16}$	60	-	330
36	Kapton	1,42	3,5	$10^{15}$	85-140	1-1,65	400
37	Samolepive trake	-	-	-	5-150	0,6-20	90-220
38	Vazduh suv	0,0012	1	$10^{19}$	2,1-3	-	-
39	Sumpor heksa-fluorid (SF <sub>6</sub> )	0,0066	1	-	4-5	-	-
40	Mineralno ulje	0,93-	2,2	$10^{15}$	12-20	-	105
41	Silikonsko ulje	0,96	2,6	$10^{16}$	10-20	-	180
42	Askareli (piralen)	1,6	4	$10^{15}$	15-25	-	140

## 2. ELEKTROENERGETSKI SISTEM

### 2.1. Potrebe za električnom energijom

Električna energija se zbog svojih mogućnosti prenošenja i pretvaranja u sve druge oblike energije može smatrati gotovo savršenom energijom. Proizvodi se u elektranama, i do potrošača prenosi prenosnom mrežom. S obzirom da prenosna mreža ne može da akumulira električnu energiju, proizilazi da proizvodnja električne energije treba da bude jednaka potrošnji uvećanoj za gubitke u prenosu.

#### 2.1.1. Potrošnja električne energije

Snaga potrošnje je promenljiva veličina koja zavisi od ukupne snage trenutno priključenih uređaja. Broj uređaja, na nivou jedne zemlje meri se milionima i većina njih se uključuje nezavisno jedni od drugih. Ovde se onda radi o statističkom a ne o nekom čvrstom fizičkom zakonu kojim se potrošnja može predvideti. Dugogodišnjim praćenjem ustanovljeno je da ona zavisi od doba godine, spoljne temperature, dana u sedmici, doba dana itd.

U Republici Srbiji je u velikoj meri zastupljeno korišćenje električne energije za grejanje (grejalice, termoakumulacione peći itd.). Zbog toga je u zimskom, potrošnja značajno veća u odnosu na letnji period. U poslednje vreme (zbog sve veće primene uređaja za klimatizaciju) povećava se potrošnja i u letnjem periodu. Pogotovu raste potreba za reaktivnom snagom.

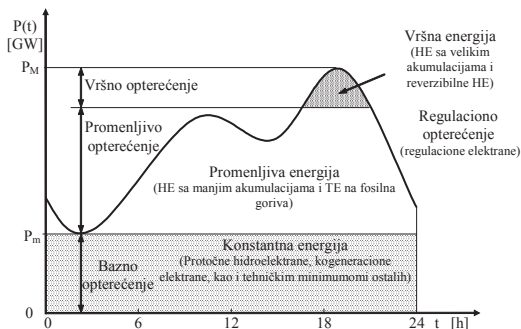
Unutar jedne sedmice, potrošnja je veća radnim danima nego neradnim. Na dnevnom nivou karakteristična su dva maksimuma. Jedan je u prepodnevnom satima a drugi u večernjim. Primer dnevnog dijagrama opterećenja prikazan je na sl. 2.1.

U tački 2.2., ovog poglavlja će biti dati i neki konkretni pokazatelji potrošnje električne energije u Srbiji.

#### 2.1.2. Proizvodnja električne energije

Na osnovu svega rečenog, vidi se da potrošnja diktira proizvodnju. Sa aspekta proizvodnje bilo bi idealno kad bi snaga na strani potrošnje bila konstantna i približno jednaka snazi instalisanih proizvodnih kapaciteta. Tada bi se postiglo njihovo najbolje iskorišćenje. Pošto to nije slučaj, snaga instalisanih proizvodnih kapaciteta mora biti veća od najveće potrošnje. U suprotnom mora se ići na ograničenja potrošnje ili uvoz električne energije iz susednih zemalja. U tom pogledu posebno su kritični zimski meseci. Da bi se to izbeglo, preduzimaju se mere za “peglanje“ dnevnog dijagrama.

Prva mera je ekonomska i sprovodi se kroz tarifnu politiku. Radi se o uvođenju dvojne tarife, tako što je cena



Sl. 2.1. Dnevni dijagram opterećenja EES-a

utrošene električne energije u periodima male potrošnje (noćni sati) niža od one u periodu velike potrošnje (dnevna). Time se potrošači električne energije stimulišu na veću potrošnju u vreme niže tarife (noću).

Na ovome se zasniva i druga mera a to je korišćenje reverzibilnih elektrana. One u noćnim satima mogu da uzimaju energiju iz sistema i pumpaju vodu u gornje jezero. Kada je manjak energije u sistemu one tom istom vodom sada proizvode električnu energiju i tako "peglažu" dnevni dijagram. Ekonomija njihovog rada zasnovana je na kupovini električne energije po nižoj ceni kada pumpaju vodu, a kasnije je proizvode i prodaju sistemu po znatno višoj ceni.

Ostale promene snage u dnevnom dijagramu pokrivaju se elektranama koje mogu da menjaju svoju snagu u određenim grancama (regulacione elektrane).

