



# SIGURNOST U PRIMJENI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Boris Ožanić



## PRAVILA ZA OSIGURANJE MJESTA RADA NA ELEKTRIČNIM POSTROJENJIMA I INSTALACIJAMA

- 1 ISKLJUČITI I ODVOJITI OD NAPONA. Odvojiti od svih strana odakle bi mogao prodrijeti napon.
- 2 OSIGURATI OD PONOVNOG UKLJUČENJA. Onemogućiti uključivanje upravljačkim elementima. Postaviti znakove zabrane uključivanja.
- 3 UTVRĐITI BEZNAPONSKO STANJE. Provjeriti ispravnost indikatora napona.
- 4 UZEMLJITI I KRATKO SPOJITI. Naprave postaviti što bliže mjestu rada.
- 5 OGRADITI OD DUELOVA POD NAPONOM.

Na jednostavno napajanim strujnim krugovima niskog napona, izuzev nadzemnih vodova, ne treba uzemljivati i kratko spojati vodiče.

### OBAVEZNO KORISTITI





mr. sc. Boris Ožanić, dipl. ing.

## SIGURNOST U PRIMJENI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Veleučilište u Karlovcu

Copyright ©  
Veleučilište u Karlovcu 2016.

**ISBN: 978-953-7343-90-3**

*Izdavač:* Veleučilište u Karlovcu

*Za izdavača:* dr. sc. Branko Wasserbauer, prof. v. š.

*Recenzenti:* prof. dr. Sejd Tešnjak, dr. sc. Krešimir Meštović, dr. sc. Vladimir Tudić

*Grafička priprema:* Miroslav Kodrić

Objavlivanje ovog veleučilišnog udžbenika odobrilo je Povjerenstvo za izdavačku djelatnost Veleučilišta u Karlovcu Odlukom o izdavanju publikacije br. 7.5-13-2016-3

**Boris Ožanić**

**SIGURNOST U PRIMJENI  
ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Karlovac, 2016.



# Predgovor

Sigurnost u primjeni električne energije općenito znači primjenu stručno-znanstvenih metoda prilikom projektiranja, proizvodnje, montaže, puštanja u pogon i održavanja svih postrojenja koja se koriste za proizvodnju električne energije (elektrana), prijenos električne energije, distribuciju električne energije i njezino korištenje (potrošači).

Naime, predmetni termin znači stvaranje preduvjeta za smanjenje neželjenih uzroka i utjecaja električne struje na ljude koji se bave s električnom energijom (kao proizvodom) ili s ljudima koji ju koriste za vlastite potrebe. Dakle pojam „sigurnost“ u ovoj skripti ima smisao zaštite od djelovanja električne struje. Naravno, pored utjecaja na ljude, električna energija može imati i pozitivne i negativne utjecaje na sve subjekte u društvu, i općenito u životu, bez koje su isti teško mogući.

Sadržajno, u skripti su razrađena i stručno definirana sljedeća područja:

- osnovni pojmovi i definicije iz elektrotehnike,
- definiran je pojam sigurnosti u primjeni električne energije,
- definirana je zaštita od požara uzrokovana električnom strujom,
- dati su postupci pri rješavanju problema u slučaju djelovanja električne struje,
- navedena su odgovarajuća zaštitna sredstva.

Dakle, cilj je da se, s obzirom na specifičnost problematike, studentima veleučilišta, učenicima srednjih strukovnih škola, djelatnicima elektroprivrede i drugima koji se susreću svakodnevno s elementima vezanim za električnu energiju ukaže na tzv. predostrožnost pri korištenju električne energije, a na taj će se način povećati i njihova vlastita sigurnost.

*Autor*





# Sadržaj

<b>1. OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE IZ ELEKTROTEHNIKE .....</b>	<b>15</b>
1.1. Što je to atom? .....	15
1.2. Što je električna struja? .....	15
1.3. Što je električni vodič? .....	16
1.4. Što su električni izolatori? .....	16
1.5. Što je električni strujni krug? .....	16
1.6. Što je jakost električne struje I? .....	17
1.7. Što je jedan amper [1A]? .....	17
1.8. Što je količina elektriciteta Q? .....	17
1.9. Što je gustoća struje? .....	18
1.10. Kako se mjeri jakost struje? .....	18
1.11. Što je elektromotorna sila EMS? .....	18
1.12. Što je električni napon U? .....	18
1.13. Što je jedan volt [1V]? .....	18
1.14. Kako se mjeri napon? .....	19
1.15. Što je djelatni električni otpor R? .....	19
1.16. Što je jedan ohm [Ω]? .....	19
1.17. Što je specifični otpor materijala $\rho$ ? .....	20
1.18. Kako se proračunava otpor vodiča R? .....	20
1.19. Što je električna vodljivost G? .....	20
1.20. Što je specifična vodljivost $\kappa$ ? .....	20
1.21. Što je temperaturni koeficijent $\alpha$ ? .....	21
1.22. Kako se proračunava "topli otpor" $R_t$ ? .....	21
1.23. Kako je definiran Ohmov zakon? .....	21
1.24. Što je pad napona U? .....	21
1.25. Što je gubitak napona? .....	22
1.26. Što je unutarnji pad napona $U_u$ ? .....	22
1.27. Koliki je napon na stezaljkama izvora? .....	22
1.28. Koliki je unutarnji otpor izvora $R_u$ ? .....	23
1.29. I. Kirchhoffov zakon .....	23
1.30. Otpor paralelno spojenih otpora .....	24
1.31. Koje su glavne karakteristike pri paralelnom spajanju izvora? .....	25
1.32. Otpor serijski spojenih otpora .....	25
1.33. Koje su glavne karakteristike u slučaju serijskog spajanja otpora? .....	26
1.34. Koje su glavne karakteristike pri serijskom spajanju izvora? .....	26
1.35. II. Kirchhoffov zakon .....	26
1.36. Sila i u kojim se jedinicama mjeri .....	29
1.37. Električna energija – definicija .....	29
1.38. Električni rad A – definicija .....	30
1.39. Električna snaga P – definicija .....	30
1.40. Što je jedan vat [1W]? .....	30

1.41. Mjerenje električna snage .....	30
1.42. Mjerenje potrošnje električne energije .....	31
1.43. Jouleov zakon .....	31
1.44. Korisnost $\eta$ .....	32
1.45. Eelektroliza .....	32
1.46. I. Faradayev zakon .....	32
1.47. II. Faradayev zakon .....	32
1.48. Galvanostegija .....	32
1.49. Galvanski članak .....	32
1.50. Suhi članak .....	33
1.51. Glavni dijelovi olovnog akumulatora .....	33
1.52. Minimalni napon pražnjenja u slučaju primjene olovnog akumulatora .....	34
1.53. Unutarnji fotoelektrični učinak .....	34
1.54. Termoelektrični efekt .....	34
1.55. Električno polje, električne silnice i homogeno električno polje .....	35
1.56. Homogeno električno polje $E$ .....	35
1.57. Kako djeluje sila $F$ na električno tijelo u električnom polju? .....	36
1.58. Dielektričnost vakuuma $\epsilon_0$ .....	36
1.59. Coulombov zakon .....	36
1.60. Električni kapacitet $C$ .....	37
1.61. Jedinica za mjerenje kapaciteta $C$ .....	37
1.62. Što je jedan farad [F]? .....	37
1.63. Što su to kondenzatori? .....	37
1.64. Karakteristika pločastog kondenzatora .....	37
1.65. Relativna dielektričnost $\epsilon_r$ .....	38
1.66. Proračun kapaciteta kondenzatora .....	38
1.67. Kapacitet paralelno i serijski spojenih kondenzatora .....	38
1.68. Magnetsko polje, magnetske silnice i homogeno magnetsko polje .....	40
1.69. Određivanje smjera magnetskog polja ravnog vodiča .....	40
1.70. Smjer magnetskog polja svitka .....	41
1.71. Definicija: veber [Wb] .....	41
1.72. Definicija: tesla [T] .....	41
1.73. Definicija: amper zavoj .....	41
1.74. Magnetski otpor $R_m$ .....	42
1.75. Permeabilnost vakuuma $\mu_0$ .....	42
1.76. Relativna permeabilnost $\mu_r$ .....	42
1.77. Jakost magnetskog polja $H$ u prstenastom magnetskom krugu .....	42
1.78. Veza između $B$ (magnetske indukcije) i $H$ (magnetskog polja) .....	43
1.79. Krivulja magnetiziranja i petlja histereze .....	43
1.80. Elektromagnet – definicija .....	44
1.81. Sila privlačenja elektromagneta $F$ .....	44
1.82. Elektromagnetska indukcija .....	44
1.83. Određivanje smjera inducirane struje .....	44
1.84. Zakon indukcije .....	45
1.85. Veličina inducirane EMS $E$ .....	45

1.86. Primjena elektromagnetske indukcije.....	46
1.87. I. i II. jednadžba transformatora .....	46
1.88. Gubici transformatora .....	47
1.89. Vrtložne struje .....	47
1.90. Skin-efekt .....	47
1.91. Samoindukcija i međusobna indukcija .....	47
1.92. Induktivitet svitka $L$ [H].....	48
1.93. Henri – definicija [1 H].....	48
1.94. Izračunavanje induktiviteta svitka $L$ .....	48
1.95. Izračunavanje međuintuktiviteta $M$ .....	49
1.96. Inducirana EMS u svicima transformatora .....	49
1.97. Određivanje smjera gibanja vodiča u magnetskom polju .....	49
1.98. Sila gibanja $F$ vodiča u magnetskom polju .....	49
1.99. Kako magnetsko polje djeluje na petlju?.....	50
1.100. Kako se dobiva izmjenična struja?.....	50
1.101. Vektorska predodžba izmjenične struje .....	51
1.102. Sinusna predodžba izmjenične struje i napona .....	51
1.103. Jednadžba izmjenične struje.....	52
1.104. Maksimalna i efektivna vrijednost struje ili napona.....	52
1.105. Glavni dijelovi generatora izmjenične struje .....	53
1.106. Karakteristika omskog otpora $R$ u krugu izmjenične struje.....	54
1.107. Karakteristika induktivnog otpora $X_L$ u krugu izmjenične struje.....	54
1.108. Karakteristika kapacitivnog otpora $X_C$ u krugu izmjenične struje.....	55
1.109. Zbrajane sinusnih veličina .....	56
1.110. Serijski spoj djelatnog i induktivnog otpora u krugu izmjenične struje .....	57
1.111. Razmak impedancija $Z$ za slučaj serijskog spoja djelatnog i induktivnog otpora .....	58
1.112. Serijski spoj djelatnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje.....	58
1.113. Impedancija $Z$ za slučaj serijskog spoja djelatnog i kapacitivnog otpora .....	59
1.114. Serijski spoj djelatnog, induktivnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje.....	59
1.115. Što je impedancija $Z$ kod serijskog spoja omskog, induktivnog i kapacitivnog otpora?... 60	
1.116. Serijska rezonancija .....	61
1.117. Paralelni spoj djelatnog i induktivnog otpora u krugu izmjenične struje .....	62
1.118. Paralelni spoj djelatnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje .....	62
1.119. Paralelna rezonancija .....	63
1.120. Djelatna snaga $P$ pri djelatnom opterećenju.....	63
1.121. Jalova snaga $Q_L$ pri induktivnom opterećenju .....	64
1.122. Jalova snaga $Q_C$ pri kapacitivnom opterećenju .....	65
1.123. Prividna snaga pri djelatnom, kapacitivnom i induktivnom opterećenju .....	65
1.124. Faktor snage $\cos \varphi$ .....	66
1.125. Rad izmjenične struje $W_A$ [Ws] (električna energija).....	66
1.126. Trofazni sustav .....	67
1.127. Transformator u zvijezda-spoju.....	67
1.128. Transformator u trokut-spoju.....	68
1.129. Snaga $P$ trofazne struje .....	68

<b>2. SIGURNOST U PRIMJENI ELEKTRIČNE ENERGIJE .....</b>	<b>69</b>
2.1. Djelovanje električne struje na čovjeka .....	69
2.1.1. Prolaz električne struje kroz tijelo .....	69
2.1.2. Otpor čovječjeg tijela .....	69
2.1.3. Djelovanje električne struje na ljudski organizam .....	70
2.1.4. Granice opasnih napona .....	71
2.2. Vrste opasnosti od električne energije .....	72
2.2.1. Opasnost približavanja vodičima visokog napona.....	72
2.2.2. Indirektni dodir.....	73
2.2.3. Napon dodira i koraka .....	73
2.2.4. Inducirani napon.....	74
2.2.5. Električni luk .....	75
2.2.6. Statički elektricitet (električni naboj).....	75
2.2.7. Atmosferski i sklopni prenaponi.....	75
2.2.8. Utjecaj električnog i magnetskog polja na čovjeka.....	76
<b>3. TEHNIČKA SIGURNOST PRI IZVEDBI POSTROJENJA NN .....</b>	<b>77</b>
3.1. Vrsta distributivnih sustava niskog napona .....	77
3.2. TN, TT i IT sustav .....	78
3.3. Uzemljenja prema namjeni .....	80
3.4. Zaštita od direktnog dodira .....	80
3.5. Skupine zaštitnih mjera.....	81
3.6. Izjednačavanje potencijala.....	81
3.7. Uređaji klase 2.....	81
3.8. Zaštita električnog odvajanja .....	82
3.9. Uređaj diferencijalne struje .....	82
3.10. Uvjeti zaštite na gradilištima .....	82
3.11. Pravila i mjere sigurnosti pri radovima na električnim postrojenjima.....	83
3.11.1. Struktura mjera sigurnosti pri radovima na postrojenjima .....	83
3.11.2. Rukovođenje radovima.....	83
3.11.3. Koliko zaposlenika radi u zoni opasnosti VN postrojenja? .....	84
3.12. Zone opasnosti.....	84
3.12.1. 1. zona – ZONA SLOBODNOG KRETANJA .....	85
3.12.2. 2. zona – ZONA PRIBLIŽAVANJA .....	86
3.12.3. 3. zona – ZONA OPASNOSTI.....	87
3.12.4. Kada je dozvoljen rad u zoni opasnosti .....	88
3.13. Nalog za rad .....	88
3.14. Dozvola za rad .....	89
3.15. Obavijest o završetku radova.....	89
3.16. Mjere sigurnosti u rasklopnim postrojenjima, transformatorskim stanicama i elektranama.....	90
3.16.1. Pregled i nadzor postrojenja.....	90
3.16.2. Oprema montera (stručnjaka) u VN postrojenjima .....	91
3.16.3. Rad za vrijeme loših vremenskih uvjeta.....	92
3.16.4. Prekid rada u postrojenjima.....	92
3.17. Pet pravila za rad u beznaponskom stanju .....	92
3.17.1. Kabeli i kondenzatorske baterijama nakon isključenja .....	93
3.17.2. Utvrđivanje bez naponskog stanja .....	94
3.17.3. Zaštita od dodira dijelova pod naponom .....	94
3.17.4. Zaštita od direktnog (izravnog) dodira .....	95
3.18. Mjere sigurnosti pri radovima na nadzemnim vodovima, kabelima i rad pod naponom ....	95

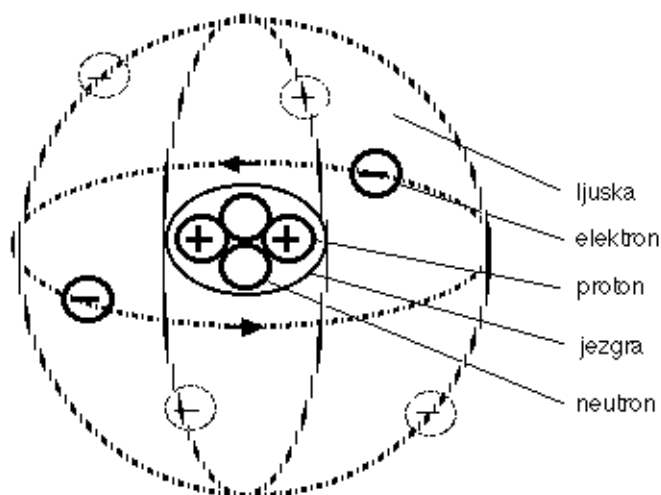
3.18.1. Visokonaponski vodič od dalekovoda srušen na zemlju .....	96
3.19. Mjere sigurnosti pri radu pod naponom.....	96
3.19.1. Presjek vodiča za uzemljenje dalekovoda .....	98
3.19.2. Što treba biti vidljivo s mjesta rada .....	98
3.19.3. Sigurnost pri radovima na nadzemnim vodovima niskog napona .....	99
3.19.4. Rad u zoni drugog paralelnog voda odnosno pri križanja s drugim vodom (visokonaponski vodovi) .....	99
3.19.5. Postupak stavljanja i skidanja uzemljivača .....	100
3.19.6. Postupak pri radovima na starom drvenom stupu.....	100
3.19.7. Utvrđivanje beznaponskog stanja prije radova na elektroenergetskom kabelu ....	101
3.19.8. Rezanje kabela i ostvarenje (realiziranje) beznaponskog stanja.....	101
3.19.9. Dozvoljenost rada pod naponom .....	101
3.20. Mjere sigurnosti pri izradi električnih instalacija .....	102
3.20.1. Električni uređaji i instalacije u prostorima ugroženim eksplozivnim sredstvima ..	103
3.20.2. Opasnost od statičkog elektriciteta .....	104
<b>4. ZAŠTITA OD POŽARA .....</b>	<b>105</b>
<b>5. POSTUPCI PRI PRUŽANJU POMOĆI UNESREĆENOJ OSOBI NAKON „UDARA“ ELEKTRIČNE STRUJE .....</b>	<b>107</b>
<b>6. OSOBNA ZAŠTITNA SREDSTVA.....</b>	<b>109</b>
6.1. Vrste osobnih zaštitnih sredstava .....	109
6.1.1. Sredstva za zaštitu glave.....	109
6.1.2. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu očiju.....	110
6.1.3. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu sluha.....	110
6.1.4. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu dišnih organa .....	111
6.1.5. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu ruku .....	111
6.1.6. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu nogu .....	112
6.1.7. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu tijela.....	112
6.1.8. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu tijela od pada s visine .....	113
6.2. Poslovi s posebnim uvjetima rada .....	114
6.2.1. Na koji se način utvrđuje sposobnost obavljanja radova s posebnim uvjetima.....	114
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>116</b>
<b>8. POPIS SLIKA .....</b>	<b>117</b>



# 1. OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE IZ ELEKTROTEHNIKE

## 1.1. Što je to atom?

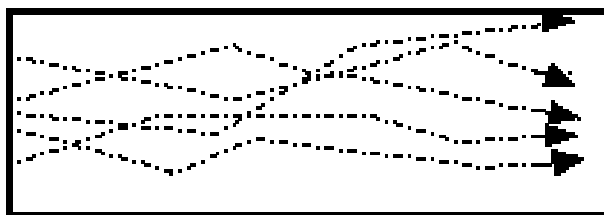
**Atom** je najsitnija čestica elemenata koje se ne može razložiti, a da se pritom ne promjene osnovna svojstva samog elementa. Atom se sastoji od: atomske jezgre i atomske ljuske. Atomska jezgra sastavljena je od protona (nosioci pozitivnog električnog naboja) i neutrona (bez naboja). Atomska ljuska obavića atomsku jezgru i u njoj se nalaze elektroni (negativnog naboja) koji „kruže“ oko atomske jezgre.



Slika 1: Primjer strukture helija

## 1.2. Što je električna struja?

**Električna struja** je usmjereno gibanje slobodnih elektrona od mjesta viška elektrona, višeg električnog potencijala, prema mjestu manjka, nižeg električnog potencijala elektrona.



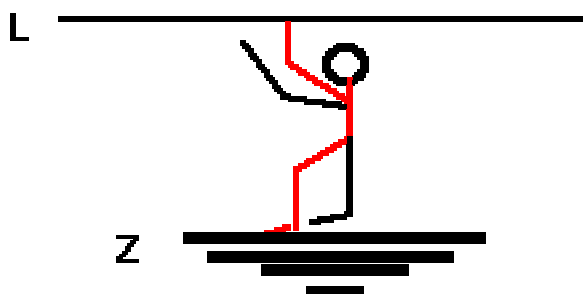
Slika 2: Usmjereno gibanje elektrona

### 1.3. Što je električni vodič?

**Električni vodič** je materijal koji sadrži slobodne elektrone, te stoga provodi električnu struju. Električni vodiči mogu biti metali (zlat, srebro, bakar, aluminij i dr.), ugljen za četkice elektromotora i elektroliti (otopine soli, kiselina i lužina).

### 1.4. Što su električni izolatori?

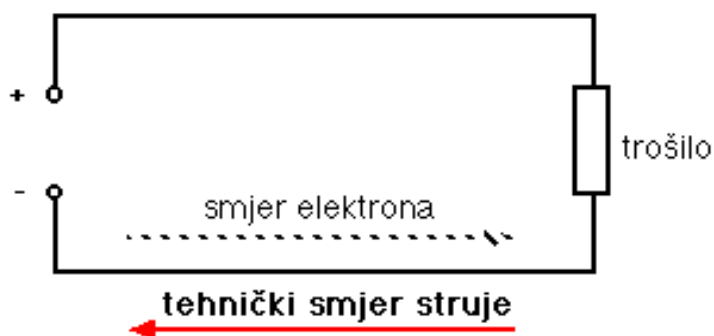
**Električni izolatori** su materijali koji nemaju slobodnih elektrona te stoga ne provode električnu struju. Električni izolatori mogu biti neorganskog podrijetla (porculan, staklo, mramor, azbest i dr.) i organskog podrijetla (guma, papir, prešpan, fiber, pamuk, PVC mase i dr.).



Slika 3: Električna struja opasna po život (crveno je smjer protoka struje kroz ljudsko tijelo od faznog vodiča L prema zemlji Z)

### 1.5. Što je električni strujni krug?

**Električni strujni krug** dobiva se kada se električni izvor spoji vodičem na trošilo, a tada se elektroni gibaju od negativnog pola prema pozitivnom polu izvora, tj. poteći će električna struja. Tehnički smjer električne struje je od pozitivnog prema negativnom polu izvora.



Slika 4: Smjer struje i elektrona



## 1.6. Što je jakost električne struje I?

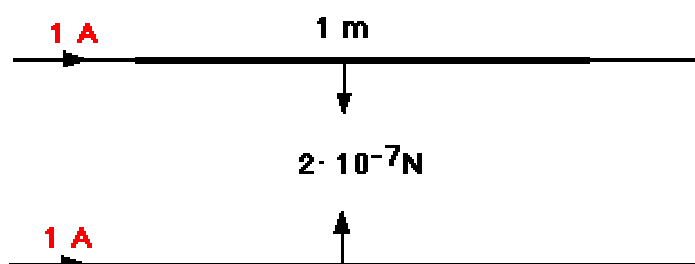
**Jakost električne struje I** je množina elektrona koja za vrijeme jedne sekunde prođe kroz dio strujnog kruga.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

pri čemu su Q količina naboja (As), a t vrijeme (s).

## 1.7. Što je jedan amper [1A]?

**Jedan amper [1A]** je jedinica za mjerenje jakosti struje, a definira se kao ona struja koja pri prolazu kroz dva vrlo dugačka i tanka paralelna vodiča, međusobno udaljena jedan metar, stvara oko njih magnetska polja koja međusobno djeluju silom od  $2 \cdot 10^{-7}$  njutna po metru svoje duljine.



Slika 5: Definicija ampera

## 1.8. Što je količina elektriciteta Q?

**Količina elektriciteta Q** je umnožak jakosti struje kroz vodič I [A] i određenog vremena t [s], a jedinica za mjerenje je [1As] ili kulon [1C]:

$$Q = I \cdot t$$

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Kolika je količina elektriciteta prošla kroz glačalo ako teče struja 4,54 A za vrijeme od 1 sata?

$$I = 4,54 \text{ A}$$

$$t = 1 \text{ h}$$

$$Q = ?$$

$$Q = I \cdot t$$

$$Q = 4,54 \cdot 3600 = 16344 \text{ As} = 4,54 \text{ Ah}$$

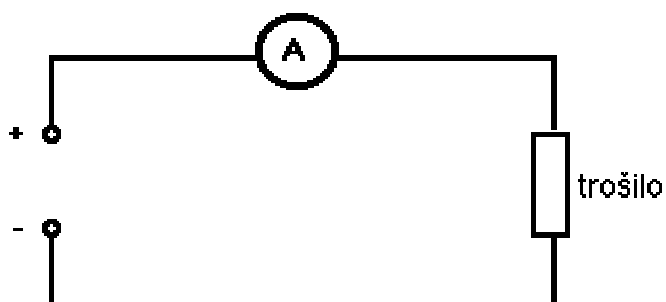
## 1.9. Što je gustoća struje?

**Gustoća struje  $J$**  je odnos jakosti struje  $I$  [A] i površine presjeka vodiča  $S$  [m<sup>2</sup>], a jedinica za mjerenje je amper po kvadratnom metru:

$$J = I(A)/S(m^2)$$

## 1.10. Kako se mjeri jakost struje?

**Jakost električne struje mjeri se ampermetrom.** Upotrebljavaju se: termički ampermetar, ampermetar s pomičnim željezom, ampermetar s pomičnim svitkom i dr. Ampermetar se uvijek spaja u strujnom krugu serijski budući da ima relativno mali unutarnji otpor.



Slika 6: Spajanje ampermetra (serijski spoj)

## 1.11. Što je elektromotorna sila EMS?

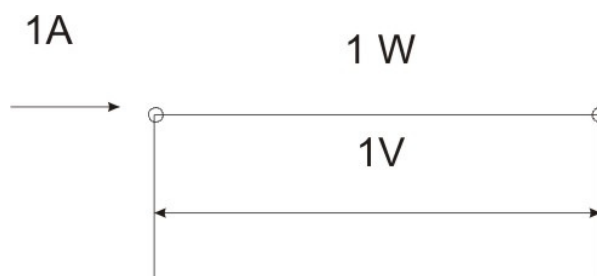
**Elektromotorna sila EMS** izvora je količina energije koju električni izvor može dati jedinici naboja. (Ws/kWh).

## 1.12. Što je električni napon $U$ ?

**Električni napon  $U$**  je dio elektromotorne sile koji djeluje u strujnom krugu, a predočava razliku potencijala između dvije različite točke potencijala u strujnom krugu.

## 1.13. Što je jedan volt [1V]?

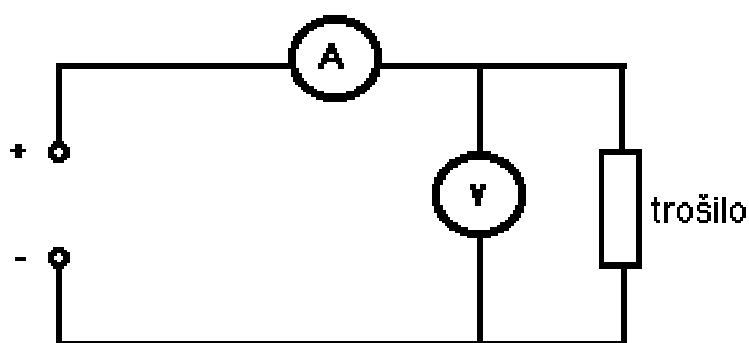
**Jedan volt [1V]** je napon između dviju točaka kojim teče konstantna struja jakosti 1 A ako se pritom troši snaga jednog vata.



Slika 7: Definicija pojma 1 volt

### 1.14. Kako se mjeri napon?

**Napon se mjeri voltmetrom.** Voltmetar je prema svojoj konstrukciji potpuno jednak ampermetru, ali se uvijek u strujnom krugu spaja paralelno budući da ima veliki unutarnji otpor.



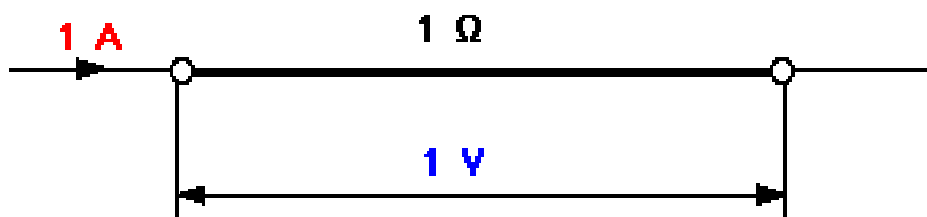
Slika 8: Spajanje ampermetra i voltmetra (principna shema)

### 1.15. Što je djelatni električni otpor $R$ ?

**Djelatni električni otpor  $R$**  je otpor kojim se materijal suprotstavlja prolazu elektrona.

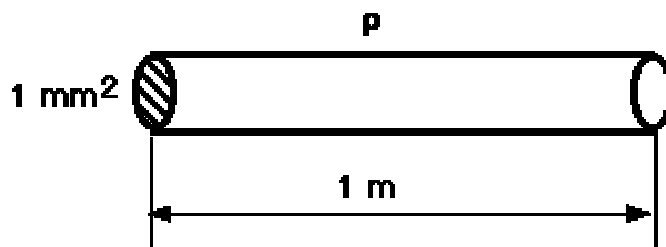
### 1.16. Što je jedan ohm [ $\Omega$ ]?

**Jedan ohm [ $\Omega$ ]** je otpor kroz koji napon od jednog volta uzrokuje struju jakosti jednog ampera.

Slika 9: Definicija pojma jedan ohm( $\Omega$ )

### 1.17. Što je specifični otpor materijala $\rho$ ?

Specifični otpor materijala  $\rho$  [ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ] je otpor materijala koju uzrokuje materijal duljine  $l = 1$  m, presjeka  $S = 1$   $\text{mm}^2$  pri  $20^\circ\text{C}$ .



Slika 10: Definicija specifičnog otpora materijala

### 1.18. Kako se proračunava otpor vodiča $R$ ?

Proračun otpora vodiča  $R$  dan je jednadžbom:

$$R = \frac{\rho l}{S} (\Omega)$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je otpor vodiča duljine  $l = 100$  m, od bakra  $\rho = 0,0175$  ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) i presjeka  $S = 1,5$   $\text{mm}^2$ ?

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 100}{1,5} = 1,166 [\Omega]$$

### 1.19. Što je električna vodljivost $G$ ?

Električna vodljivost  $G$  je recipročna vrijednost električnog otpora, a jedinica za mjerenje je simens [S].

$$G = \frac{1}{R} [\text{S}]$$

### 1.20. Što je specifična vodljivost $\kappa$ ?

Specifična vodljivost  $\kappa$  [ $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$ ] je recipročna vrijednost specifičnog otpora.

$$\kappa = 1/\rho$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki presjek  $S$  treba imati bakreni vodič duljine  $l = 100$  m, a da mu je otpor  $R = 1,166$   $\Omega$ ?

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \Rightarrow S = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0,0175 \cdot 100}{1,166} = 1,5 \text{ mm}^2$$

### 1.21. Što je temperaturni koeficijent $\alpha$ ?

**Temperaturni koeficijent  $\alpha$**  je broj koji pokazuje za koliko se promijenio  $1 \Omega$  otpora nekog materijala pri promjeni temperature za  $1^\circ \text{C}$ .

### 1.22. Kako se proračunava "topli otpor" $R_t$ ?

Proračun "toplinskog otpora"  $R_t$  dat je jednačinom:

$$R_t = R_h (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta)$$

gdje je  $R_h$  tzv. "hladni otpor",  $\alpha$  temperaturni koeficijent,  $\Delta \vartheta$  temperaturna razlika.

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Bakreni vodič ima pri  $20^\circ \text{C}$  otpor  $1,166 \Omega$ . Koliki je njegov otpor ako se ugrije na  $65^\circ \text{C}$  ( $\alpha$  za bakar iznosi  $0,0039$ )?

$$R_t = R_h (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta) = 1,166 (1 + 0,0039 \cdot 45) = 1,370 \Omega$$

### 1.23. Kako je definiran Ohmov zakon?

**Ohmov zakon** definiran je tako da je jakost struje razmjerna s naponom, a obrnuto razmjerna s otporom.

$$I[\text{A}] = \frac{U[\text{V}]}{R[\Omega]}$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Pri naponu od  $220 \text{ V}$  kroz glačalo struja je jakosti  $4,54 \text{ A}$ . Koliki je otpor glačala?

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{4,54} = 48,45 \Omega$$

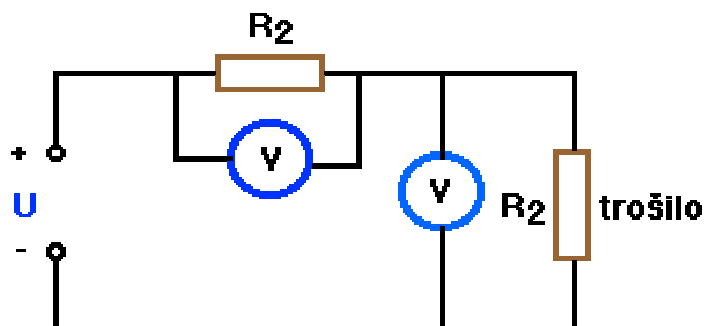
### 1.24. Što je pad napona $U$ ?

**Pad napona  $U$**  je dio napona potrošen u pojedinom otporu, a razmjernan je s jačinom struje  $i$  veličinom otpora, a to je prema Ohmovom zakonu:

$$U = I \cdot R$$

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Na shemi (Slika 11) otpornici R1, R2 iznose svaki 48,45 Ω, a struja u strujnom krugu iznosi I = 2,26 A. Koliki su padovi napona u pojedinim otpornicima?



Slika 11: Primjer za proračun pada napona

$$U_1 = I \cdot R_1 = 2,26 \cdot 48,45 = 109,49 \text{ V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 2,26 \cdot 48,45 = 109,49 \text{ V}$$

$$\text{Ukupni napon } U = U_1 + U_2 = 109,49 \cdot 2 = 218,96 \text{ V}$$

### 1.25. Što je gubitak napona?

**Gubitak napona** je pad napona u vodovima kao beskoristan gubitak energije.

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je gubitak napona U na vodu duljine l = 100 m, od bakra  $\rho = 0,0175 \text{ } (\Omega\text{mm}^2/\text{m})$  i presjeka S = 1,5 mm<sup>2</sup>, ako provodi struju jakosti 2,26 A?

$$U = I \cdot R$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 100}{1,5} = 1,166 [\Omega]$$

$$U = I \cdot R = 2,26 \cdot 1,166 = 2,635$$

### 1.26. Što je unutarnji pad napona Uu?

**Unutarnji pad napona Uu** je pad napona na unutarnjem otporu izvora, a predložen je jednadžbom:

$$U_u = I \cdot R_u$$

### 1.27. Koliki je napon na stezaljkama izvora?

**Napon na stezaljkama izvora** jednak je elektromotornoj sili izvora umanjenoj za pad napona u izvoru, a predložen je jednadžbom:

$$U = E - I \cdot R_u$$

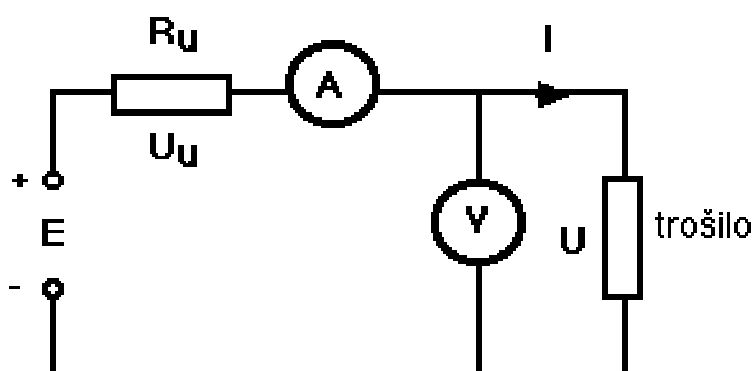
## 1.28. Koliki je unutarnji otpor izvora $R_u$ ?

Unutarnji otpor izvora  $R_u$  predočen je jednačbom:

$$R_u = \frac{E - U}{I}$$

### Primjer zadataka za bolje razumijevanje

Koliki je napon na trošilu  $U$  i unutarnji pad napona  $U_u$ , ako je elektromotorna sila galvanskog članka  $E = 1,6 \text{ V}$ , unutarnji otpor članka  $R_u = 0,3 \Omega$ , a struja kroz trošilo iznosi  $I = 1,5 \text{ A}$ ?



Slika 12: Shema električnog kruga za izračun unutarnjeg otpora kruga

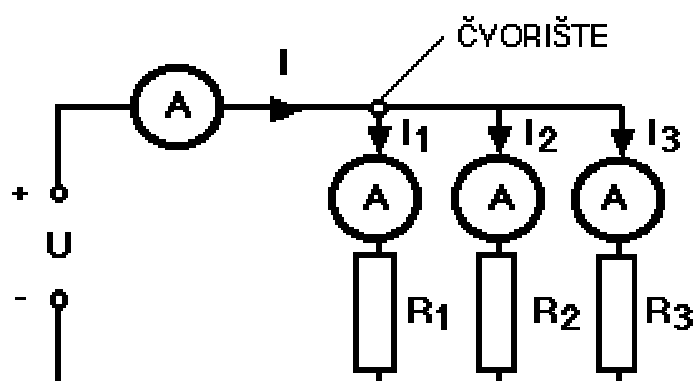
$$R_u = \frac{E - U}{I}$$

$$U = E - R_u \cdot I = 1,6 - 0,3 \cdot 1,5 = 1,15 \text{ V}$$

$$U_u = I \cdot R_u = 1,5 \cdot 0,3 = 0,45 \text{ V}$$

## 1.29. I. Kirchhoffov zakon

**I. Kirchhoffov zakon** – definira se: zbroj svih struja koje ulaze u neko čvorište jednak je zbroju svih struja koje izlaze iz čvorišta, primjer na Slici 13:



Slika 13: Shema za definiciju I. Kirchhoffovog zakona

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Prema shemi na Slici 13 zadane su struje  $I_1 = 2,5 \text{ A}$ ,  $I_2 = 5 \text{ A}$  i  $I = 10 \text{ A}$ . Kolika je struja kroz otpor  $R_3$ ?

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_3 = I - I_1 - I_2 = 10 - 2,5 - 5 = 2,5 \text{ A}$$

### 1.30. Otpor paralelno spojenih otpora

**Ukupni otpor paralelno spojenih otpora** definiran je jednačbom kao: recipročna vrijednost ukupnog otpora jednaka je zbroju recipročnih vrijednosti pojedinih otpora.

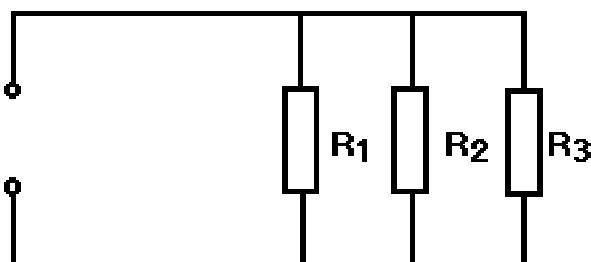
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

**Ukupni otpor dva paralelno spojena otpora** iznosi:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je ukupni otpor  $R$  paralelno spojenih djelatnih otpora prema Slici 14, ako je  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 4 \Omega$ ?

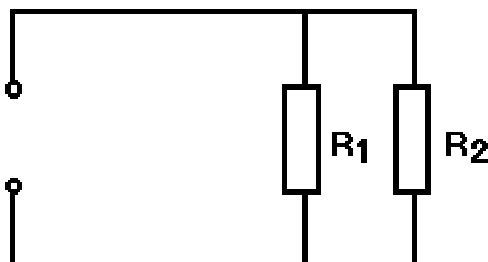


Slika 14: Primjer određivanja iznosa 3 paralelno spojena djelatna otpora

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1\Omega$$

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je ukupni otpor  $R$  paralelno spojenih djelatnih otpora prema Slici 15, ako je  $R_1 = 210 \Omega$ ,  $R_2 = 210 \Omega$ ?



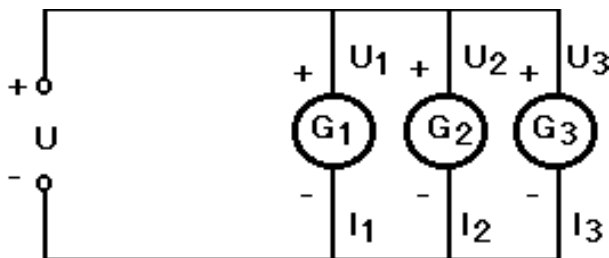
Slika 15: Primjer određivanja iznosa 2 paralelno spojena djelatna otpora



$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{210 \cdot 210}{210 + 210} = 105 \Omega$$

### 1.31. Koje su glavne karakteristike pri paralelnom spajanju izvora?

Pri **paralelnom spajanju izvora** ukupni napon jednak je naponu pojedinog izvora, ukupna struja jednaka je zbroju struja koje daju pojedini izvori i ukupni unutarnji otpor izvora smanjuje se budući da su paralelno spojeni, a predloženo je na Slici 16.