Na sl. 2.1. naznačeno je i koje vrste elektrana pokrivaju pojedine delove u dnevnom dijagramu opterećenja našeg EES-a.

### 2.1.3. Regulacija frekvencije i napona

Veličina koja ukazuje na odnos aktivnih snaga proizvodnje i potrošnje je frekvencija. Sa porastom potrošnje aktivne snage, frekvencija napona u sistemu opada. Da bi se uspostavila ravnoteža turbinski regulator u nekoj od regulacionih elektrana mora da otvori turbinski zatvarač i poveća dovod radnog fluida (na primer vode). Na taj način generator povećava aktivnu snagu i frekvencija raste. Promene frekvencije u normalnom radu su veoma male (stoti delovi Hz), i ona je najstabilnija veličina u sistemu. Što je sistem veći, i frekvencija je sve stabilnija. Ovakva regulacija frekvencije naziva se i primarnom regulacijom. Postoje i druge vrste regulacije frekvencije (sekundarna i tercijarna) ali one izlaze iz okvira ovog priručnika. Za pokrivanje promena snage u sistemu moraju da postoje i odgovarajući rezervni generatori spremni da (nakon nekog vremena ili odmah) uđu u rad, (takozvane hladne i tople rezerve).

Za održavanje napona u sistemu zaduženi su regulatori pobude. Obično se radi o tiristorskim regulisanim ispravljačima ali postoje i generatori sa sopstvenim budilicama. Povećanjem struje pobude (rotorski namot), povećava se proizvodnja reaktivne snage i podiže napon u sistemu.

U Republici Srbiji električna energija se proizvodi najvećim delom u termo i hidro elektranama. U tački 2.2. ovog poglavlja će biti detaljnije prikazana struktura proizvodnih kapaciteta Srbije.

Zbog visoke potencijalne opasnosti i nekoliko velikih akcidenata u nuklearnim elektranama, u svetu postoji veliki pritisak u pravcu proizvodnje električne energije iz takozvanih obnovljivih izvora. U prvom redu misli se na korišćenje energije: vetra, sunca, geo-termalne, bio-masa, malih vodotokova itd. Takve tendencije osećaju se i u našoj zemlji, i u budućnosti se očekuje njihova sve veća primena.

Ovde treba napomenuti da rezerve postoje i na strani potrošnje. Tu se u prvom redu misli na smanjenje korišćenja električne energije za grejanje, bolja termička izolacija zgrada, korišćenje fluo cevi i sijalica sa svetlosnim diodama (LED osvetljenje) itd. U ovom pogledu Srbije znatno zaostaje za razvijenim zemljama.

## 2.2. Elektroenergetski sistem – osnovni pojmovi

Mesto nastanka (proizvodnje) električne energije je elektrana. U zavisnosti od vrste energije iz koje se, u njoj proizvodi električna energija, elektrane mogu biti: hidroelektrane, termoelektrane, nuklearne itd. U novije vreme električna energija se dobija iz drugih oblika kao što su sunce (solarne), vetar, bio-masa, itd. Ovde se radi o obnovljivim i ekološki vrlo prihvatljivim (zelenim) izvorima električne energije. Iako su osnovni principi odavno poznati, težnja ka sve većem učešću zelene energije i državne subvencije, čine da se ova oblast veoma intenzivno razvija.

Od elektrana prema potrošačima, električna energija se prenosi električnim vodovima koji mogu biti nadzemni (dalekovodi) i podzemni (kablovi). Ako se ovome dodaju trafostanice i razvodna postrojenja, govori se o električnoj mreži. U Republici Srbiji ova mreža podeljena je na dva dela: prenosnu i distributivnu. Prenos obuhvata objekte (TS, RP i DV) naponskih nivoa 400 kV, 220 kV i 110 kV. Naponski nivo 110 kV se koristi i u distribuciji tako da ovde postoji preklapanje. Zakonom o energetici iz 2012. godine predviđeno je razgraničenje na ovom naponskom nivou tako što bi TS i RP napona 110 kV pripali distribuciji a dalekovodi prenosu. Ovaj proces je u toku.

Ostali dalekovodi i objekti nižih naponskih nivoa (TS ili RP) pripadaju distribuciji.

U Republici Srbiji prenosom se bavi javno preduzeće Elektromreža Srbije (JP EMS). Proizvodnjom i distribucijom električne energije bavi se javno preduzeće Elektroprivreda Srbije (JP EPS).

Na početku, neophodno je definisati osnovne pojmove koji se ovde susreću.

**Elektroenergetski sistem** (EES) je skup međusobno povezanih elektroenergetskih objekata svih naponskih nivoa od mesta proizvodnje do krajnjeg korisnika. Sastoji se od elektrana, dalekovoda, (ili kablova) i TS/RP. Prateći deo EES je nadzor, upravljanje, merenje, planiranje itd. sa svim svojim segmentima.