Slika 16: Paralelno spojeni izvori

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je napon  $U$  i struja  $I$  (prema Slici 16), ako su naponi  $U_1$ ,  $U_2$  i  $U_3$  vrijednosti 1,5 V, a struje  $I_1$ ,  $I_2$  i  $I_3$  vrijednosti 0,2 A?

$$U = 1,5 = 1,5 = 1,5 = 1,5 \text{ V}$$

$$I = 0,2 + 0,2 + 0,2 = 0,6 \text{ A}$$

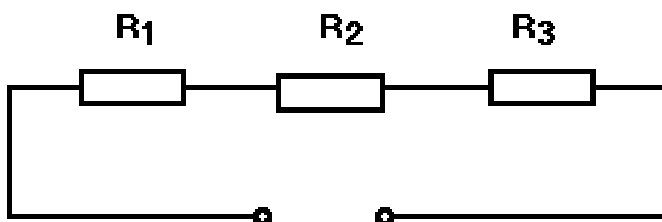
### 1.32. Otpor serijski spojenih otpora

Ukupni otpor serijski spojenih otpora jednak je zbroju pojedinih otpora.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je ukupni otpor  $R$  serijski spojenih otpora prema Slici 17, ako je  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 4 \Omega$   $R_3 = 6 \Omega$ ?



Slika 17: Primjer serijski spojenih otpornika

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 4 + 6 = 12 \Omega$$

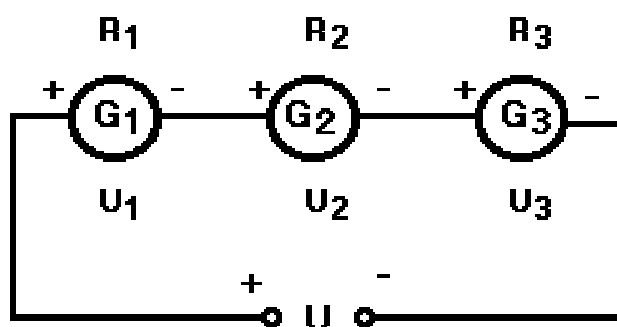
$$U = I \cdot R = (I \cdot (R_1 + R_2 + R_3))$$

### 1.33. Koje su glavne karakteristike u slučaju serijskog spajanja otpora?

Glavne karakteristike pri **serijskom spajanju otpora** su: kroz svako trošilo prolazi jednaka struja i prekid u jednom trošilu prekida cijeli strujni krug.

### 1.34. Koje su glavne karakteristike pri serijskom spajanju izvora?

Pri **serijskom spajanju izvora** ukupni napon jednak je zbroju napona pojedinih izvora, struja ne smije biti veća od dozvoljene struje najslabijeg izvora i ukupni unutarnji otpor izvora jednak je zbroju unutarnjih otpora pojedinih izvora (predočeno na Slici 18).



Slika 18: Serijsko spajanje izvora električne energije

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

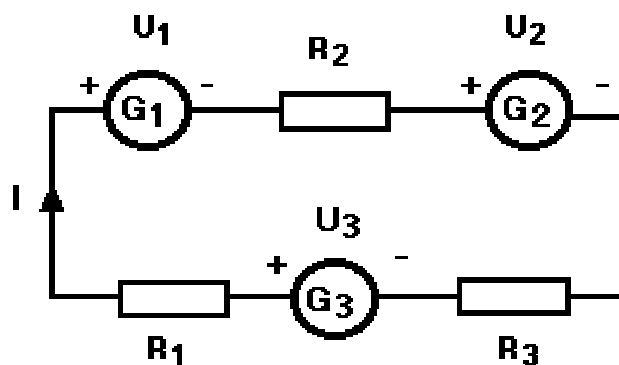
### 1.35. II. Kirchhoffov zakon

**II. Kirchhoffov zakon** – definira se: zbroj svih elektromotornih sila u zatvorenom strujnom krugu jednak je zbroju svih padova napona u tom krugu.

$$\Sigma E = \Sigma U$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Prema Slici 19 i pomoću II. Kirchhoffovog zakona treba izračunati struju  $I$  u zatvorenom strujnom krugu, gdje su naponi elektromotornih sila  $U_1$ ,  $U_2$  i  $U_3$  vrijednosti 1,5 V i vrijednosti otpora  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  svaki po 1,5  $\Omega$ .



Slika 19: Primjer za definiranje II. Kirchhoffovog zakona

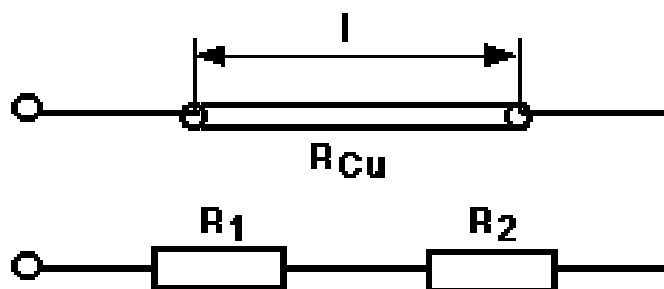
$$\Sigma E = \Sigma U$$

$$U_1 + U_2 - U_3 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$

$$1,5 + 1,5 - 1,5 = I (1,5 + 1,5 + 1,5)$$

$$I = 1,5 : 4,5 = 0,33 \text{ A}$$

Koliki je ukupni otpor  $R_u$  el. kruga prema shemi (Slika 20), ako je u krugu bakreni vodič duljine  $l = 10 \text{ m}$  i presjeka  $S = 1,5 \text{ mm}^2$  kao i otpori  $R_1 = 125 \Omega$ ,  $R_2 = 25 \Omega$ ?

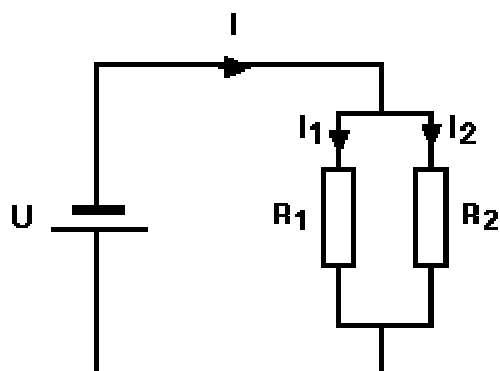


Slika 20: Primjer određivanja ukupnog djelatnog otpora u serijskom krugu

$$R_{cu} = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 10}{1,5} = 0,11 [\Omega]$$

$$R_u = R_{Cu} + R_1 + R_2 = 0,11 + 125 + 25 = 150,11 [\Omega]$$

Kolika je struja  $I_1$  i  $I_2$  prema el. shemi na Slici 21 ako je  $U = 1,5 \text{ V}$ ,  $R_1 = 8 \Omega$  i  $R_2 = 8 \Omega$ ?

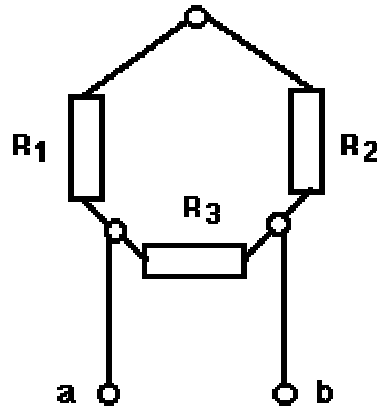


Slika 21: Električna shema za određivanje struja za paralelno spojenih djelatnih otpora

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4\Omega \quad I = \frac{U}{R} = \frac{1,5}{4} = 0,375A$$

$$I_1 = \frac{1,5}{8} = 0,187 \quad I_2 = I_1 = 0,187A$$

Koliki je ukupni otpor između točaka a i b ako je  $R_1 = R_2 = 10\Omega$  i ako je  $R_3 = 20\Omega$ ?

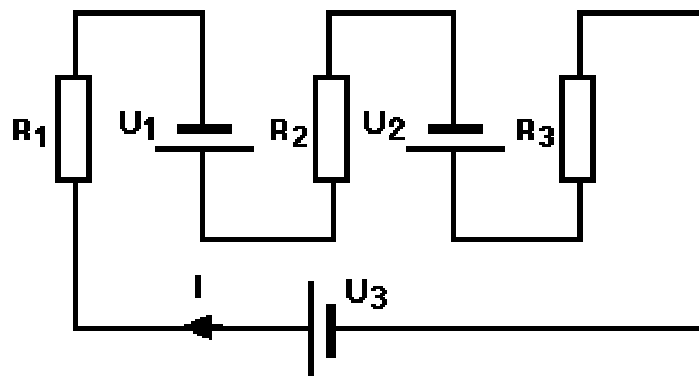


Slika 22: Električna shema za određivanje ukupnog djelatnog otpora u tzv. kombinaciji

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 20\Omega$$

$$R_{ab} = \frac{R_{12} \cdot R_3}{R_{12} + R_3} = \frac{20 \cdot 20}{20 + 20} = 10\Omega$$

Korištenjem II. Kirchhoffovog zakona treba izračunati struju  $I$  u zatvorenom strujnom krugu, gdje su naponi elektromotornih sila  $U_1$ ,  $U_2$  i  $U_3$  vrijednosti  $1,5\text{ V}$  i vrijednosti otpora  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  svaki po  $1,5\Omega$ ?



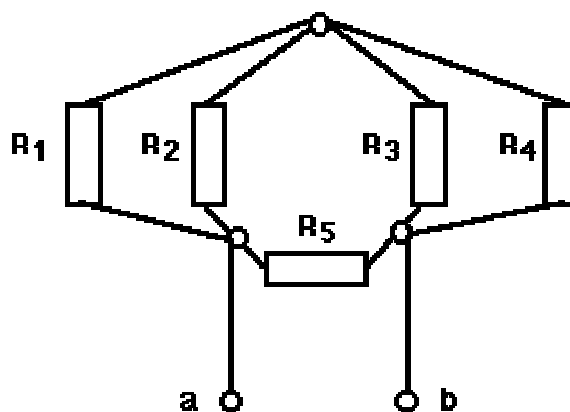
Slika 23: II. Kirchhoffov zakon (primjer)

$$U_1 + U_2 + U_3 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$$

$$1,5 + 1,5 + 1,5 = I(1,5 + 1,5 + 1,5)$$

$$I = 4,5 : 4,5 = 1\text{ A}$$

Koliki je ukupni otpor između točaka a i b ako je  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\Omega$  i ako je  $R_5 = 20\Omega$ ?



Slika 24: Primjer određivanja ukupnog otpora električnog kruga u složenoj kombinaciji

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5\Omega$$

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5\Omega$$

$$R_{1234} = R_{12} + R_{34} = 10\Omega$$

$$R_{ab} = \frac{R_{1234} \cdot R_5}{R_{1234} + R_5} = \frac{10 \cdot 20}{10 + 20} = 6,66\Omega$$

### 1.36. Sila i u kojim se jedinicama mjeri

**Sila** je uzrok svakoj promjeni stanja tijela. **Jedinica za mjerenje sile** je njutn. Jedan **njutn** je sila koja masi od jednog kilograma daje ubrzanje od jednog metra u sekundi na kvadrat.

$$(\text{kgm}^2 / \text{s}^2) \rightarrow mgh \rightarrow \frac{mv^2}{2} \rightarrow \text{kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

### 1.37. Električna energija – definicija

**Električna energija** daje električnoj struji sposobnost da može realizirati rad. Energija je sposobnost obavljanja rada. Ishodište joj je u materiji. Ne daje se ni iz čega stvoriti niti uništiti. Imamo više oblika energije:

- nuklearna energija,
- kemijska energija,
- unutarnja toplinska energija,
- potencijalna energija,
- kinetička energija,

- prelazna energija (mehanička, električna, toplinska i svjetlosna).

### 1.38. Električni rad A – definicija

**Električni rad A** ovisan je o naponu U, jakosti struje I i vremenu t, što je predočeno jednadžbom:

$$A = U \cdot I \cdot t \text{ [J] ili [Ws]}$$

### 1.39. Električna snaga P – definicija

**Električna djelatna snaga P** je električni rad realiziran u jedinici vremena, što je dato jednadžbom:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$$

$$P = I \cdot U \text{ [W]}$$

$$P = I^2 R \quad P = \frac{U^2}{R} \text{ [W]}$$

### 1.40. Što je jedan vat [1W]?

**Jedan vat [1W]** je jedinica za mjerenje električne snage trošila, a definira se: jedan vat je snaga trošila ako kroz njega teče struja jakosti jednog ampera pri naponu od jednog volta.

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

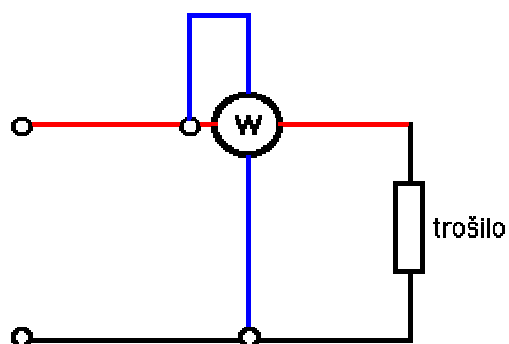
Ako je snaga električnog glačala  $P = 1000 \text{ W}$  i napon na glačalu  $U = 220 \text{ V}$ , kolika je struja I i koliki je otpor R trošila?

$$P = I \cdot U \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{1000}{220} = 4,54 \text{ A}$$

$$P = I^2 R \text{ [W]} \Rightarrow R = \frac{P}{I^2} = \frac{1000}{20,61} = 48,52 \text{ } \Omega$$

### 1.41. Mjerenje električna snage

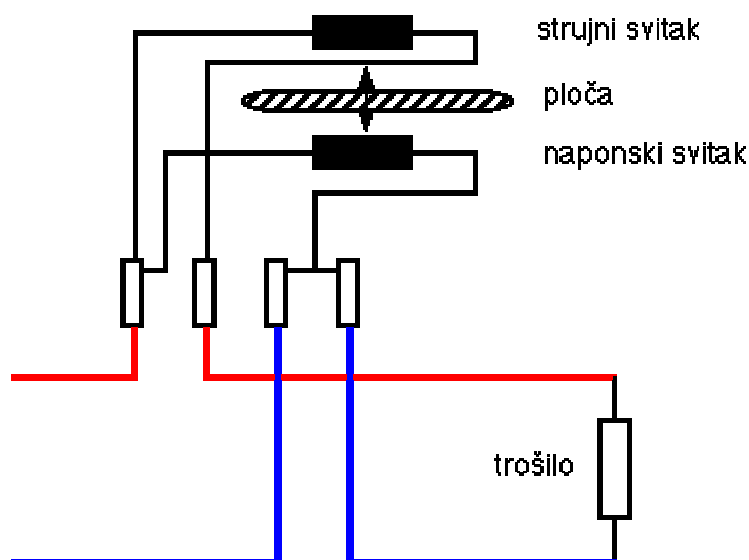
**Mjerenje električne snage** u osnovi mjeri se vatmetrom koji ima naponsku i strujnu granu, kao na Slici 25.



Slika 25: Temeljni princip mjerenja električne snage

## 1.42. Mjerenje potrošnje električne energije

Mjerenje električnog rada ili mjerenje potroška električne energije vrši se pomoću električnog brojila, a jedinica mjerenja je [kWh] sukladno principijelnoj shemi predloženoj na Slici 26.



Slika 26: Principijelna shema mjerenja električne energije

## 1.43. Jouleov zakon

**Jouleov zakon** definira količinu topline  $Q$  [J] (đuli) koja je razmjerna veličini struje, naponu i vremenu, a prema jednadžbi:

$$Q = U \cdot I \cdot t \text{ [J] ili [Ws]}$$

### Primjer zadataka za bolje razumijevanje

Koliko topline nastane u glačalu otpora  $R = 48,52 \Omega$ , ako je struja jakosti  $I = 4,54 \text{ A}$  za vrijeme  $t = 1 \text{ sat}$ ?

$$Q = U \cdot I \cdot t = I \cdot R \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = 4,54^2 \cdot 48,520 \cdot 3600 = 3600269 \text{ [J]}$$

### 1.44. Korisnost $\eta$

Korisnost  $\eta$  je ekonomičnost uređaja a definira se koeficijentom iskoristivosti koji se naziva korisnost:

$$\eta = \frac{\text{dobivena.energija}}{\text{privedena.energija}} < 1$$

### 1.45. Eelektroliza

**Elektroliza** je rastavljanje kemijskih spojeva na sastavne dijelove pomoću električne struje.

### 1.46. I. Faradayev zakon

**I. Faradayev zakon** definira: količina izlučene tvari iz nekog elektrolita razmjerna je s količinom struje koja prođe kroz taj elektrolit.

### 1.47. II. Faradayev zakon

**II. Faradayev zakon** definira: u slučaju dviju posuda s različitim elektrolitima koje su serijski spojene i priključene na izvor, količina tvari koje se izluče iz različitih elektrolita razmjerne su elektrokemijskim ekvivalentima tih tvari.

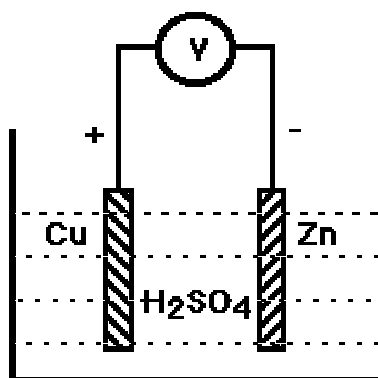
### 1.48. Galvanostegija

**Galvanostegija** je elektrolitski postupak pri kojem se predmete manje vrijednog metala prevlači tankim slojem vrednijeg metala (niklovanje, kromiranje, pobakrivanje, kositrenje, pozlaćivanje i slično).

### 1.49. Galvanski članak

**Galvanski članak** je kombinacija elektrolita i dviju različitih metalnih elektroda između kojih dolazi do razlike potencijala (primjer na Slici 27).

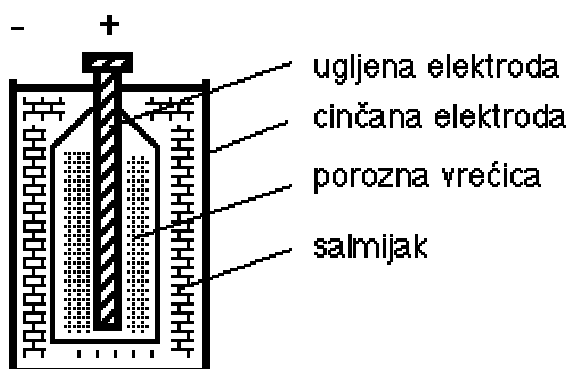




Slika 27: Primjer galvanskog članka

### 1.50. Suhi članak

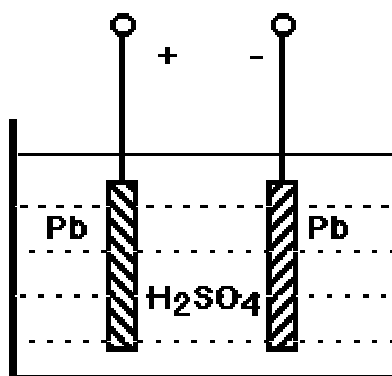
**Suhi članak** je istosmjerni izvor od cinčanog kućišta (- elektroda), ugljene elektrode (+ elektrode) u poroznoj vrećici i kao elektrolit služi salmijak u posebnom stanju (kao prema Slici 28).



Slika 28: Primjer suhog članka

### 1.51. Glavni dijelovi olovnog akumulatora

**Dijelovi olovnog akumulatora** su: kućište, olovne ploče i elektrolit sumporne kiseline (kao prema Slici 29 koja predočava akumulator prije punjenja).



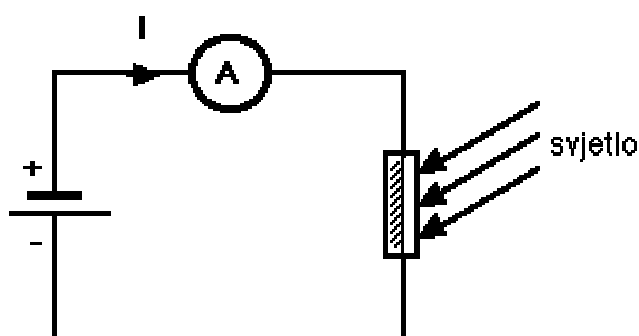
Slika 29: Princip olovnog akumulatora

### 1.52. Minimalni napon pražnjenja u slučaju primjene olovnog akumulatora

Minimalni napon pražnjenja u slučaju primjene olovnog akumulatora ne smije pasti ispod 1,83 V.