Ovde treba dodati i nadležnost nad upravljanjem sistemom u celini, i svim ovim elementima pojedinačno. Svi ovi elementi zajedno predstavljaju složenu celinu za čiji rad su neophodni sistemi za nadzor, upravljanje, merenje, itd. Ovde se danas radi o savremenim računarskim sistemima tipa SCADA međusobno povezanim električnim i optičkim komunikacionim linijama.

EES naše zemlje povezan je dalekovodima sa elektroenergetskim sistemima susednih zemalja tako da svi zajedno čine jedan veliki i jedinstven elektroenergetski sistem. Ovakva veza naziva se interkonekcijom. Sistemi u interkonekciji imaju zajedničku frekvenciju pa se nazivaju i sinhronom zonom. Do 2004. godine u Evropi su postojale dve sinhronne zone. Oktobra 2004. godine izvršeno je njihovo povezivanje i ovaj sistem danas radi kao jedinstven EES.

Prednost ovakvog rada je višestruka, počev od daleko veće stabilnosti sistema (i frekvencije), bolje naponske prilike, veće raspoložive snage, omogućava se međudržavni tranzit električne energije, itd.

### 2.2.1. Osnovni podaci o elektroenergetskom sistemu Republike Srbije (EES)

Električna energija u našoj zemlji dobija se najvećim delom iz uglja u termoelektranama (oko 61 %), i vode u hidroelektranama oko 34 %. Svi ostali izvori su znatno manjih kapaciteta (ispod 5 %). Godine 2011. instalisana snaga proizvodnih kapaciteta električne energije EPS-a iznosila je 8360 MW. Od toga je:

- U termoelektranama na lignit 5170 MW
- U termoelektranama-toplanama na gas i tečna goriva 353 MW
- U hidroelektranama 2840 MW

Osim toga EPS upravlja i sa elektranama ukupne snage 460 MW koje nisu njegovo vlasništvo.

Sa ovim, ukupna instalisana snaga EES naše zemlje je oko 8820 MW.

Najznačajniji objekti za proizvodnju električne energije u EPS su:

– Hidroelektrane: grupisane su u dva privredna društva:

1. Hidroelektrane iz sistema Đerdap – ukupno ..... 1540 MW
  - Đerdap 1 ..... 1060 MW
  - Đerdap 2 ..... 270 MW
  - HE Vlasina ..... 130 MW
  - HE Pirot ..... 80 MW
2. Drimsko limske HE – ukupno ..... 1300 MW
  - HE Bajina Bašta ..... 364 MW
  - RHE Bajina Bašta ..... 620 MW
  - HE Zvornik ..... 96 MW
  - Sve ostale ..... 230 MW

Hidroelektrane, ukupno 2840 MW ili oko 34 % od instalisane snage EES.

– Termoelektrane: grupisane su u dva privredna društva:

- Termoelektrane Nikola Tesla
  - Termoelektrane Kostolac
  - Kosovske elektrane (Od 1999. godine EPS ne upravlja ovim kapacitetima)
1. U sastavu "Termoelektrane Nikola Tesla" su:
    - TE Nikola Tesla A ..... 1650 MW
    - TE Nikola Tesla B ..... 1240 MW
    - TE Kolubara ..... 270 MW
    - TE Morava ..... 125 MW
    - Ukupno oko ..... 3285 MW
  2. U sastavu " Termoelektrane i kopovi Kostolac" su:
    - TE Kostolac A ..... 310 MW
    - TE Kostolac B ..... 700 MW
    - Ukupno oko ..... 1010 MW

- Termoelektrane, ukupno 5170 MW ili oko 61 % od instalisane snage EES.
- Termoelektrane – toplane (Novi Sad, Zrenjanin i Sremska Mitrovica),  
Ukupno oko 325 MW (ispod 5 % od instalisane snage EES).
  - Kosovske elektrane (Kosovo A i Kosovo B) ukupno oko 1160 MW.

2.2.2. Osnovni podaci o potrošnji električne energije (2011. god) u Srbiji su:

- Maksimalna srednje satna snaga .....	7340 MW
- Minimalna srednje satna snaga .....	2440 MW
- Maksimalna dnevna potrošnja .....	157000 MWh
- Minimalna dnevna potrošnja .....	81500 MWh
- Prosečna dnevna potrošnja .....	110000 MWh
- Gubici snage u prenosu su oko .....	2,6 %

U međuvremenu Pušteno je u pogon i nekoliko vetroparkova ukupne snage od više stotina megavata, povećana snaga HE Đerdap 1 za oko 10 %, itd.