### 1.53. Unutarnji fotoelektrični učinak

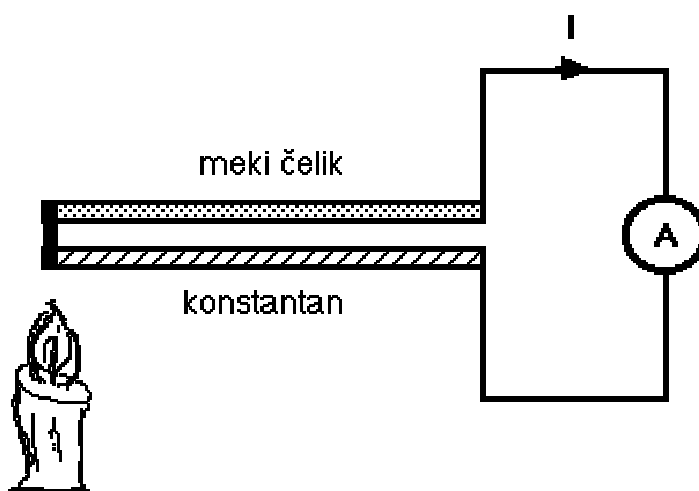
Unutarnji fotoelektrični učinak je pojava da se osvjetljavanjem (zračenjem) nekih materijala iz njihovih atoma oslobađaju elektroni i time povećavaju njihovu vodljivost (kao prema Slici 30).



Slika 30: Predočenje unutarnjeg fotoelektričnog učinka

### 1.54. Termoelektrični efekt

Termoelektrični efekt je emitiranje elektrona kod zagrijavanja metala, a materijali se zovu **termo elementi** (prikazano Slikom 31).



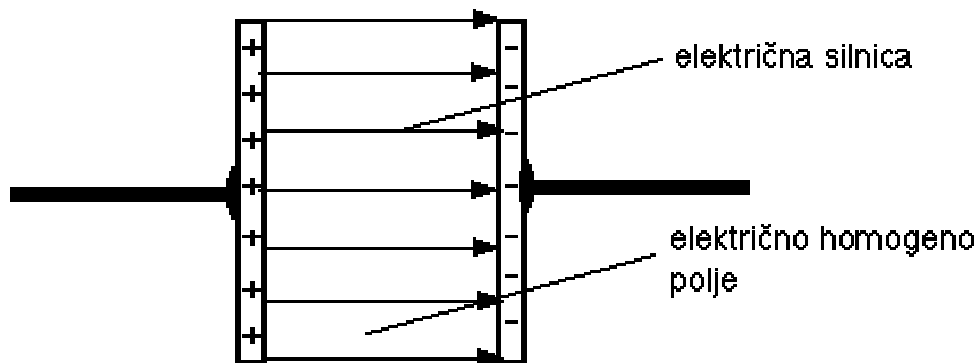
Slika 31: Predočenje fotoelektričnog učinka

### 1.55. Električno polje, električne silnice i homogeno električno polje

**Električno polje** je dio prostora oko električnog naboja u kojem postoje sile koje djeluju na druge naboje.

**Električne silnice** ukazuju na smjer i veličinu djelovanja sila.

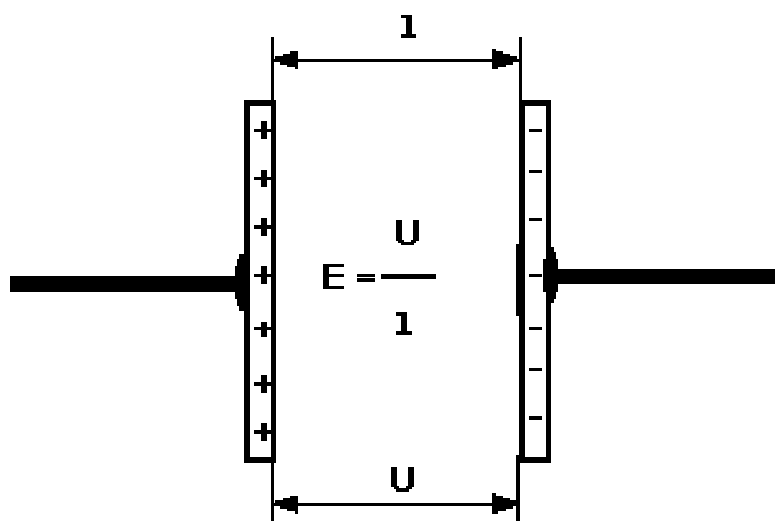
**Homogeno električno polje** je, kada je prostor između paralelnih električki nabijenih ploča ispunjen međusobno paralelnim silnicama (predočeno Slikom 32).



Slika 32: Pojam homogenog električnog polja – pojednostavljeno

### 1.56. Homogeno električno polje E

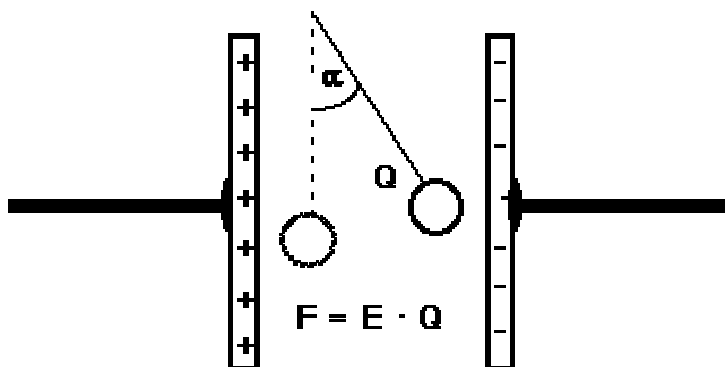
**Jakost homogenog električnog polja E** prikazana je jednadžbom, a to je veća što je veći napon  $U$  [V] između ploča i manja njihova međusobna udaljenost.  $l$  [m], kao na Slici 33. Jedinica za mjerenje jakosti električnog polja je [V/m].



Slika 33: Primjer definicije električnog polja

### 1.57. Kako djeluje sila $F$ na električno tijelo u električnom polju?

Sila  $F$  [N] na električno tijelo u električnom polju djeluje tako da ovisi o jakosti polja  $E$  [V/m] i o veličini naboja na tom tijelu  $Q$  [C] (predočeno Slikom 34).



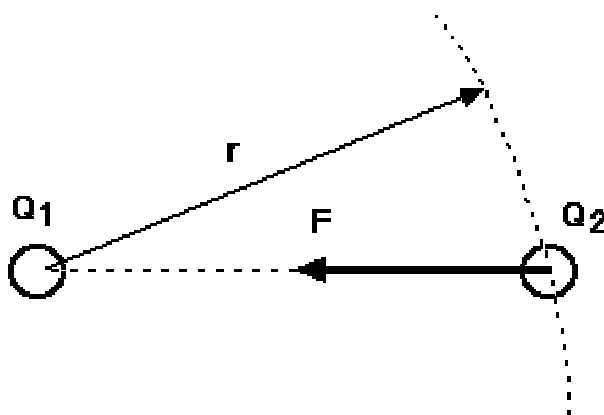
Slika 34: Definicija električne sile

### 1.58. Dielektričnost vakuuma $\epsilon_0$

Dielektričnost vakuuma  $\epsilon_0$  je konstanta:  $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$  [C/ Vm].

### 1.59. Coulombov zakon

Coulombov zakon definira se tako da dva električna naboja djeluju jedan na drugoga silom  $F$  koja je razmjerna s veličinom tih naboja, a obrnuto je razmjerna s kvadratom njihove međusobne udaljenosti (kao prema Slici 35).



Slika 35: Uz definiciju Columbovog zakona

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon r^2} \text{ [N]}$$

## 1.60. Električni kapacitet C

**Električni kapacitet C** je razmjernan količini naboja nekog tijela Q koji je potreban da se tom tijelu povisi potencijal V za jedan volt:

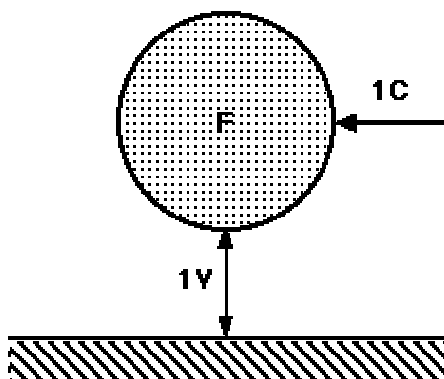
$$C = \frac{Q}{V}$$

## 1.61. Jedinica za mjerenje kapaciteta C

**Jedinica za mjerenje kapaciteta C** je farad [F].

## 1.62. Što je jedan farad [F]?

**Jedan farad [F]** je kapacitet tijela kojemu treba dovesti količinu elektriciteta od jednog kulona, a da bi mu se povisio potencijal za jedan volt (kao prema Slici 36).



Slika 36: Uz definiciju „jedan farad,“

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki naboj primi kondenzator  $C = 8 \mu\text{F}$  kad ga se priključimo na  $U = 220 \text{ V}$ ?

$$Q = C \cdot U = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 1760 \cdot 10^{-6} [\text{C}]$$

## 1.63. Što su to kondenzatori?

**Kondenzatori su** uređaji relativno velikog kapaciteta koji mogu primiti znatnu količinu elektriciteta.

## 1.64. Karakteristika pločastog kondenzatora

**Karakteristika pločastog kondenzatora** je: kapacitet je obrnuto razmjernan s razmakom ploča  $l$ , a razmjernan je površini ploča  $S$  i povećava se ako se između ploča umjesto zraka stavi drugi izolator.

## 1.65. Relativna dielektričnost $\epsilon_r$

**Relativna dielektričnost  $\epsilon_r$**  je broj koji nam pokazuje koliko se puta poveća kapacitet nekog kondenzatora ako se među njegove ploče umjesto zraka stavi izolator.

## 1.66. Proračun kapaciteta kondenzatora

Proračun kapaciteta kondenzatora dat je jednadžbom:

$$C = \frac{\epsilon_r * \epsilon_0 * S}{l} [F]$$

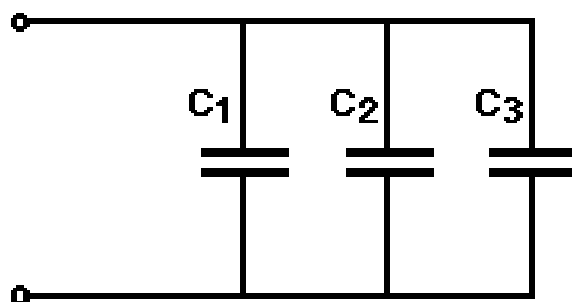
### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je kapacitet kondenzatora  $C$ , ako je površina ploča  $S = 80 \text{ cm}^2$ , međusobna udaljenost  $l = 2 \text{ mm}$  i ako je između ploča pertinax  $\epsilon_r = 4$ ?

$$C = \frac{\epsilon_r * \epsilon_0 * S}{l} [F] = \frac{4 * 8,86 * 10^{-12} * 0,0080}{0,002} = 141,76 * 10^{-12} [F]$$

## 1.67. Kapacitet paralelno i serijski spojenih kondenzatora

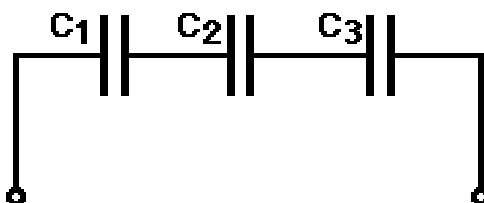
**Ukupni kapacitet paralelno spojenih kondenzatora** jednak je zbroju kapaciteta pojedinih kondenzatora:



Slika 37: Paralelni spoj kondenzatora

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

**Ukupni kapacitet serijski spojenih kondenzatora** jednak je zbroju recipročnoj vrijednosti kapaciteta serijski spojenih kondenzatora.

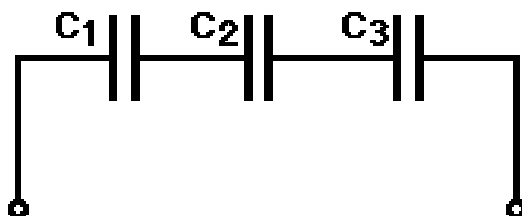


Slika 38: Serijski spoj kondenzatora

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

**Primjer zadatka za bolje razumijevanje**

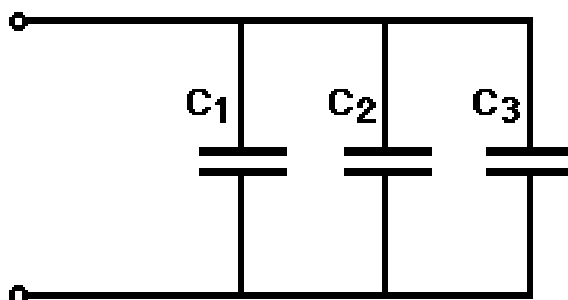
Koliki je ukupni kapacitet kondenzatora C, prema Slici 39, ako je  $C_1 = 2 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 1 \mu\text{F}$ ?



Slika 39: Serijski spoj kondenzatora

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = 2 \Rightarrow C = 0,5\mu\text{F}$$

Koliki je ukupni kapacitet kondenzatora C, prema Slici 40, ako je  $C_1 = 2 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 1 \mu\text{F}$ ?

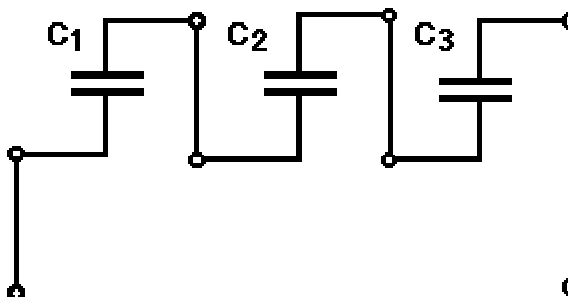


Slika 40: Serijski spoj tri kondenzatora – primjer

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 + 2 + 1 = 5\mu\text{F}$$

**Primjer zadatka za bolje razumijevanje**

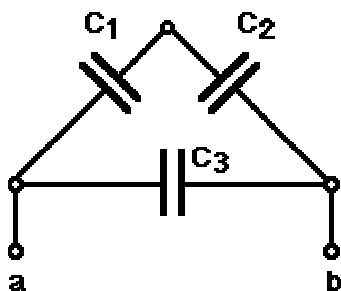
Koliki je ukupni kapacitet kondenzatora C, prema Slici 41, ako je  $C_1 = 4 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 8 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 12 \mu\text{F}$ ?



Slika 41: Serijski spoj kondenzatora – primjer

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12} = 2,18\mu\text{F}$$

Koliki je ukupni kapacitet kondenzatora Cab, prema Slici 42, ako je  $C_1 = 4 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 4 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 12 \mu\text{F}$ ?



Slika 42: Kondenzatori spojeni u trokut – primjer

$$C_{12} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2} = \frac{4 * 4}{4 + 4} = 2\mu\text{F}$$

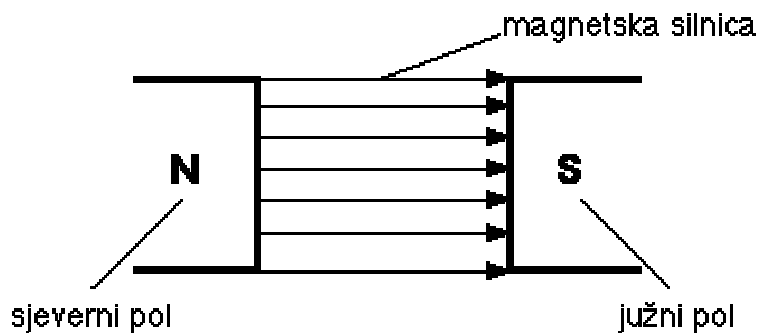
$$C_{ab} = C_{12} + C_3 = 2 + 12 = 14\mu\text{F}$$

### 1.68. Magnetsko polje, magnetske silnice i homogeno magnetsko polje

Magnetsko polje je uzrokovano protjecanjem električne struje dio prostora u kojem se osjeća njegovo djelovanje.

Magnetske silnice su predodžba smjera i veličine djelovanja magnetskog polja.

Homogeno magnetsko polje je prostor čije su silnice paralelne i međusobno jednako udaljene (prikazano Slikom 43).

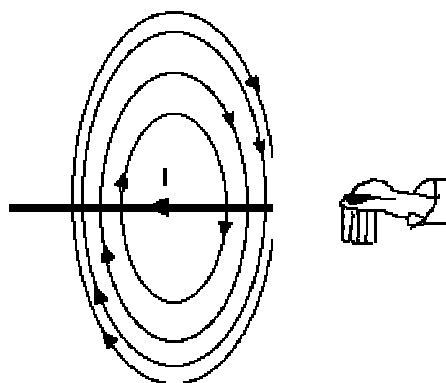


Slika 43: Predodžba magnetskog polja

### 1.69. Određivanje smjera magnetskog polja ravnog vodiča

Smjer magnetskog polja ravnog vodiča određuje se pomoću pravila desne ruke, tako da palac ruke bude okrenut u smjeru struje, a savijeni prsti pokazivati će smjer magnetskog polja (predočeno Slikom 44).





Slika 44: Definicija smjera magnetskog polja

### 1.70. Smjer magnetskog polja svitka

**Smjer magnetskog polja svitka** određuje se pomoću pravila desne ruke, tako da se prste postavimo u smjeru struje, a ispruženi palac pokazat će smjer magnetskog polja (predočeno Slikom 45).



Slika 45: Uz pojam smjer magnetskog polja svitka

### 1.71. Definicija: veber [Wb]

**Jedan veber [Wb]** je jedinica za magnetski tok  $\Phi$ , a to je magnetski tok koji jednoliko smanjen u jednoj sekundi na nulu pobuđuje u svitku s jednim zavojem elektromotornu silu od jednog volta.

### 1.72. Definicija: tesla [T]

**Jedna tesla [T]** je jedinica za mjerenje magnetske indukcije  $B$ , a to je magnetska indukcija koja nastaje kad kroz površinu jednog kvadratnog metra prolazi magnetski tok od jednog vebera. Jedinica magnetske indukcije tesla dana je po Nikoli Tesli.