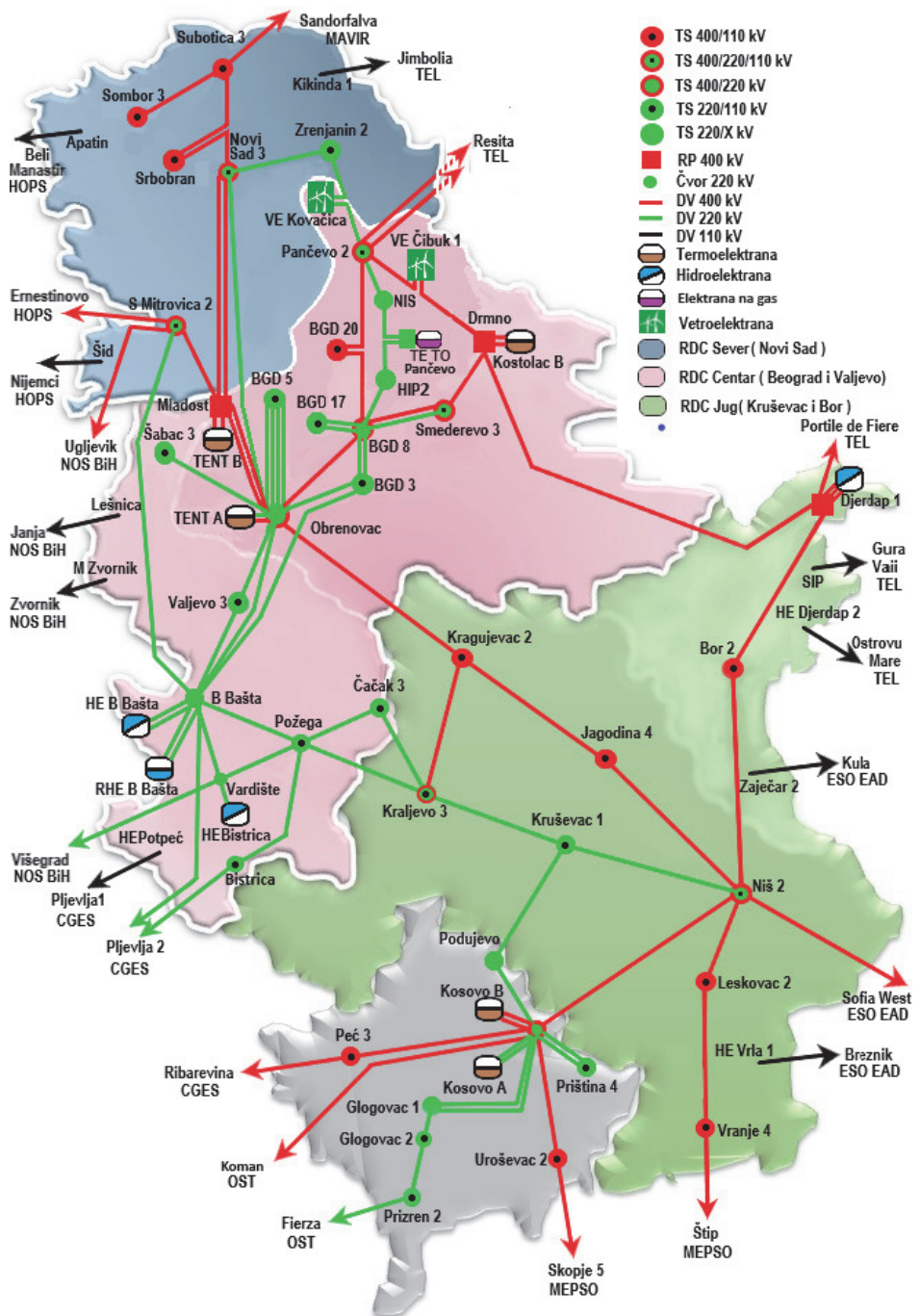
Danas upravljanje prenosnim sistemom u realnom vremenu vrši se iz centara upravljanja EMS AD koji su ustanovljeni u dva nivoa.

Sektor Nacionalni dispečerski centar – NDC upravlja elementima prenosne mreže napona 400 kV i 220 kV, te interkonektivnim dalekovodima 110 kV;

Sektor Regionalni dispečerski centar – RDC upravlja prenosnom mrežom napona 110 kV.

Prenosni sistem Republike Srbije prikazan je na sl. 2.2.

Daljnja razmatranja odnoseće se na objekte prenosa Republike Srbije koji rade u okviru firme JP Elektromreža Srbije (JP EMS).



Sl. 2.2. Prenosni sistem Republike Srbije



### 3. ORGANIZACIONA STRUKTURA JP EMS

Prema Pravilniku o organizaciji i sistematizaciji poslova u JP EMS (od 30. 05. 2012. godine), Javno preduzeće Elektromreža Srbije (JP EMS) organizovano je kroz organizacione celine i organizacione jedinice.

Organizacione celine su: Korporativni poslovi, Projekti, Centri i Direkcije.

Organizacione jedinice po vrsti mogu biti: Direkcija, Pogon, Sektor, Centar, Služba, Odeljenje i Projekat.

Rukovaoci TS/RP organizaciono pripadaju Direkciji za prenos. U svom radu, naloge za upravljačke akcije primaju iz Direkcije za upravljanje prenosnim sistemom. Zato je potrebno elementarno poznavanje unutrašnje organizacije i ove direkcije.

#### 3.1. **Direkcija za prenos električne energije**

Direkcija za prenos, sastavljena je od pogona prenosa (Beograd, Bor, Valjevo, Kruševac, Novi sad, i Obilić) i Pogona tehnika.