### 1.73. Definicija: amper zavoj

**Jedan amper zavoj** je jedinica za mjerenje magnetomotorne sile  $\Theta$ , a to je sila koja održava magnetski tok u magnetskom krugu svitka  $N$  s jednim zavojem ako kroz njega teče struja  $I$  jakosti jednog ampera:

$$\Theta = I * N \text{ [Az] ili [A]}$$

<b>Primjer zadatka za bolje razumijevanje</b>
---

Kolika je magnetomotorna sila  $\Theta$  svitka s  $N = 100$  zavoja ako kroz njega teče struja  $I = 0,6$  A?

$$\Theta = I * N = 0,6 * 100 = 60 \text{ A}$$

### 1.74. Magnetski otpor $R_m$

**Magnetski otpor  $R_m$**  je otpor tvari prolazu magnetskog toka, a ovisi o duljini magnetskog kruga  $l$  [m], površini poprečnog presjeka  $S$  [m<sup>2</sup>] i ovisi o faktoru  $\mu$  ovisnom o tvari kroz koju prolazi magnetski tok, definirano jednadžbom:

$$R_m = \frac{l}{\mu * S} [\text{A} / \text{Wb}]$$

### 1.75. Permeabilnost vakuuma $\mu_0$

$$\mu_0 = 1,2560 * 10^{-6} [\text{Wb}/\text{Am}]$$

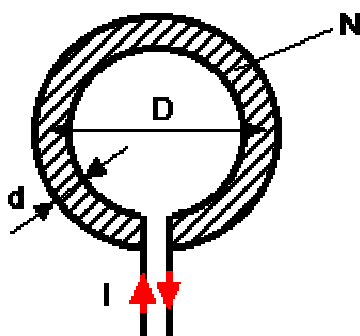
### 1.76. Relativna permeabilnost $\mu_r$

Relativna permeabilnost  $\mu_r$  je omjer između permeabilnosti neke tvari  $\mu$  i permeabilnosti vakuuma  $\mu_0$ :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

### 1.77. Jakost magnetskog polja $H$ u prstenastom magnetskom krugu

**Jakost magnetskog polja  $H$  [A/m]** u prstenastom magnetskom krugu je dio magnetomotorne sile koja se troši po jedinici duljine magnetskog kruga (prikazano jednadžbom i Slikom 46):



Slika 46: Uz definiciju jakosti magnetskog polja

<b>Primjer zadatka za bolje razumijevanje</b>
---

Kolika je jakost magnetskog polja  $H$  ako kroz prstenasti svitak srednjeg promjera  $D = 0,4$  m, s brojem zavoja  $N = 800$  teče struja  $I = 10$  A?

$$l = D * \pi = 0,4 * 3,14 = 1,256\text{m}$$

$$H = \frac{I * N}{l} = \frac{10 * 800}{1,256} = 6369,42[\text{A/m}]$$

### 1.78. Veza između $B$ (magnetske indukcije) i $H$ (magnetskog polja)

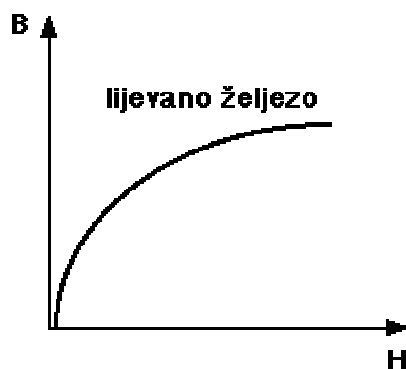
Veza između  $B$  (magnetske indukcije) i  $H$  (magnetskog polja) prikazana je jednačbom:

$$B = \mu_0 * \mu_r * H$$

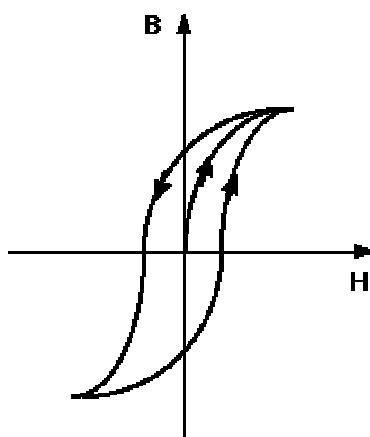
### 1.79. Krivulja magnetiziranja i petlja histereze

Krivulja magnetiziranja predstavlja odnos magnetske indukcije i jakosti magnetskog polja za pojedine tvari (predočeno na Slici 47).

Petlja histereze predstavlja odnos magnetske indukcije i jakosti magnetskog polja kad kroz svitak prolazi izmjenična struja (predočeno na Slici 48).



Slika 47: Kvalitativna ovisnost magnetske indukcije  $B$  i magnetskog polja  $H$



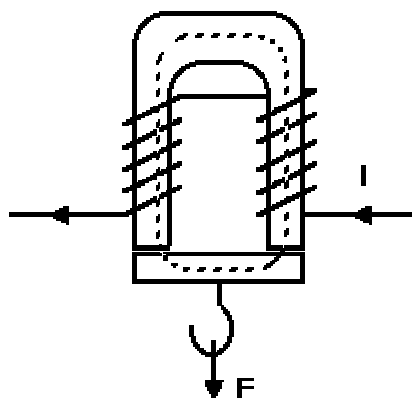
Slika 48: Petlja histereze – općenito

## 1.80. Elektromagnet – definicija

**Elektromagnet** je svitak sa željeznom jezgrom.

## 1.81. Sila privlačenja elektromagneta F

**Sila privlačenja elektromagneta F [N]** (prema Slici 49) ovisi o konstanti, kvadratu magnetske indukcije B [T] i poprečnom presjeku polova S [m<sup>2</sup>].



Slika 49: Uz definiciju sile privlačenja elektromagneta

$$F = 400000 \cdot B^2 \cdot S \text{ [N]}$$

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Kolika je sila U jezgre, prema Slici 49, ako je poprečni presjek polova S = 4 cm<sup>2</sup> i magnetska indukcija B = 1,82T?

$$F = 400000 \cdot B^2 \cdot S \text{ [N]}$$

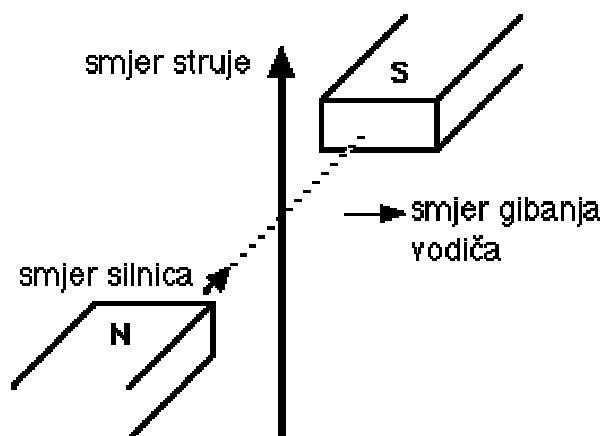
$$F = 400000 \cdot 1,82 \cdot 0,0004 = 518,4 \text{ N}$$

## 1.82. Elektromagnetska indukcija

**Elektromagnetska indukcija** je pojava da se u vodiču inducira elektromotorna sila uzrokovana magnetskim silnicama, a to se može postići ili da silnice miruju a vodič se giba ili da vodič miruje a silnice se gibaju.

## 1.83. Određivanje smjera inducirane struje

**Određivanje smjera inducirane struje** definira se pomoću **pravila desne ruke**. Ako silnice udaraju u desni dlan, a palac je okrenut u smjeru gibanja vodiča, tada ispruženi prsti pokazuju smjer inducirane struje (predočeno Slikom 50).



Slika 50: Uz definiciju smjera inducirane struje

### 1.84. Zakon indukcije

**Zakon indukcije općenito** kaže da je inducirana elektromotorna sila razmjerna veličini promjene magnetskog toka  $\Delta\Psi$  a obrnuto razmjerna s vremenom trajanja promjene  $\Delta t$ :

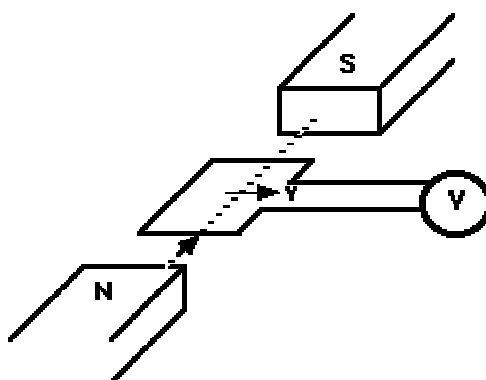
$$E = \frac{\Delta\Psi}{\Delta t} [\text{V}] \quad \Psi = \Phi N, \text{ pri čemu je } N \text{ broj zavoja}$$

$$E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} [\text{V}]$$

### 1.85. Veličina inducirane EMS E

**Veličina inducirane EMS E** je razmjerna magnetskoj indukciji  $\mathbf{B}$  [T], duljini vodiča kojim protječu magnetske silnice  $\mathbf{l}$  [m] i brzini gibanja vodiča  $\mathbf{v}$  [m/s] (predočena Slikom 51):

$$E = B * l * v [\text{V}]$$



Slika 51: Pojam EMS

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Kolika treba biti duljina vodiča  $l$ , ako je inducirana EMS  $E = 220 \text{ V}$ , magnetska indukcija između polova  $B = 1,5 \text{ T}$  i ako vodič „siječe“ magnetske silnice okomito ( $90^\circ$ ) brzinom  $v = 12 \text{ m/s}$ ?

$$E = B \cdot l \cdot v \text{ [V]}$$

$$l = \frac{E}{B \cdot v} = \frac{220}{1,5 \cdot 12} = 12,22 \text{ m}$$

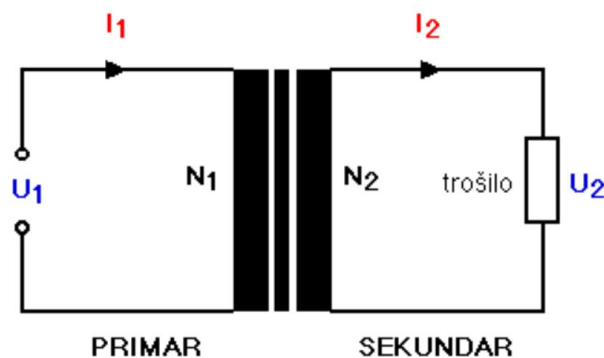
## 1.86. Primjena elektromagnetske indukcije

1. Primjena elektromagnetske indukcije bitna je za tzv. elektromehaničku pretvorbu energije.
2. U slučaju transformatora znači, primjena elektromagnetske indukcije pretvorbu izmjenične struje jednog napona u izmjeničnu struju drugog napona. Izmjenična struja jednog napona u izmjeničnu struju drugog napona.

## 1.87. I. i II. jednadžba transformatora

**I. jednadžba transformatora** definira se tako da su naponi svitaka transformatora razmjerni s brojevima zavoja svitaka (predočeno Slikom 52):

$$U_1 : U_2 = N_1 : N_2$$



Slika 52: Model / principijelna shema jednofaznog transformatora

**II. jednadžba transformatora** znači da su struje svitaka transformatora obrnuto razmjerne s naponima svitaka (predočeno Slikom 52):

$$U_1 : U_2 = I_2 : I_1$$

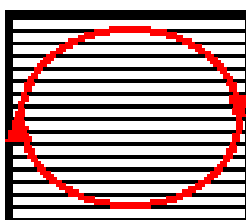
Jednadžba vrijedi u slučaju da je transformator „idealn“, znači bez gubitaka.

## 1.88. Gubici transformatora

**Gubici transformatora** javljaju se u željeznoj jezgri kao gubici zbog histereze i zbog vrtložnih struja, a u namotima javljaju se gubici zbog otpora vodiča – dakle jalovi i djelatni  $X_T$  i  $R_T$ .

## 1.89. Vrtložne struje

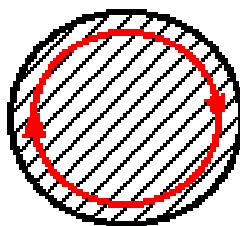
**Vrtložne struje** – "vrtlozi" u **dinamo limu** transformatora, a nastaju elektromagnetskom indukcijom magnetskog toka  $\Phi$ . Vrtložne struje u većini slučajeva su nepoželjne jer uzrokuju zagrijavanje jezgre (predočeno Slikom 53).



Slika 53: Skica za vrtložne struje

## 1.90. Skin-efekt

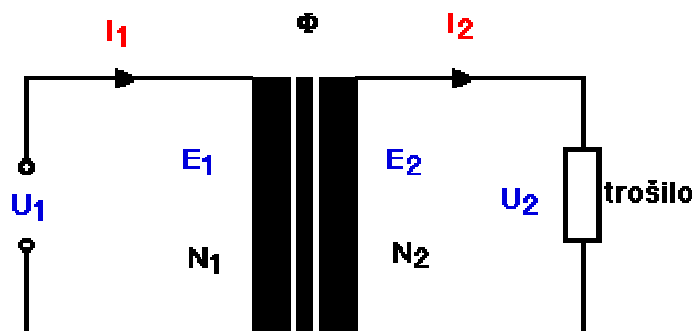
**Skin-efekt** učinak je pojava u slučaju izmjenične struje, da u presjeku vodiča vrtložne struje koče prolaz osnovnoj struji i to najjače u sredini vodiča, a prema površini sve slabije. Tako je gustoća osnovne struje na površini vodiča najveća, a u sredini sve manja, dakle riječ je o tzv. potiskivanju električne struje prema površini vodiča.



Slika 54: Simbolički prikaz skin-efekt

## 1.91. Samoindukcija i međusobna indukcija

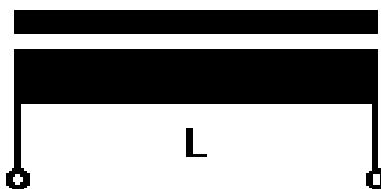
**Samoindukcija** i **međusobna indukcija** javljaju se kada priključimo primarni svitak s  $N_1$  zavoja na napon izvora  $U_1$ , poteći će kroz primarni namot struja  $I_1$ , a koja će stvoriti u željeznoj jezgri magnetski promjenljiv tok  $\Psi$ . Sinusna promjena magnetskog toka inducirat će samoindukcijom i međusobnom indukcijom EMS  $E_1$  i  $E_2$  u primarnom  $N_1$  i sekundarnom  $N_2$  namotu (prikazano Slikom 55).



Slika 55: Pojam samoindukcije i međusobne indukcije ( $E_1 N_1 = E_2 N_2$ )

## 1.92. Induktivitet svitka L [H]

**Induktivitet svitka L [H]** je ukupna vrijednost svojstva svitka koji ovisi o samoindukciji, a jedinica za mjerenje je henri [H] (predočeno Slikom 56).



Slika 56: Simbol induktiviteta

## 1.93. Henri – definicija [1 H]

**Henri [1 H]** je induktivitet svitka ako u njemu jednolika promjena struje od 1 A u jednoj sekundi pobudi elektromotornu silu od 1 V.

## 1.94. Izračunavanje induktiviteta svitka L

**Izračunavanje induktiviteta svitka L** prikazano je jednačbom:

$$L = \frac{\mu_0 * \mu_r * S * N^2}{l} [\text{H}]$$

pri čemu su **S** površina presjeka svitka [m<sup>2</sup>], **N** broj zavoja svitka i **l** duljina magnetskog kruga [m].

### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je induktivitet prstenastog svitka L ako je njegov presjek  $S = 4 \text{ cm}^2$ , broj zavoja  $N = 330$ , duljina magnetskog kruga  $l = 1,256 \text{ m}$  i  $\mu = 1$ ?

$$L = \frac{\mu_0 * \mu_r * S * N^2}{l} [\text{H}] = \frac{1,256 * 10^{-6} * 1 * 0,0004 * 330^2}{1,256} = 43,56 * 10^{-6} [\text{H}] = 43,56 \mu\text{H}$$



## 1.95. Izračunavanje međuintuktiviteta M

Izračunavanje međuintuktiviteta M predočeno je jednažbom:

$$M = \frac{\mu_0 * \mu_r * S * N_1 * N_2}{l}$$

$$\text{ili } M = \sqrt{(L_1 * L_2)}$$

pri čemu su **L1** i **L2** induktivitet primara i induktivitet sekundara.

## 1.96. Inducirana EMS u svicima transformatora

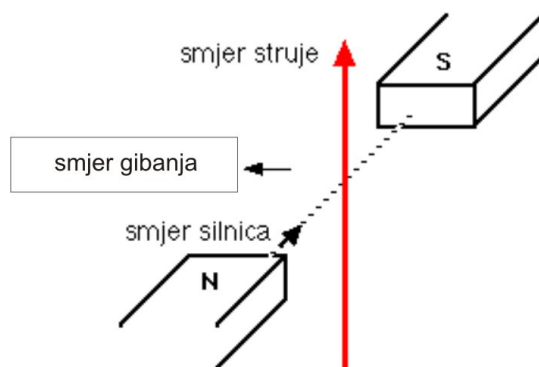
Inducirana EMS u svicima transformatora predočena je jednažbama:

$$E_1 = 4,44 * f * N_1 * \Phi \text{ [V]}$$

$$E_2 = 4,44 * f * N_2 * \Phi \text{ [V]}$$

## 1.97. Određivanje smjera gibanja vodiča u magnetskom polju

Određivanje smjera gibanja vodiča u magnetskom polju slijedi tzv. zakon pomoću pravila lijeve ruke. Ako su silnice usmjerene u lijevi dlan, a prsti pokazuju smjer struje, tada nam ispruženi palac pokazuje smjer gibanja vodiča (predočeno Slikom 57).



Slika 57: Smjer gibanja vodiča u magnetskom polju

## 1.98. Sila gibanja F vodiča u magnetskom polju

Sila gibanja **F** [N] vodiča u magnetskom polju razmjerna je magnetskoj indukciji **B** [T], jakosti struje **I** [A] i duljini vodiča **l** [m], a teorijski je predočena jednažbom:

$$F = B * I * l$$

Može se kao zaključak reći da je sila gibanja vodiča u magnetskom polju to veća što je veća magnetska indukcija, jača struja kroz vodič i veća duljina vodiča.

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Kolika je struja kroz vodič  $I$  ako je sila gibanja vodiča u magnetskom polju  $F = 1,5$  N, magnetska indukcija  $B = 0,8$  T i vodič je duljine  $l = 0,4$  m?

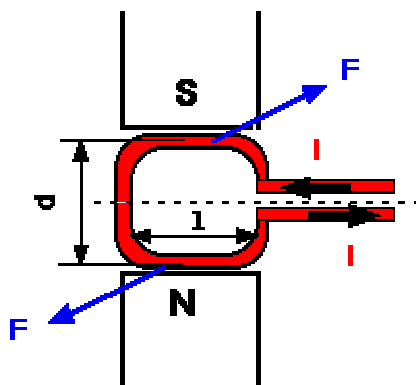
$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$I = \frac{F}{B \cdot l} = \frac{1,5}{0,8 \cdot 0,4} = 4,68 \text{ A}$$

### 1.99. Kako magnetsko polje djeluje na petlju?

**Magnetsko polje na petlju** djeluje kao zakretni moment  $M$  [Nm], a razmjernan je sili gibanja vodiča u magnetskom polju  $F$  [N] i udaljenosti pravca u kojem sile djeluju  $d$  [m] (predočeno Slikom 58).

$$M = F \cdot d$$



Slika 58: Primjer djelovanja magnetskog polja na petlju

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

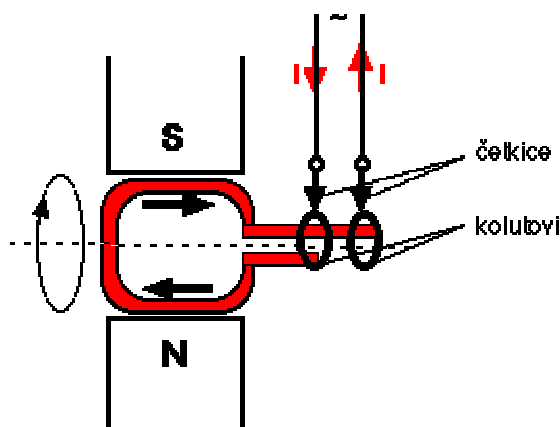
Koliki je zakretni moment rotora elektromotora, ako je magnetska indukcija  $B = 0,8$  T, duljina petlje  $l = 0,2$  m, broj zavoja  $N = 1200$ , promjer  $d = 0,25$  m i struja kroz rotor iznosi  $I = 8$  A?

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot N = 0,8 \cdot 8 \cdot 0,2 \cdot 1200 = 1536 \text{ N}$$

$$M = F \cdot d = 1536 \cdot 0,25 = 384 \text{ Nm}$$

### 1.100. Kako se dobiva izmjenična struja?

**Dobivanje izmjenične struje** postiže se jednolikim okretanjem petlje u homogenom magnetskom polju gdje se u vodičima, prema pravilu desne ruke, inducira elektromotorna sila koja se odvodi preko kliznih kolutova i četkica (predočeno Slikom 59).