**Pogon tehnika** zamišljen je kao tehnička podrška prenosnom sistemu i sastoji se od sektora za: dalekovode, VN postrojenja, merenje električne energije, sisteme relejne zaštite i upravljanja objektima prenosne mreže, eksploataciju i sektor za zaštitu radne i životne sredine.

**Pogoni prenosa** organizovani su na teritorijalnom principu. Republiku Srbiju pokriva 5 (6 sa Kosovom) pogona prenosa i to su:

- Pogon Novi Sad – pokriva područje Vojvodine
- Pogon Beograd – pokriva šire područje Beograda
- Pogon Valjevo – pokriva zapadni deo republike
- Pogon Kruševac – pokriva južni i centralni deo republike
- Pogon Bor – pokriva istočni deo republike – Timočku krajinu
- Pogon Obilić – pokriva kosovski deo republike (TS Valač)

Unutar sebe pogoni prenosa organizovani su kroz službe:

- Služba za tehničku koordinaciju
- Služba za održavanje dalekovoda
- Služba za održavanje VN opreme i postrojenja
- Služba eksploataciju
- Služba automatiku.

I kroz samostalna odeljenja

- Ekonomsko–finansijski poslovi (EFP),
- Pravni–opšti i kadrovski (POK)

Tehničke službe se dalje sastoje od odeljenja. Tako služba za automatiku ima odeljenja za relejnu zaštitu, i TIS. U okviru službe za održavanje VNO je i odeljenje voznog parka. I služba eksploatacije se sastoji od odeljenja u okviru kojih se nalaze pojedine TS/RP ili grupe TS.

Pogon predstavlja Direktor pogona. Službe i odeljenja vode njihovi rukovodioci. Dalja linija rukovođenja je: poslovođe, predradnici i izvršioci.

Rad na TS/RP odvija se na dva načina. Kod posednutih objekata rukovaoci se smenjuju na po 12 časova. Posadu čini 5 rukovaoca i šef objekta. Ovakav rad je predviđen kod najvažnijih objekata prenosne mreže (400 kV i 220 kV).

TS napona 110/x kV organizovani su u grupe. Sedište grupe je objekat sa najboljim uslovima za smeštaj posade rukovaoca, ili po nekom drugom kriterijumu. Grupa je opremljena i interventnim vozilom. Za udaljene objekte iz grupe, postoje rukovaoci-domaćini. Njihov rad odvija se u smenama od po 8 časova. Posle radnog vremena rukovaoca-domaćina, intervencije na objektu vrše rukovalac u smeni, grupe objekata.

### 3.2. Direkcija za upravljanje prenosnim sistemom

U Direkciji za upravljanje prenosnim sistemom obavljaju se poslovi: upravljanja, planiranja, analize itd.

Pod pojmom upravljanja prenosnim sistemom, podrazumeva se skup akcija kojima se obezbeđuje funkcionisanje elektroenergetskog sistema u normalnim uslovima, odnosno povratak sistema u normalan i siguran rad, nakon poremećaja.

Upravljanje se sprovodi iz centara upravljanja operatora prenosnog sistema (dispečerski centri, mesta komande na objektima itd.). Za svaki od centara upravljanja definisana je nadležnost nad odgovarajućim elementima. U tom pogledu elementi su podeljeni u 4 grupe. Osnovni princip ove podele je sledeći:

- U prvu spadaju elementi (dalekovodi, DVP, SP i sabirnice) napona 400 i 220 kV i interkonektivni dalekovodi sa svojim poljima i TR 400/220kV.
- Druga grupa su elementi 110 kV, važni za pouzdan rad elektroenergetskih objekata za proizvodnju električne energije i inetrkonektivni dalekovodi. Tu su i TR 400/110kV, 220/110kV, sa svojim poljima i sabirnice 110 kV.
- U treću grupu svrstani su svi ostali elementi EES napona 110 kV u vlasništvu JP EMS, ali i ostali elementi KPS kojima se vrši prenos električne energije. Tu su: TR 220/x kV, 110/x kV, polja TR 220 kV izuzev sabirničkog rastavljača, sabirnice, sabirnice x kV u vlasništvu EMS-a, spojna polja 110 kV KPS koji su u petlji sa DV EMS-a itd.
- Četvrta grupa su elementi koji nisu vlasništvo JP EMS i ne vrše prenos električne energije. To su svi ostali elementi koji nisu obuhvaćeni sa prve tri grupe. U prvom redu radi se o elementima koji nisu vlasništvo JP EMS i ne vrše prenos električne energije.

Za operativni rad postoji “Uputstvo o kategorizaciji elemenata 400 kV, 220 kV i 110 kV EES Republike Srbije” iz 2011. godine u kome je za svaki od preko 3000 elemenata definisana grupa kojoj pripada. Iz ove podele proizilazi unutrašnja organizacija Direkcije za upravljanje prenosnim sistemom.