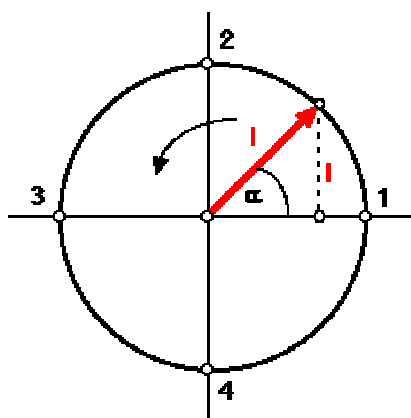


Slika 59: Pojednostavljeni primjer proizvodnje izmjenične struje

### 1.101. Vektorska predodžba izmjenične struje

Vektorska predodžba izmjenične struje daje se vektorskim dijagramom, pri čemu se izmjenična struja mijenja prema zakonu sinusa (predočeno Slikom 60).

$$i = I \cdot \sin \alpha$$

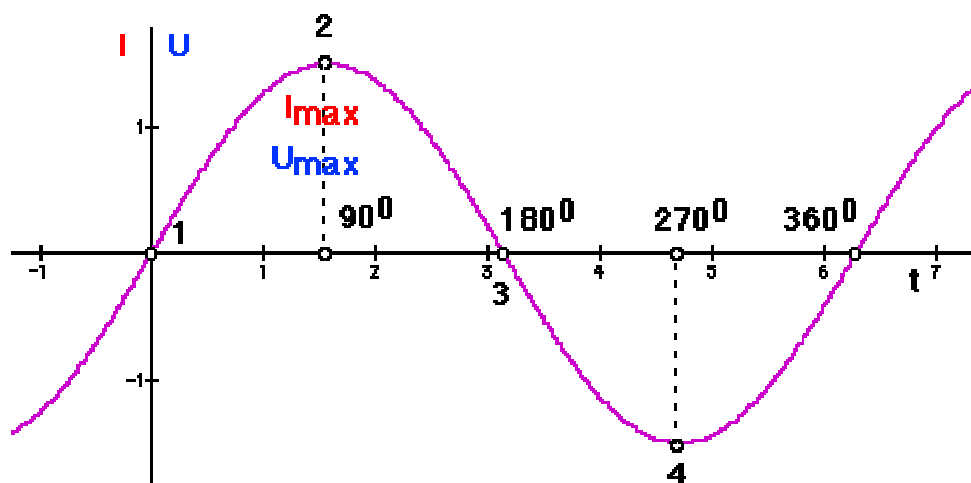


Slika 60: Predodžba pojma izmjenične struje

### 1.102. Sinusna predodžba izmjenične struje i napona

Sinusna predodžba izmjenične struje i napona predočena je Slikom 61. Na slici je data perioda izmjenične struje i napona gdje se treba uzeti u obzir:

- ( $0^\circ - 90^\circ$ ) porast od nule do maksimalne vrijednosti,
- ( $90^\circ - 180^\circ$ ) pad od maksimalne vrijednosti do nule,
- ( $180^\circ - 270^\circ$ ) porast u protivnom smjeru do maksimalne vrijednosti,
- ( $270^\circ - 360^\circ$ ) pad od protivnog maksimuma na nulu.



Slika 61: Sinusna predodžba izmjenične struje i napona

### 1.103. Jednadžba izmjenične struje

Jednadžba izmjenične struje data je jednadžbom:

$$i = I_{\max} \cdot \sin \alpha$$

$$i = I_{\max} \cdot \sin 2 \pi f t$$

$$i = I_{\max} \cdot \sin \omega t$$

gdje je:

$i$  – trenutna vrijednost struje [A],

$I_{\max}$  – maksimalna vrijednost struje [A],

$\alpha$  – trenutni kut radijus vektora,

$t$  – vrijeme od početka prve periode [s],

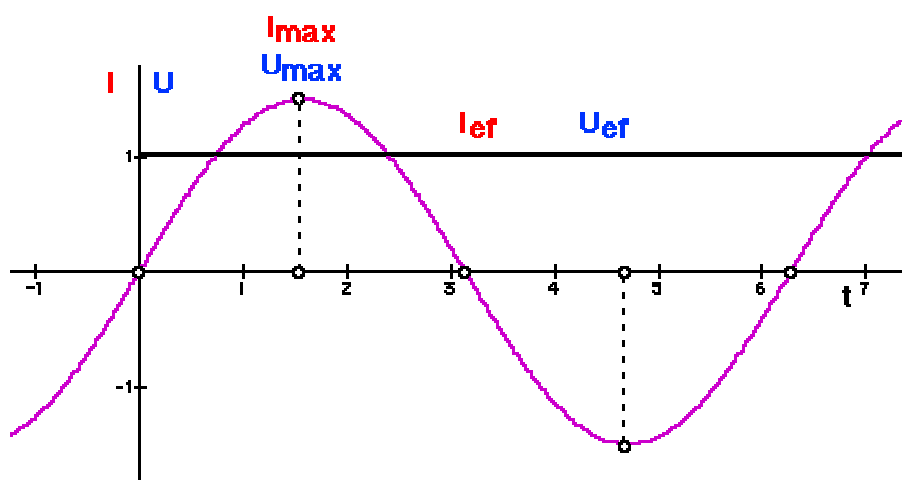
$f$  – frekvencija struje [Hz],

$\omega$  – kružna frekvencija struje [1/s].

### 1.104. Maksimalna i efektivna vrijednost struje ili napona

**Maksimalna vrijednost struje ili napona** je najveća vrijednost koju izmjenična struja postigne za vrijeme jedne periode.

**Efektivna vrijednost struje ili napona** je vrijednost koju bi trebala imati istosmjerna struja ili napon da proizvede isti toplinski učinak kao i izmjenična struja (predočena Slikom 62).



Slika 62: Uz definiciju efektivne vrijednosti izmjenične struje i napona

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}}$$

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}}$$

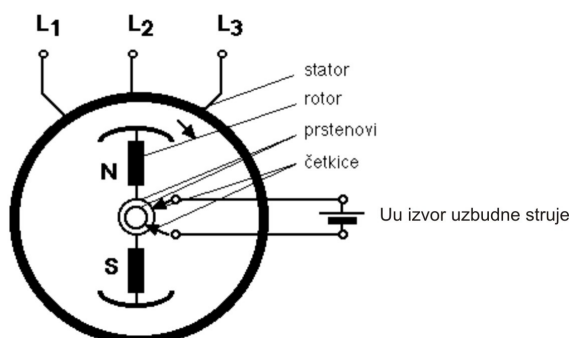
### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Kolika će biti vrijednost izmjenične struje kao da je istosmjerna struja ako je maksimalna vrijednost  $U_{\text{max}} = 25$  A?

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}} = \frac{25}{1,41} = 17,73 \text{ A}$$

## 1.105. Glavni dijelovi generatora izmjenične struje

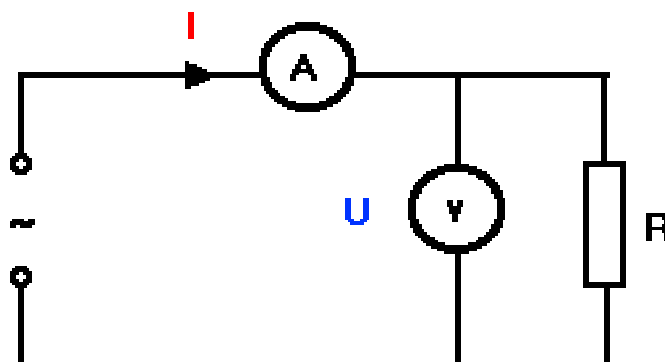
Glavni dijelovi generatora izmjenične struje su **rotor**, uzbudni namot, kojim se pomoću istosmjerne struje stvara magnetski tok i **stator**, armaturni namot, jednofazni ili višefazni izmjenični namot, u kojem će magnetske silnice inducirati izmjeničnu EMS. Konstrukcija generatora predočena je Slikom 63.



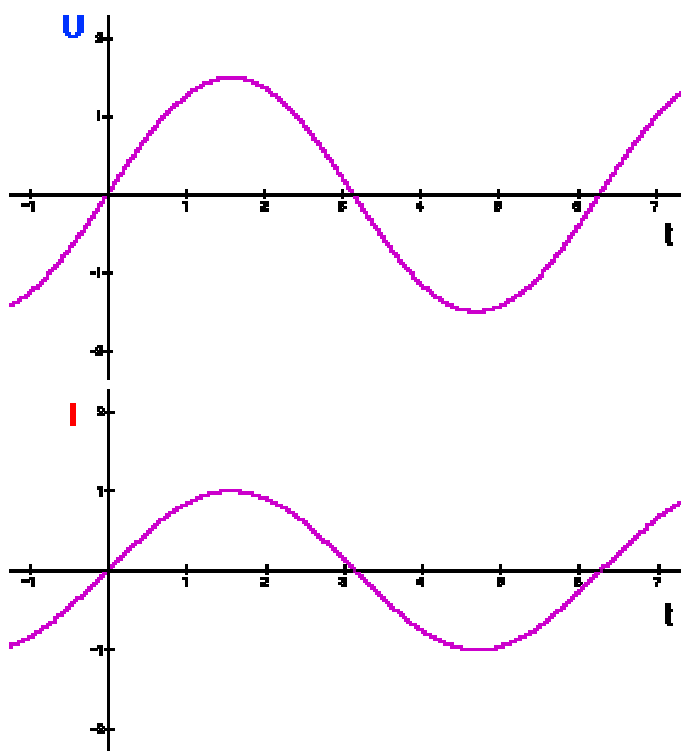
Slika 63: Principijelna shema sinkronog generatora izmjenične struje (djelatnog)

### 1.106. Karakteristika omskog otpora $R$ u krugu izmjenične struje

Karakteristika omskog (djelatnog) otpora  $R$  u krugu izmjenične struje je da nema faznog pomaka između napona i struje,  $\varphi = 0^\circ$  (struja je u fazi s naponom), predočeno shemom (Slika 64) i grafičkim prikazom (Slika 65).



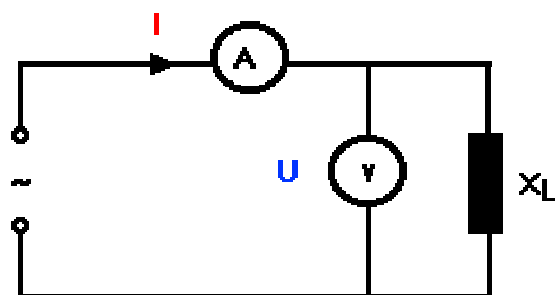
Slika 64: Djelatni otpor u jednostavnom krugu izmjenične struje



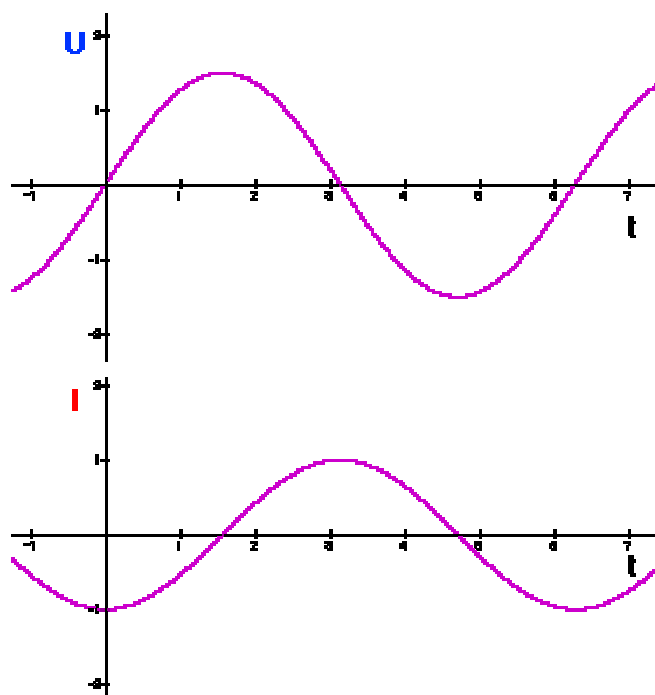
Slika 65: Kvalitativni oblici struje i napona u serijskom djelatnom krugu (samo  $R$ )

### 1.107. Karakteristika induktivnog otpora $X_L$ u krugu izmjenične struje

Karakteristika induktivnog otpora  $X_L$  u krugu izmjenične struje je fazni pomak između napona i struje,  $\varphi = 90^\circ$  (struja zaostaje za naponom) i  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ , predočena shemom (Slika 66) i grafičkim prikazom (Slika 67).



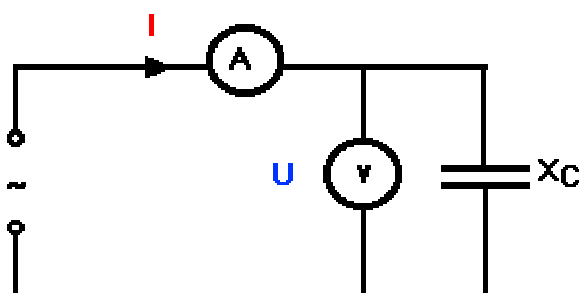
Slika 66: Induktivni otpor u jednostavnom krugu izmjenične struje



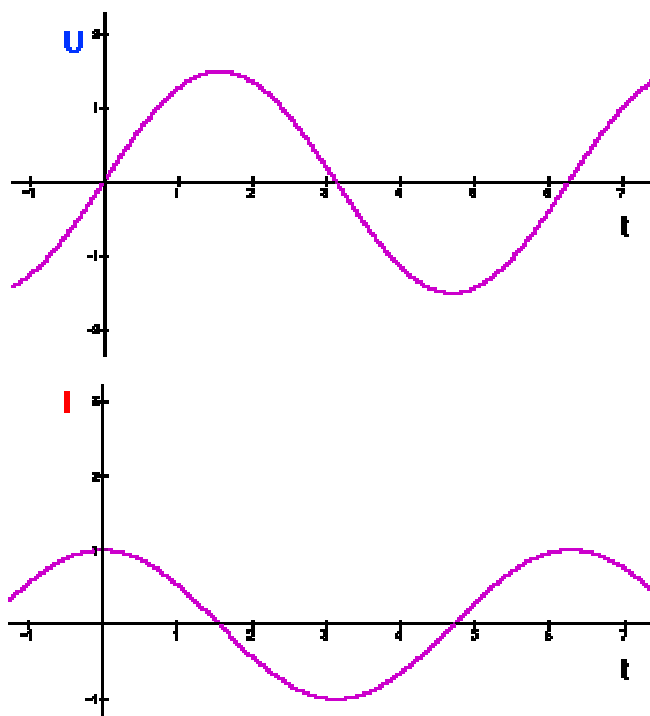
Slika 67: Kvalitativni oblici napona i struje u serijskom krugu (samo L)

### 1.108. Karakteristika kapacitivnog otpora $X_C$ u krugu izmjenične struje

Karakteristika kapacitivnog otpora  $X_C$  u krugu izmjenične struje je fazni pomak između napona i struje,  $\varphi = 90^\circ$  (struja prethodi naponu) i  $X_C = 1 / 2\pi \cdot f \cdot C$ , predloženo shemom (Slika 68) i grafički (Slika 69).



Slika 68: Kapacitivni otpor u jednostavnom krugu izmjenične struje



Slika 69: Kvalitativni oblici napona i struje u serijskom krugu (samo C)

#### Primjer zadataka za bolje razumijevanje

Koliki je induktivni otpor  $X_L$  induktiviteta  $L = 0,085$  H, ako je priključen na napon  $U = 220$  V i frekvencije  $f = 50$  Hz?

$$X_L = 2 \pi * f * L = 2 * 3,14 * 50 * 0,085 = 26,69 \Omega$$

Koliki je kapacitivni otpor  $X_C$  kapaciteta  $C = 8 \mu\text{F}$ , ako je priključen na napon  $U = 380$  V i frekvencije  $f = 50$  Hz?

$$X_C = \frac{1}{2\pi * f * C} = \frac{1}{6,28 * 50 * 8 * 10^{-6}} = 398[\text{W}]$$

### 1.109. Zbrajane sinusnih veličina

Zbrajanje sinusnih veličina može se realizirati na tri načina: grafički, vektorski i računski.

Grafički se zbrajanjem ordinata sinusoida zadanih napona dobivaju ordinate rezultante sinusoida.

Vektorski se zbrajaju, pri  $\varphi = 0^\circ$  i  $\varphi = 180^\circ$ , da se radijus vektora jednog napona „nanese“ na radijus vektora drugog napona i tako dobije radijus vektora resultantnog napona. U slučaju  $0 < \varphi < 90^\circ$ , vektori se zbrajaju, ako radijus vektori koji međusobno zatvaraju kut  $\varphi$ , tako da se resultantni radijus vektor dobije kao dijagonala paralelograma.

Računski se zbrajaju radijus vektori, pri  $\varphi = 0^\circ$  i  $\varphi = 180^\circ$ , tako da se algebarski zbroje ili odbiju vrijednosti zadanih napona. U slučaju  $0 < \varphi < 90^\circ$  vektorski se zbrajaju ako radijus



vektori koji međusobno zatvaraju kut  $\varphi$ , tako da se rezultantu napona dobije prema kosinusovu poučku.

**Primjer zadatka za bolje razumijevanje**

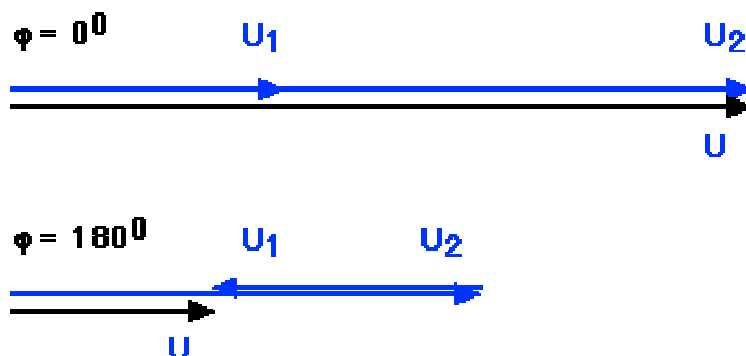
Koliki je rezultantni napon izmjeničnih napona  $U_1 = 220\text{ V}$  i  $U_2 = 380\text{ V}$ , za slučaj  $\varphi = 0^\circ$  i  $\varphi = 180^\circ$ ?

Računski:

$$\text{za } \varphi = 0^\circ \quad U = U_1 + U_2 = 220 + 380 = 500\text{ V}$$

$$\text{za } \varphi = 180^\circ \quad U = U_1 + U_2 = 380 - 220 = 160\text{ V}$$

Vektorski:



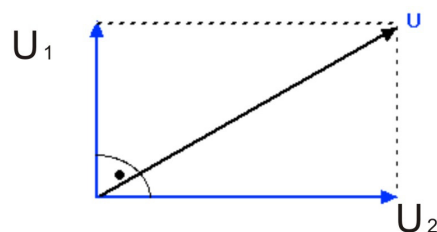
Slika 70: Primjer zbrajanja najvećih amplituda sinusnih veličina napona za fazne pomake  $\varphi = 0^\circ$  i  $\varphi = 180^\circ$

Koliki je rezultantni napon amplituda izmjeničnih napona  $U_1 = 220\text{ V}$  i  $U_2 = 380\text{ V}$ , za slučaj  $\varphi = 90^\circ$ ?

Računski, prema pitagorinom poučku:

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} = \sqrt{220^2 + 380^2} = 439,08\text{ V}$$

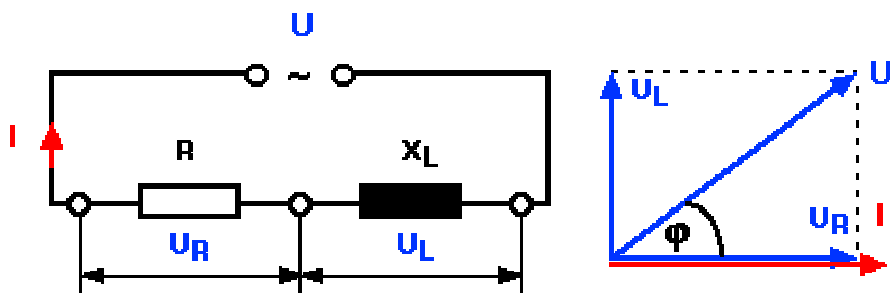
Vektorski:



Slika 71: Rezultantna amplituda između dvije točke u sustavu

### 1.110. Serijski spoj djelatnog i induktivnog otpora u krugu izmjenične struje

Serijski spoj djelatnog i induktivnog otpora u krugu izmjenične struje predložen je shemom na Slici 72, te vektorskim dijagramom na Slici 73 i računski prema jednadžbama.



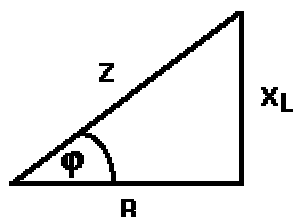
Slika 72: Serijski spoj djelatnog i ind. otpora i Slika 73: Vektorski dijagram

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

### 1.111. Razmak impedancija Z za slučaj serijskog spoja djelatnog i induktivnog otpora

Impedancija Z [ $\Omega$ ] je otpor u krugu izmjenične struje i sastoji se od djelatnog otpora R [ $\Omega$ ] i induktivnog otpora  $X_L$  [ $\Omega$ ] (predočeno grafički Slikom 74 i jednažbom).