Direkcija za upravljanje prenosni sistemom organizovana je u četiri sektora:

- Sektor za operativno upravljanje prenosnim sistemom
- Sektor za regionalno upravljanje prenosnim sistemom
- Sektor za plan i analizu prenosnog sistema
- Sektor za upravljačku informatiku.

#### Sektor za operativno upravljanje

Na vrhu hijerarhijske liste nadležnosti upravljanja elementima prenosnim sistemom nalazi se Nacionalni dispečerski centar (NDC) koji se nalazi u okviru Sektora za operativno upravljanje. Upravljanje i nadzor nad prenosnim sistemom vrši se iz komandne sale (vidi – 21.2.). Centralni deo ove sale je velika jednopolna šema prenosne mreže Srbije. NDC ima uvid u stanje celine sistema Srbije, kao i veze sa sistemima susednih država. Prema kategorizaciji elemenata EES naše zemlje, NDC upravlja elementima prve i druge grupe.

#### Sektor za regionalno upravljanje

Niži nivo nadležnosti upravljanja elementima EES je regionalno upravljanje koje se sprovodi preko regionalnih dispečerskih centara (RDC) koji upravljaju elementima EES treće grupe. RDC može da upravlja i elementima II grupe uz prethodnu saglasnost NDC.

Elementima četvarte grupe upravljaju njihovi vlasnici (korisnici prenosnog sistema - KPS).

JP SMS ima pet regionalnih dispečerskih centara organizovanih na teritorijalnom principu. Sedišta ovih centara nalaze se u objektima pogona prenosa.

Regionalni dispečerski centri (RDC) su:

- RDC Beograd
- RDC Bor
- RDC Kruševac
- RDC Valjevo
- RDC Novi Sad

Na slikama u poglavlju 21 prikazane su jednopolne šeme prenosnih mreža iz delokruga nadležnosti upravljanja ovih RDC-ova.

Upravljanje se sprovodi kroz izdavanje odgovarajućih naloga za manipulacije, a samo komandovanje se vrši daljinski ili lokalno, na odgovarajuće načine. Lice koje izdaje naloge za manipulacije je nadležni dispečer. Izdavanje naloga se vrši putem govorne veza koja se snima. I pored toga rukovalac koji prima naloge, vodi svoju evidenciju tako što u svoju knjigu smene uz svaku manipulaciju upisuje i: broj naloga, po kome je vršio manipulaciju, datum, vreme, itd.

Sve najvažnije odluke iz domena rada Direkcije za upravljanje prenosnim sistemom, zasnivaju se na rezultatima Sektora za plan i analizu.

Sektor za administraciju je operativna podrška rada ostalih sektora Direkcije za upravljanje prenosnim sistemom.

**Napomena !!!!!**

U trenutku pripreme ovog priručnika za štampu, u toku su organizacione promene u JP EMS. One su rezultat promena definisanih Zakonom o energetici ("Sl. glasnik RS", br. 57/2011, 80/2011 - ispr., 93/2012 i 124/2012).

Članovima 70 i 75 ovog zakona definisano je šta čini prenosni, a šta distributivni sistem:

**Član 70**

Prenosni sistem čini mreža napona 400 kV i 220 kV, spojna polja 110 kV, dalekovodna polja zajedno sa sabirnicama 110 kV u transformatorskim stanicama x/110 kV i dalekovodi 110 kV zaključno sa zateznim lancem na portalu transformatorske stanice 110/x kV, merni uređaji na svim mestima isporuke sa prenosnog sistema, telekomunikaciona infrastruktura u prenosnim objektima, informacioni i upravljački sistem i druga infrastruktura neophodna za funkcionisanje prenosnog sistema.

**Član 75**

Distributivni sistem električne energije čine dalekovodna i spojna polja 110 kV, sabirnice 110 kV, transformatori 110/x kV sa pripadajućim trafo poljima u transformatorskim stanicama x/110 kV, mreža srednjeg napona (35 kV, 20 kV i 10 kV) i distributivna mreža niskog napona, merni uređaj sa mernim ormanom na svim mestima isporuke sa distributivnog sistema, telekomunikaciona infrastruktura u distributivnim objektima, informacioni i upravljački sistem i druga infrastruktura neophodna za funkcionisanje distributivnog sistema.

U skladu sa ovim, TS 110/X kV koji su bili vlasništvo JP EMS treba da pređu u vlasništvo JP EPS. U pitanju su ukupno 54 objekta ove vrste. Takođe dalekovodi naponskog nivoa 110 kV, koji su bili vlasništvo JP EPS treba da pređu u vlasništvo JP EMS. U skladu sa ovim promenama biće napravljena i nova organizaciona šema JP EMS, i taj posao je u toku.

#### 4. ELEKTROENERGETSKI OBJEKTI JP EMS

**Elektroenergetski objekti** (EEO) su delovi elektroenergetskog sistema. Pod njima se podrazumeva građevinsko-elektromontažna celina koja služi za proizvodnju, prenos, distribuciju ili potrošnju električne energije (elektrana, DV, TS, RP itd.).