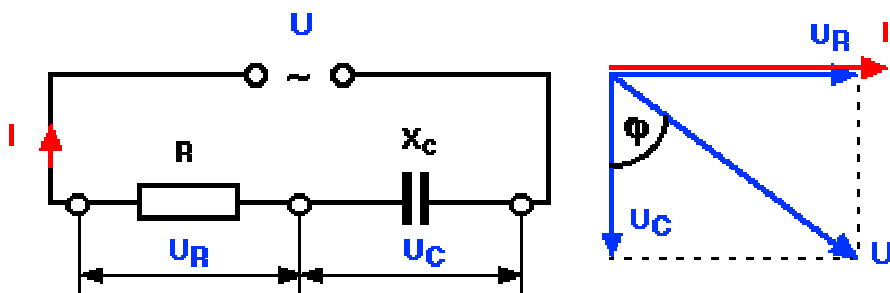


Slika 74: Uz definiciju impedancije Z

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

### 1.112. Serijski spoj djelatnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje

Serijski spoj djelatnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje predöčen je shemom na Slici 75, vektorskim dijagramom na Slici 76 i računski prema jednažbama.



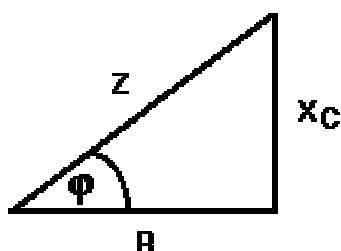
Slike 75 i 76: Definicija serijskog spoja djelatnog i kapacitivnog otpora

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$$

### 1.113. Impedancija Z za slučaj serijskog spoja djelatnog i kapacitivnog otpora

Impedancija Z [ $\Omega$ ] je otpor u krugu izmjenične struje i sastoji se od djelatnog otpora R [ $\Omega$ ] i kapacitivnog otpora  $X_C$  [ $\Omega$ ] (predočeno grafički Slikom 77 i jednažbom).

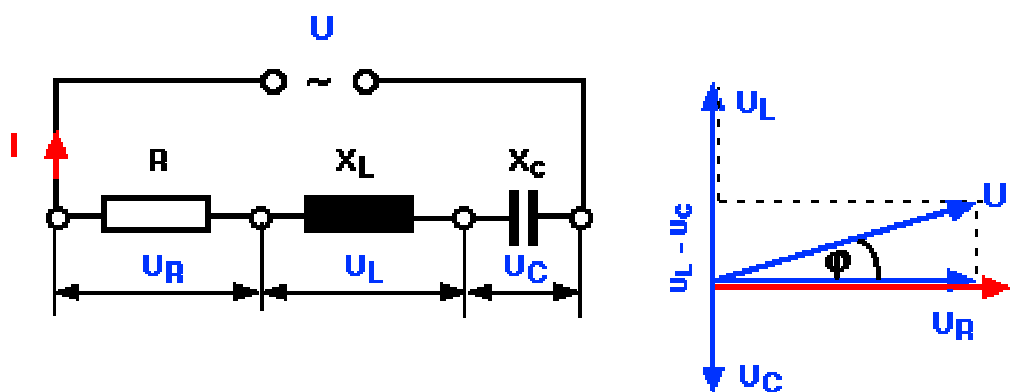


Slika 77: Uz definiciju impedancije Z za slučaj serijskog spoja djelatnog i kapacitivnog otpora

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

### 1.114. Serijski spoj djelatnog, induktivnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje

Serijski spoj djelatnog, induktivnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje predöčen je shemom na Slici 78, vektorskim dijagramom na Slici 79 i računski prema jednažbama.



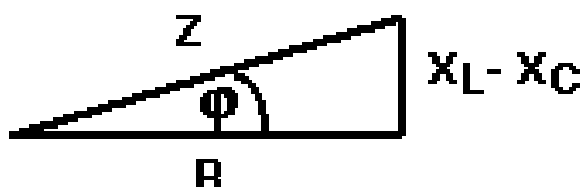
Slike 78 i 79: Prikaz definicije serijskog spoja djelatnog, induktivnog i kapacitivnog otpora

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U}$$

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

### 1.115. Što je impedancija $Z$ kod serijskog spoja omskog, induktivnog i kapacitivnog otpora?

Impedancija  $Z$  [ $\Omega$ ] je otpor u krugu izmjenične struje i sastoji se od djelatnog otpora  $R$  [ $\Omega$ ], induktivnog otpora  $X_L$  [ $\Omega$ ] i kapacitivnog otpora  $X_C$  [ $\Omega$ ] (predočeno grafički Slikom 80 i jednažbom).

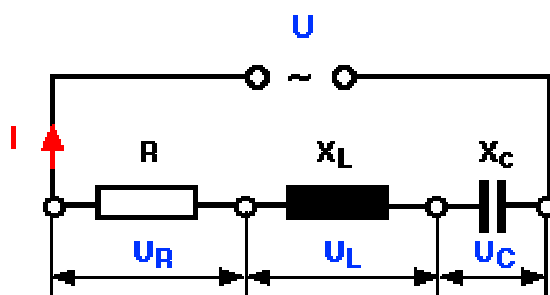


Slika 80: Uz definiciju impedancije  $Z$  u serijskom (RLC) krugu

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

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Prema shemi na Slici 83 izračunajte koliki je induktivni otpor  $X_L$ , kapacitivni otpor  $X_C$ , impedancija  $Z$  i jakost struje  $I$ , ako je djelatni otpor  $R = 45 \Omega$ , svitak induktiviteta  $L = 0,3 \text{ H}$ , kondenzator kapaciteta  $C = 8 \mu\text{F}$  i izmjenični napon  $U = 380 \text{ V}$  efektivno, frekvencije  $f = 50 \text{ Hz}$ .



Slika 81: Primjer rješavanja serijskog (RLC) i zmjeničnog kruga

$$R = 45 \Omega$$

$$L = 0,3 \text{ H}$$

$$C = 8 \mu\text{F}$$

$$U = 380 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$X_L, X_C, Z, I = ?$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,3 = 94,24\Omega$$

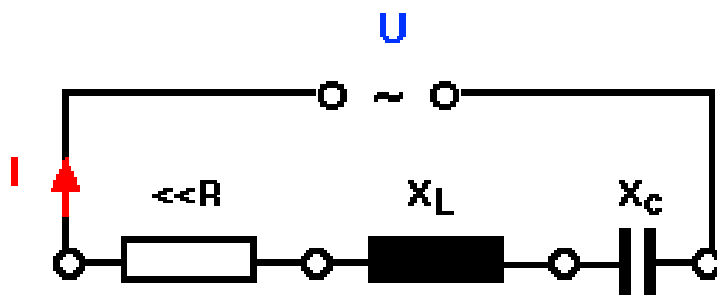
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{6,28 \cdot 50 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{45^2 + (94,24 - 398)^2} = 307,07\Omega$$

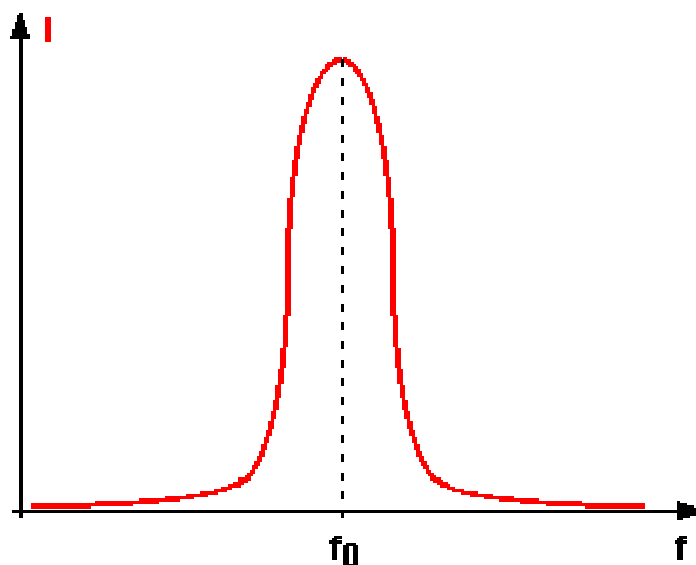
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{380}{307,07} = 1,23\text{A}$$

### 1.116. Serijska rezonancija

Serijska rezonancija je pojava koja se pojavljuje pri serijski spojenim induktivnog i kapacitivnog otpora (prema Slici 82) u slučaju izjednačenja njihovih otpora ( $X_L = X_C$ ), teče maksimalna struja pri rezonantnoj frekvenciji (Thomsonova jednačba), predočena Slikom 83.



Slika 82: Uz pojam serijske rezonancije



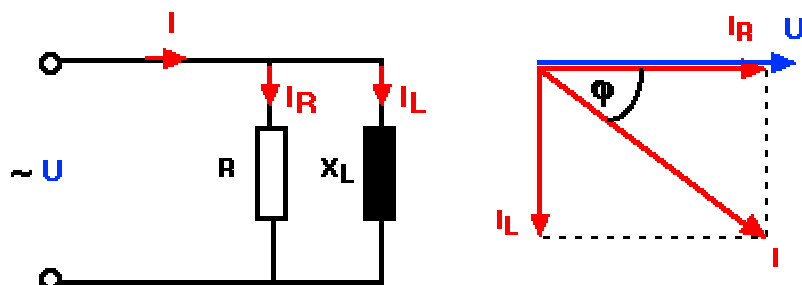
Slika 83: Rezonantna frekvencija  $f_0$  – kvalitativno

Thomsonova jednačba:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [\text{Hz}]$$

### 1.117. Paralelni spoj djelatnog i induktivnog otpora u krugu izmjenične struje

Paralelni spoj djelatnog i induktivnog otpora u krugu izmjenične struje predložen je shemom na Slici 84, vektorskim dijagramom na Slici 85 i računski prema jednadžbama.



Slike 84 i 85: Definicija za slučaj induktivnog i djelatnog otpora

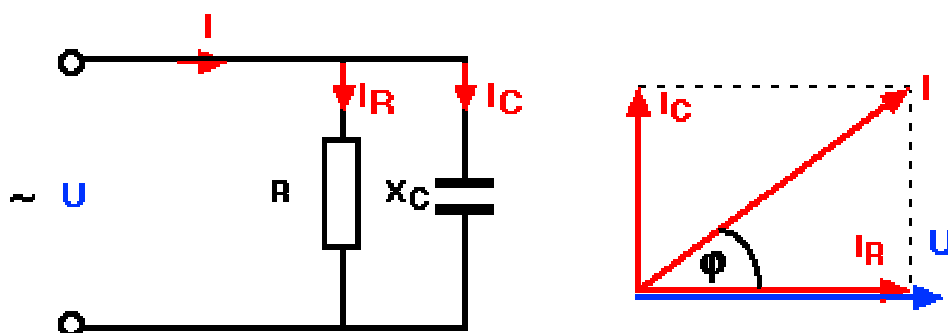
$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

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

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

### 1.118. Paralelni spoj djelatnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje

Paralelni spoj djelatnog i kapacitivnog otpora u krugu izmjenične struje predložen je shemom na Slici 86, vektorskim dijagramom na Slici 87 i računski prema jednadžbama.



Slike 86 i 87: Uz definiciju paralelnog djelatnog i kapacitivnog otpora

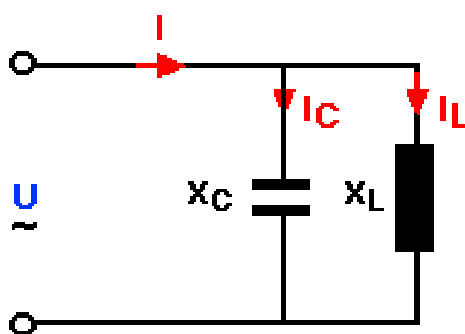
$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

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

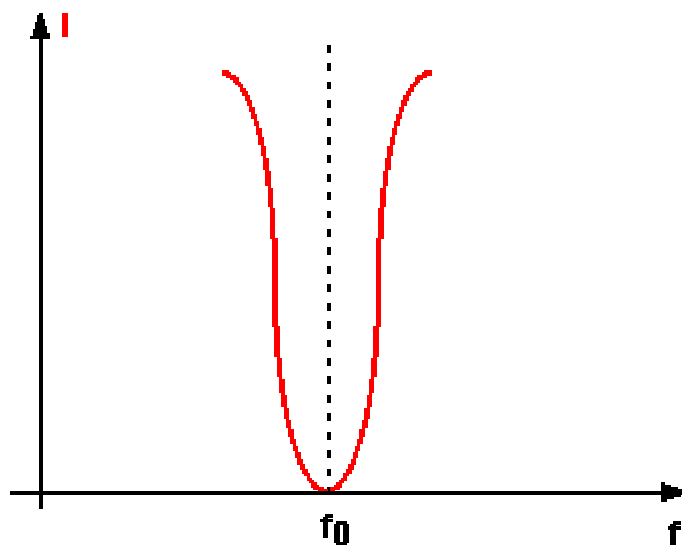
$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

### 1.119. Paralelna rezonancija

**Paralelna rezonancija** je pojava da pri paralelno spojenog induktivnog i kapacitivnog otpora (prema Slici 88) u slučaju izjednačenja njihovih otpora ( $X_L = X_C$ ), teče minimalna struja pri rezonantnoj frekvenciji  $f_0$  (predočena Slikom 89).



Slika 88: Pojam rezonancije paralelnog poja  $X_L$  i  $X_C$



Slika 89: Kvalitativna predodžba paralelne rezonancije (LC) kruga

### 1.120. Djelatna snaga P pri djelatnom opterećenju

**Djelatna snaga P [W] pri djelatnom opterećenju** je električna snaga koja se u trošilu pretvara u neki drugi oblik (predočeno jednažbom i Slikom 90):

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ [W]}$$

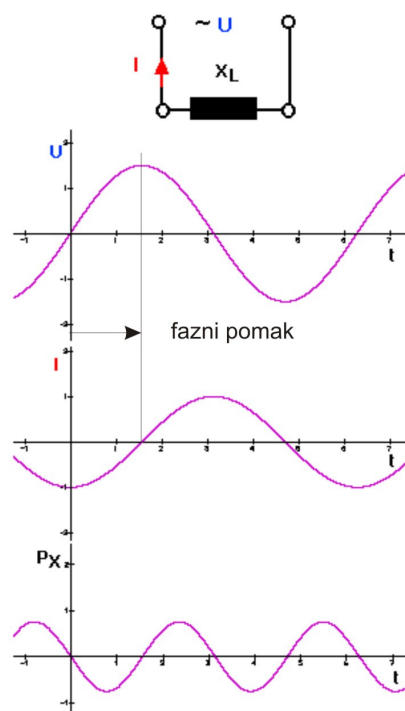


Slika 90: Definicija djelatne snage P pri djelatnom opterećenju

### 1.121. Jalova snaga $Q_L$ pri induktivnom opterećenju

**Jalova snaga  $Q_L$  [Var] pri induktivnom opterećenju** je energija koja „beskonačno“ kruži strujnim krugom (predočeno jednačbom i Slikom 91):

$$Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi \text{ [Var]}$$



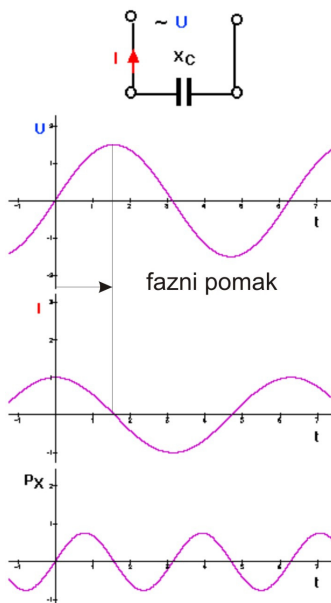
Slika 91: Uz definiciju jalove snage pri induktivnom opterećenju



### 1.122. Jalova snaga $Q_C$ pri kapacitivnom opterećenju

Jalova snaga  $Q_C$  [Var] pri kapacitivnom opterećenju je energija koja beskonačno kruži strujnim krugom (predočeno jednađbom i Slikom 92):

$$Q_C = U \cdot I \cdot \sin\varphi \text{ [Var]}$$

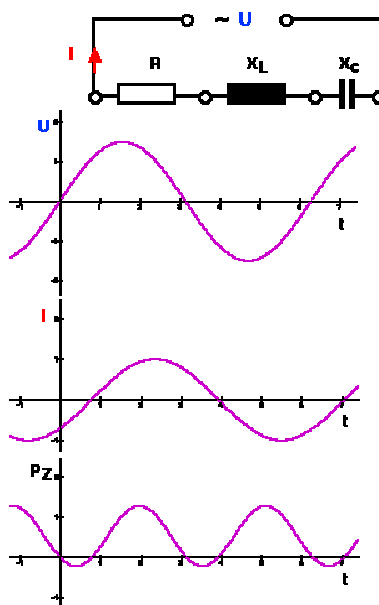


Slika 92: Uz definiciju jalove snage pri kapacitivnom opterećenju

### 1.123. Prividna snaga pri djelatnom, kapacitivnom i induktivnom opterećenju

Prividna snaga  $S$  [VA] pri djelatnom, kapacitivnom i induktivnom opterećenju je umnožak napona i struje (predočena jednađbom i Slikom 93).

$$S = U \cdot I \text{ [VA]}$$

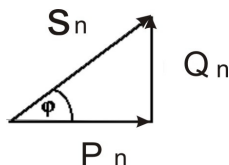


Slika 93: Kvalitativna predodžba pojma, prividna snaga  $S$  (VA)

### 1.124. Faktor snage $\cos \varphi$

Faktor snage  $\cos \varphi$  je odnos djelatne i prividne snage (prema jednadžbi i Slici 94).

$$\cos \varphi = \frac{P_{Rn}}{S_n}$$



Slika 94: Uz definiciju faktora snage  $\cos \varphi$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Jednofazni elektromotor priključen je na napon  $U = 220 \text{ V}$  i pri opterećenju troši iz mreže struju  $I = 4,4 \text{ A}$ , faktor snage iznosi  $\cos \varphi = 0,84$ . Izračunati kolika je djelatna snaga  $P$ , jalova snaga  $Q$  i prividna snaga  $S$ ?

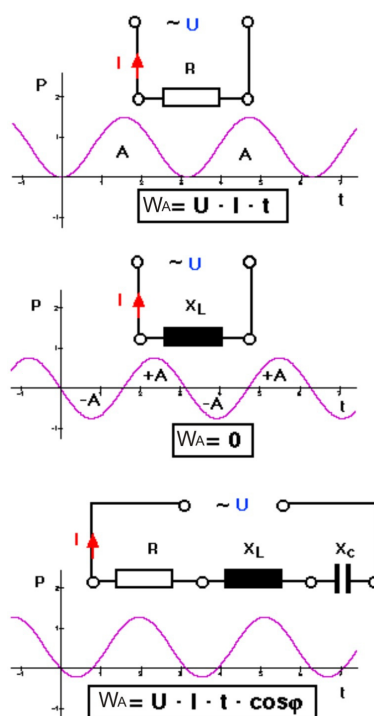
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 4,4 \cdot 0,84 = 813,12 [\text{W}]$$

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 4,4 = 968 \left[ \text{VA} = \sqrt{P^2 + P_x^2} \right]$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{968^2 - 813,12^2} = 525 [\text{Var}]$$

### 1.125. Rad izmjenične struje $W_A$ [Ws] (električna energija)

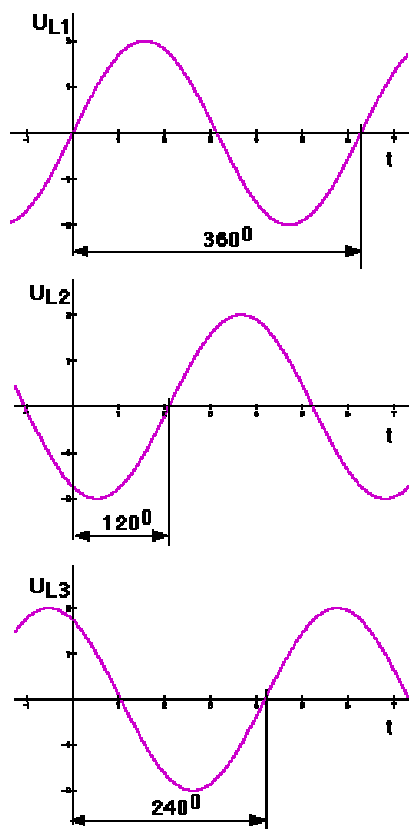
Rad izmjenične struje  $W_A$  [Ws] je umnožak djelatne snage  $P$  vremena  $t$  (predočeno Slikom 95).