U ovom trenutku JP Elektromreža Srbije obuhvata elektroenergetske objekte (TS i RP) naponskih nivoa 400 kV, 220 kV i 110 kV. Ukupan broj ovih objekata tipa TS/RP je oko 99 (sa Kosovom). Tu su i dalekovodi istih naponskih nivoa.

Osnovni zbirni podaci o objektima JP EMS su (prema OTD za 2012 god.):

- Instalirana snaga za transformaciju 400/x kV ..... oko 7500 MW
- Instalirana snaga za transformaciju 220/x kV ..... oko 6000 MW
- Instalirana snaga za transformaciju 110/x kV ..... oko 4000 MW
- Ukupna instalirana snaga za transformaciju ..... oko 17500 MW
- Broj TS/RP naponskog nivoa 400 kV ..... 17 objekata
- Broj TS/RP naponskog nivoa 220 kV ..... 18 objekata
- Broj TS/RP naponskog nivoa 110 kV ..... 62 objekata
- Dalekovodi 400 kV, ukupne dužine ..... oko 1700 km
- Dalekovodi 220, ukupne dužine ..... oko 2200 km
- Dalekovodi 110 kV, ukupne dužine ..... oko 6000 km

Zakonom o energetici iz 2011. Godine predviđen je prelazak objekata 110/x kV u vlasništvo Elektroprivrede Srbije (EPS) a dalekovoda 110 kV iz EPS-a u JP EMS.

Na taj način JP Elektromreža Srbije bi obuhvatala elektroenergetske objekte (TS i RP) naponskih nivoa 400 kV, 220 kV i dalekovode 110 kV. Kako bi ovaj sistem činio celinu, u okviru njega nalaze se, sabirnice i spojna polja postrojenja naponskog nivoa 110 kV.

Objekti pokrivaju teritoriju cele Republika Srbije i organizovani su teritorijalno u okviru 5 pogona prenosa (bez Kosova). Prilikom ove podele vodilo se računa o instaliranim kapacitetima, dužinama dalekovoda, težini terena, mogućnosti stizanja do objekta za najviše 60 minuta itd.

**Razvodno postrojenje** (RP) je elektroenergetski objekat bez transformacije, sa rasklopnom opremom istog naponskog nivoa.

Prenošenje energije između postrojenja istog naponskog nivoa, ostvaruje nadzemnim vodovima – dalekovodima (DV) ili putem kablova. Ovde se obično radi o veoma udaljenim objektima, od nekoliko stotina metara do preko 100 km.

Prenošenje energije između postrojenja različitih naponskih nivoa ostvaruje se preko energetskih transformatora (TR). Ovde se radi o relativno bliskim postrojenjima najčešće smeštenim unutar iste ograde tako da predstavljaju jedan elektroenergetski objekat. Objekti u kojima se vrši prenošenje energije između postrojenja različitih naponskih nivoa (transformacija električne energije) nazivaju se **transformatorskim stanicama** (TS). TS sadrži dva ili više RP različitih naponskih nivoa.

U praksi se često **razvodno postrojenje** naziva skraćeno **postrojenje**, ali se ponekad i za objekte **TS** i **RP** koristi zajednički naziv **postrojenje**, što ipak nije korektno i trebalo bi ga izbegavati.

RP najviših naponskih nivoa zahtevaju velike izolacione i sigurnosne razmake pa se najčešće izvode na otvorenom prostoru. Izuzetak su postrojenja u takozvanoj GIS izvedbi (SF<sub>6</sub>). Ovakva postrojenja su veoma kompaktna, pouzdana ali zato i veoma skupa. Prihvatljiva su na primer za jako zagađene sredine, gradska jezgra itd.

RP nižih naponskih nivoa su zatvorena dok RP za srednje napone mogu biti bilo na otvorenom ili u zatvorenom prostoru. Ovde ne postoji stroga granica, a izvedba dosta zavisi od raspoloživog prostora, zagađenosti sredine i drugih faktora.

Deo RP u kome se priključuje dalekovod (DV) ili transformator (TR) na sabirnice, na otvorenom, naziva se **polje** a u zatvorenom prostoru to je **ćelija**. Osim pomenutih postoje još i spojna i merna polja (ćelije).

Sastavni deo svake TS/RP je i oprema za merenje električne energije, za zaštitu elemenata EES, za nadzor i upravljanje, sopstvenu potrošnju itd.

Unutar jednog objekta svi ovi sistemi kao i ostali potrošači (osvetljenje, grejanje, i ostali električni potrošači) zahtevaju svoje napajanje koje ovde nazivamo sopstvenom (ili kućnom) potrošnjom. Sve ovo su onda posebne oblasti koje su zastupljene u okviru jednog objekta (TS i RP) i svaka od njih, naći će svoje mesto u okviru ovog priručnika.

Naravno osnova svega je visokonaponska oprema u objektima (TS i RP), na kojoj se zasniva prenos i upravljanje tokovima električne energije. Nju nazivamo još i primarnom ili VN opremom.

Zajedničko za svu primarnu opremu je izloženost raznim vrstama naprezanja, kao što su električna, mehanička, termička, ambijentni uslovi itd. Veoma važan faktor u ovome je i vreme korišćenja (ili skladištenja) koji se vodi kao starost opreme.

#### 4.1. Naponi u postrojenjima

Naponsko naprezanje nekog elementa definisano je **nazivnim naponom** postrojenja za koji je namenjeno. Radi se o standardnim naponima kao što su: 400 kV, 220 kV, 110 kV, 35 kV, 20 kV, 10 kV itd. Niži navedeni naponi u okviru JP EMS imaju primenu kod napajanja sopstvene potrošnje. Na prvi pogled nazivni napon DV ili RP prepoznatljiv je prema veličini izolatora.

Stvarni naponi u postrojenju se menjaju u zavisnosti od njegovog položaja u EES, i opterećenja EES. Tako ovi naponi mogu biti manji ili veći od nazivnih. U normalnom radu ove promene su reda  $\pm 5\%$  (mreža 400 kV, do 10% (mreže 110 i 220 kV). Po opremu u postrojenju opasnija je gornja granica pa se govori o **maksimalnom radnom naponu**. Pri projektovanju i proizvodnji, oprema se tako dimenzioniše, da nesmetano radi i pri ovom naponu.

Zbog svoje važnosti i visoke cene, posebna pažnja posvećuje se energetskim transformatorima. Kad se govori o naprezanju izolacije transformatora, može da se govori o međuzavojnoj izolaciji, i izolaciji prema masi ili drugom namotu. Na završenim transformatorima vrše se obe vrste ispitivanja. Ispitivanje međuzavojne

izolacije vrši se naponom povišene frekvencije, a izolacije prema masi ili drugom namotu vrši se dovedenim naponom frekvencije 50 Hz, u trajanju od 1 minut.

Sa povišenjem radnog napona magnetna jezgra energetskih transformatora idu dublje u zasićenje što za posledicu ima povećanje gubitaka u gvožđu i povećano zagrevanje jezgra. Svakako da postoji i nešto jače naprezanje izolacije. Zbog pojava prenapona, izolacija se bira tako da može da izdrži znatno veće napone, pa se ovo povećanje ne smatra opasnim.

Pored radnih napona, oprema je izložena i drugim vrstama napona koji se superponiraju radnom naponu i mogu postići veoma visoke vrednosti, pa ih nazivamo i **prenaponima**. Prema uzroku nastanka govori se o prenaponima spoljašnjeg i unutrašnjeg porekla. Najčešći uzroci prenapona spoljašnjeg porekla su atmosferska pražnjenja. Manipulacije rasklopnim uređajima (prekidačima) izazivaju unutrašnje prenapone.

Po svojoj energiji i opasnosti koju predstavljaju po opremu, posebno su opasna atmosferska pražnjenja (udar groma), bilo da se radi o direktnom udaru u element postrojenja, ili u dalekovod, kojim se prenapon u obliku putujućeg talasa prenosi u postrojenje. Velika energija pražnjenja može da razori izolaciju, i moraju se sprovesti mere za zaštitu, prvenstveno najskupljih elemenata – energetskih transformatora.

Na izolatorima dalekovoda, prenaponska zaštita se izvodi pomoću varničara u obliku rogova ili prstenova. I u postrojenju se koriste varničari, s tim što se za zaštitu energetskih transformatora prvenstveno koriste odvodnici prenapona. Bilo bi dobro kada bi se i na ulasku svakog dalekovoda u postrojenje postavljali odvodnici prenapona, ali zbog visoke cene oni se za sada postavljaju samo na kablovskim izvodima. Ovde još treba naglasiti da s obzirom na malu masu i toplotni kapacitet, odvodnici prenapona štite samo od kratkotrajnih prenapona – mikrosekundnog trajanja.

Izdržljivost izolacije prema prenaponima proverava se udarnim naponom tipa 1,2/50  $\mu$ s.

Na osnovu rečenog, definisani su izolacioni i zaštitni naponski nivoi pojedinih elemenata. U zavisnosti od visine napona i načina kako je uzemljenja neutralna tačka mreže, postoje puni i smanjeni stepeni izolacije. U cilju zaštite, prilikom izbora sprovodi se usklađivanje njihovih izolacionih i zaštitnih nivoa tako što zaštitni nivoi moraju biti niži od izolacionih. Taj postupak nazivamo i **koordinacijom izolacije**.

U tabeli 4.1. prikazane su vrednosti pojedinih napona u zavisnosti on nazivnog napona mreže. Dvostruke vrednosti ispitnih napona u tabeli su zbog postojanja smanjenog i punog stepena izolacije. Jedino u mreži 400 kV koristi se samo smanjeni stepen izolacije.

Nazivni napon (kV)	10	20	35	110	220	400
Maksimalni radni napon (kV)	12	24	38	123	245	420
Ispitni napon 50 Hz, 1 min (kV)	28-35	50-55	70-75	185-230	395-460	630
Udarni napon tipa 1,2/50 $\mu$ s (kV)	75	125	170	450-550	900-1050	1425

Tabela 4.1.