Slika 95: Uz definiciju rada (energije) izmjenične struje  $W_A$  (Ws)

## 1.126. Trofazni sustav

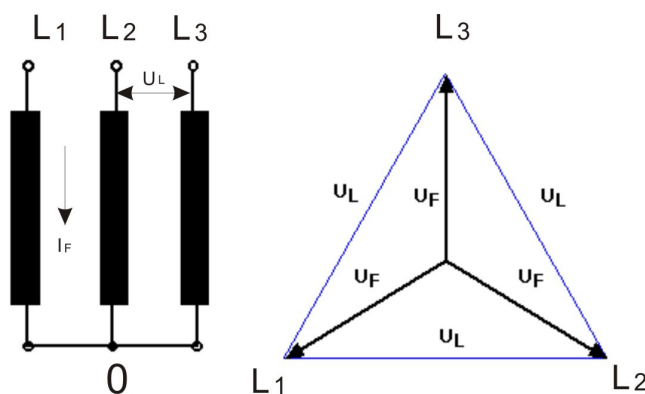
**Trofazni sustav** se sastoji od tri izmjenične struje, napona koja su fazno pomaknuti za  $120^\circ$ , ili  $2\pi / 3$  radijana (predočeno Slikom 96).



Slika 96: Definicija trofaznog izmjeničnog sustava

## 1.127. Transformator u zvijezda-spoju

**Zvijezda-spoj** trofaznog namota je takav spoj gdje su tri kraja faznih namota međusobno povezana u nul točku, a počeci namota koriste se za priključak trofaznog voda (prema Slici 97, pri čemu je prikazan i pripadajući vektorski dijagram napona):



Slika 97: Trofazni namot u zvijezda spoju i vektorski dijagram napona

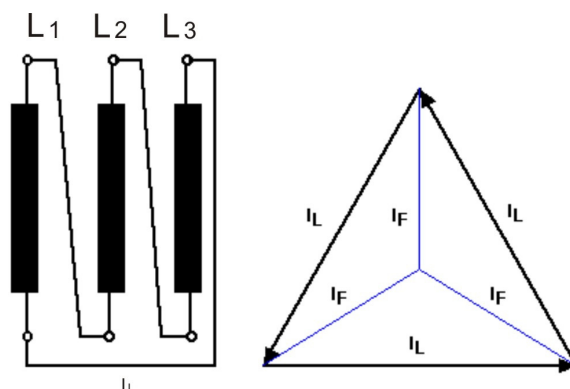
Kod spoja u zvijezdu, struja uvodu  $I_{L1}$  jednaka je faznoj struji  $I_{F1}$ , a linijski ili međufazni napon  $U_{L12}$  jednak je vektorskoj razlici dvaju faznih napona:

$$I_L = I_F$$

$$U_L = \sqrt{3} * U_F$$

### 1.128. Transformator u trokut-spoju

Trokut-spoj trofaznog namota je takav spoj gdje su sva tri namota vezana u serijski spoj kao na Slici 98, gdje je predložen i pripadajući vektorski dijagram:



Slika 98: Trofazni namot u trokut-spoju i vektorski dijagram napona

Pri spoju u trokut, linijski napon  $U_L$  jednak je faznom  $U_F$ , a linijska struja  $I_L$  jednaka je vektorskoj razlici struja dviju faza:

$$U_L = U_F$$

$$I_L = \sqrt{3} * I_F$$

### 1.129. Snaga P trofazne struje

Snaga P [W] trofazne struje trošila spojena u trokut ili zvijezdu ista je u oba spoja i data je jednačinom, pri čemu su napon U i struja I linijske veličine:

$$P = 1,73 * U * I * \cos \varphi \text{ [W]}$$

#### Primjer zadatka za bolje razumijevanje

Koliki je faktor snage  $\cos \varphi$  ako je snaga trofaznog motora  $P = 8,5 \text{ kW}$  i nazivna struja  $I = 18 \text{ A}$ ?

$$P = 1,73 * U * I * \cos \varphi \text{ [W]}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{1,73 * U * I} = \frac{8500}{1,73 * 380 * 18} = 0,718$$

## 2. SIGURNOST U PRIMJENI ELEKTRIČNE ENERGIJE

### 2.1. Djelovanje električne struje na čovjeka

#### 2.1.1. Prolaz električne struje kroz tijelo

Kad se dijelovi čovječjeg tijela nađu pod djelovanjem napona  $U_d$  (dodirni napon), kroz njih u strujnom krugu teče struja  $I_t$ . Preko čovjeka se može zatvoriti strujni krug ako:

- dodirne vodiče između kojih postoji napon,
- dodirne vodič pod naponom prema zemlji,
- dodirne kućište uređaja koje je zbog kvara pod naponom,
- nađe se blizu uzemljivača kojim protječe struja,
- nađe se u jakom električnom polju.

Jakost struje ovisi o naponu i otporu tijela  $R_t$  između kontaktnih točaka prema Ohmovom zakonu:

$$I_t = \frac{U_d}{R_t} [\text{A}]$$

#### 2.1.2. Otpor čovječjeg tijela

Otpor tijela uglavnom je pri niskim frekvencijama djelatnog karaktera (harmonički napon i struja su u fazi) i sastoji se od otpora kože na mjestima dodira i otpora unutrašnjosti tijela.

Otpor kože (varira od desetak oma do preko 50 k $\Omega$ ) ovisi o njenoj čistoći i vlažnosti, o debljini i strukturi, te se smanjuje s povišenjem napona. Veća površina kontakta i veći pritisak na dijelove pod naponom smanjuju otpor kože.

Unutrašnjost tijela sadrži mnogo tekućine koja ima svojstva elektrolita i stoga je vodljiva. Otpor unutrašnjosti tijela prosječno je 500 do 800  $\Omega$ ; ovisi o dužini i presjeku puta struje, o individualnim značajkama osobe, o pripremljenosti na prolaz struje, tjelesnoj kondiciji, čak i o psihofizičkom stanju. Duži prolaz struje zagrijava tijelo, ono se pritom i znoji, što smanjuje otpor. Veće struje karboniziraju tkivo, pa se stoga otpor može još smanjiti.

Otpor tijela procjenjuje se u proračunima zaštite za najnepovoljnije okolnosti koje u praksi mogu nastupiti. Propisima je određen iznos od 2000  $\Omega$  pri normalnim i 1000  $\Omega$  pri otežanim uvjetima. Otežani su uvjeti specificirani u vlažnom okolišu, skućenim vodljivim prostorima, rudnicima, poljoprivredi, u primjeni dječjih igračaka i sl.

Otporu tijela uvijek se pribrajaju prijelazni otpori oba dodirna mjesta, vrlo promjenljivi u različitim fizikalnim okolnostima. U najnepovoljnijim okolnostima prijelazni se otpori pretpostavljaju tako malenima da se zanemaruju prema otporu tijela.

### **2.1.3. Djelovanje električne struje na ljudski organizam**

Djelovanje prolaska struje kroz organizam očituje se kao:

- toplinsko (nastanak opekotina),
- mehaničko (pojava razaranja tkiva),
- kemijsko (elektrolitičko rastvaranje plazme),
- biološko (grčenje tkiva, paraliza disanja, treperenje srca).

Posljedice prolaska električne struje kroz ljudsko tijelo ovise o:

- jakosti struje,
- trajanju prolaza struje,
- putu prolaza,
- individualnim svojstvima organizma.

**Jakost struje** pri 50 Hz između ruke i noge prosječno ima sljedeći utjecaj:

- 0,6-1,5 mA – početak osjeta, lagano podrhtavanje prstiju,
- 2-3 mA – jako podrhtavanje prstiju,
- 5-10 mA – grč šake,
- 12-15 mA – ruke se teško odvajaju od elektroda, snažni bolovi u prstima i rukama, bol se može trpjeti 5-10 sekundi,
- 20-25mA – paraliza ruku, vrlo jaki bolovi, otežano disanje,
- 50-80 mA – paraliza disanja, početak treperenja srčanih klijetki,
- 80-80 mA – paraliza disanja, paraliza rada srca,
- iznad 3A – paraliza disanja i rada srca pri djelovanju dužem od 0.1 sekunde, razaranje tkiva toplinskim djelovanjem struje.

**Trajanje prolaza struje kroz organizam** od znatnog je utjecaja na ozljede. Posljedice su kod struja preko nekoliko desetaka miliampera, razmjerne naboju:

$$Q = I \cdot t [\text{As}]$$

koji prolazi tijelom Prolaz naboja do 20 mAs ne ostavlja teže posljedice, dok preko 70 mAs može izazvati čak i smrt.

Opasnost opada s porastom *frekvencije* tek od 1000 Hz naviše. U slučaju 50 Hz struja do 20 mA je većinom bez posljedica. Vrlo visoke frekvencije mogu prolazom kroz tkiva izazvati biološki povoljne učinke, pa se koriste u medicinske svrhe.

Put prolaza struje kroz organizam ima bitan utjecaj na opasnost.

***Najopasniji su slučajevi ruka-ruka, ruka-noga, glava-noga.***

**Individualna svojstva organizma** npr. fizička kondicija, pripremljenost na strujni udar, bolesti pluća i srca i si. Imaju utjecaj na iznos struje i opasnost.

Kod niskog napona (do 1000 V) kroz čovjeka u nesretnom slučaju prolaze struje ispod 500 mA uzrokujući *strujni udar* (bez osobitih vanjskih vidljivih znakova, ali s mogućim fatalnim unutrašnjim pojavama) ili lokalne *električne traume* (opekotine, strujni bilježi, elektrometalizacija). Popratna pojava pri ozljeđivanju električnom strujom je šok, a u praksi su zamijećene i zakašnjele posljedice.

#### 2.1.4. Granice opasnih napona

Zbog sprječavanja opasnosti propisuju se odgovarajuće mjere zaštite. Pri mrežnoj frekvenciji 50 Hz propisana je u normalnim uvjetima granica opasnog napona 50 V, a za istosmjerne mreže 120 V. U specificiranim težim okolnostima (gradilišta, poljoprivreda, rudnici, dječje igračke) iznosi su dvostruko manji.

Tablica 1:  $U_d - t$  značajke granica opasnih napona dodira

$U_d(\text{V})$	50	75	90	110	150	220	280	350	500
$T(\text{s})$	5	0,6	0,45	0,36	0,27	0,17	0,12	0,08	0,04

Viši naponi dodira  $U_d$  imaju kraće dozvoljeno trajanje  $t$  prema Tablici 1.

Uređaji za zaštitu trebaju isključiti strujne krugove u navedenom vremenu. Na primjer, ako je čovjek izložen dodirnom naponu iznosa 220 V, kroz tijelo će poteći struja 0,11 A.

$$I_t = U_d / R_t = 220 / 2000 = 0,11 \text{ A}$$

Dakle, uz pretpostavku standardnog otpora  $2000 \Omega$  poteći će struja koja može biti opasna po život, stoga smije trajati najviše 0,17 sekundi. U tome vremenu kroz tijelo će proći naboj iznosa:

$$Q=It=0,11 \cdot 0,17=18,7 \text{ mAs}$$

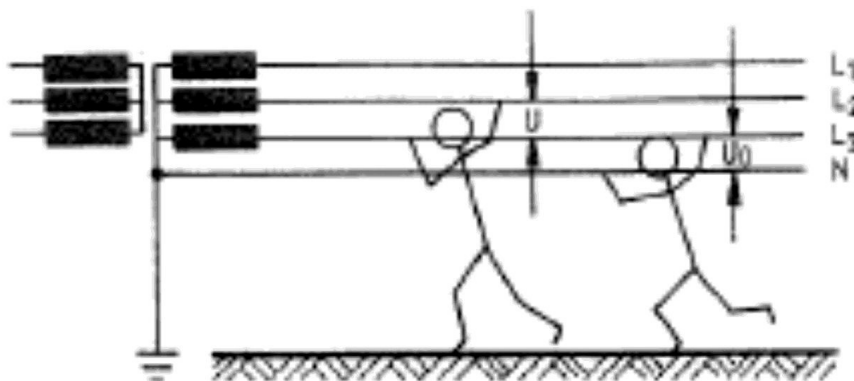
koji ne izaziva teže posljedice.

Napon od 50 V prouzročit će pri otporu tijela  $2000 \Omega$  struju 25 mA, koja se bez težih posljedica može podnositi 5 sekundi.

## 2.2. Vrste opasnosti od električne energije

Razlikuju se tri slučaja direktnog (izravnog) dodira s postrojenjem:

1. izravan dodir dva vodiča pod naponom,
2. dodir vodiča pod naponom u slučaju el. mreža s izravnim uzemljenom neutralne točke,
3. dodir vodiča pod naponom u slučaju el. mreža s izoliranom neutralnom točkom u mreži.



Slika 99: Izravni dodir među vodičima različitih faza

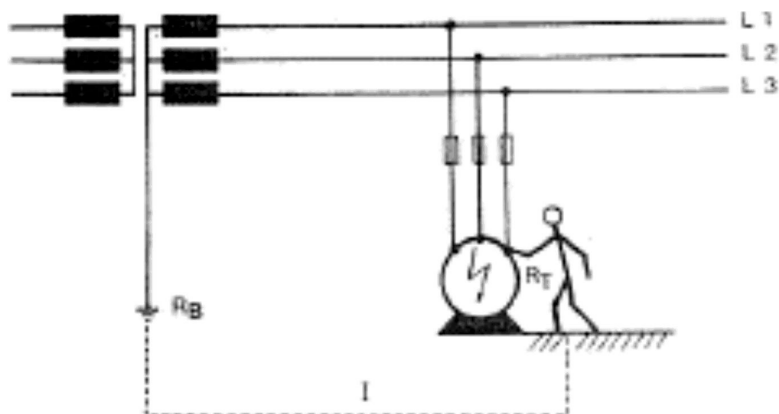
### 2.2.1. Opasnost približavanja vodičima visokog napona

Čovjek, stojeći na zemlji, ima potencijal zemlje, a vodič pod naponom znatno viši potencijal prema zemlji. Između čovjeka i vodiča postoji električno polje. Električno polje napreže zrak te ima svojstvo izolatora. Što se čovjek više približava vodiču, to je el. polje jače, a naprezanje zraka veće. Pri nekoj kritičnoj udaljenosti, doći će do proboja zraka, nastat će el. iskra ili moguće el. luk. Struja će proteći kroz tada „vidljivi“ zrak i kroz tijelo čovjeka.



### 2.2.2. Indirektni dodir

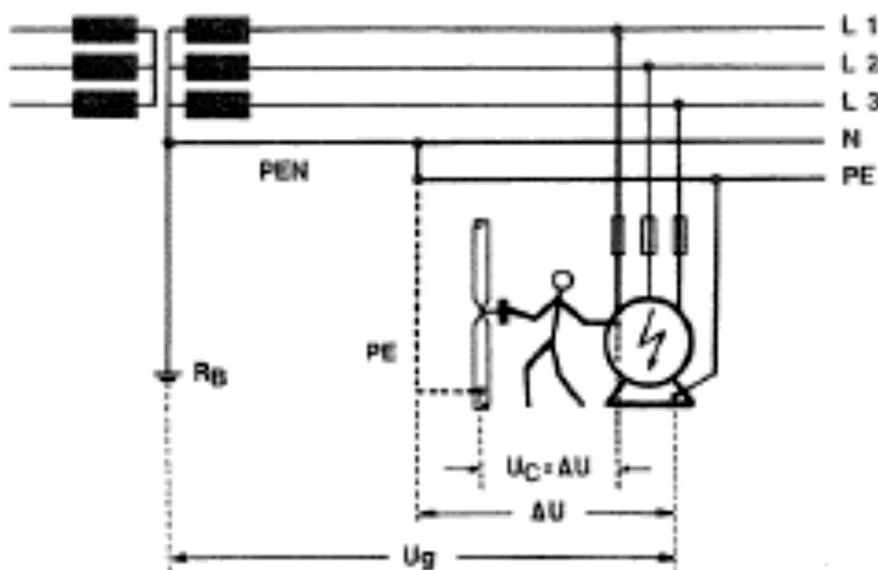
Ozljede uzrokovane el. strujom najčešće nastaju zbog oštećene i neispravne izolacije na el. uređajima, te isti poprimaju napon prema zemlji. Dodirne li se takav uređaj, zatvara se strujni krug i struja protječe od kućišta, preko tijela u zemlju i zatvori se preko trošila (Slika 100).



Slika 100: Dodir kućišta pri proboju izolacije vodiča uređaja

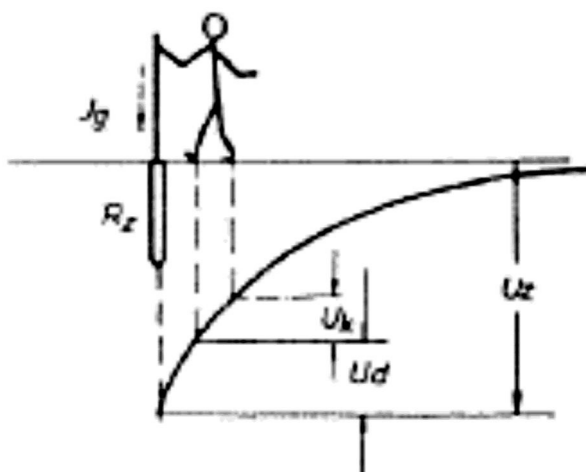
### 2.2.3. Napon dodira i koraka

Zbog kvara na izolaciji vodiča, kućište trošila poprima prema zemlji napon koji se naziva *napon kvara*  $U_g$ . Napon koji nastaje kada čovjek, odmaknut od uzemljivača, dodirne uzemljivač, te svojim tijelom premosti dvije točke različitih potencijala definira se *napon dodira*  $U_d$ . *Napon koraka* nastaje kada čovjek hoda u blizini uzemljivača, te svojim korakom premosti dvije točke različitog potencijala na površini zemlje.



Slika 101: Uz definiciju napona dodira i koraka

Raspored potencijala na površini zemlje oko uzemljivača postrojenja bitan je zbog potencijalnih razlika (napona) koje mogu djelovati na ljude i ostale u blizini uzemljivača. Pritom se razlikuje napone koje čovjek realizira dodirom te isti nastane kada je čovjek u blizini uzemljivač tog sustava.



Slika 102: Raspored potencijala oko uzemljivača

U slučaju da uzemljivačem teče struja greške  $I_g$ , na otporu uzemljenja nastaje napon raspodijeljen u području uzemljivača prema raspodijeli otpora, i u slučaju štapnog uzemljivača približno ima oblik kao na Slici 104.

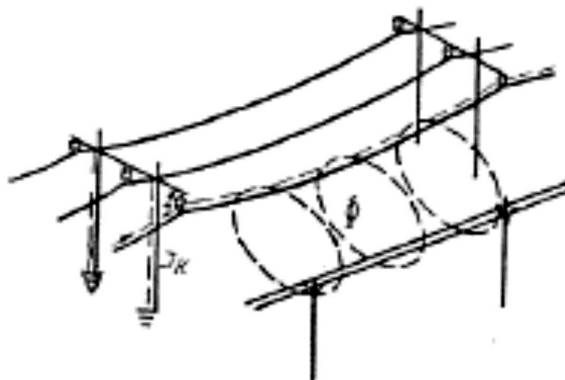
Električni potencijal se smanjuje s udaljenošću od uzemljivača i teži vrijednosti nula (praktično na udaljenosti većoj od približno peterostruke dubine uzemljivača). Napon dodira na jedan metar od uzemljivača ne smije u niskonaponskim mrežama biti veći od 50 V. Najveći napon između dvije točke na zemlji udaljene jedan metar naziva se *napon koraka* i također ne smije iznositi više od 50 V. U visokonaponskim postrojenjima dozvoljava se i veći naponi dodira i koraka, ali u vrlo kratkom dopuštenom vremenu. Opasnosti previsokih napona dodira i koraka postoje i u slučaju gromobranskih instalacija.

#### 2.2.4. Inducirani napon

Inducirani napon može biti izazvan elektrostatičkim ili elektromagnetskim utjecajima. Opasnost od induciranog napona postoji:

1. pri radu u blizini visokonaponskih postrojenja,
2. pri radovima na paralelnim nadzemnim vodovima visokog napona,
3. u postrojenjima gdje zbog tehnološkog procesa teku znatne struje iznimno velike jakosti.

Na Slici 105 predočen je primjer induciranja napona kod paralelnih vodova.



Slika 103: Uz pojam „inducirani napon“ paralelnih vodova na istom stupu

### 2.2.5. Električni luk

Električnim lukom naziva se tzv. samostalno izbijanje u plinovima i metalnim parama koje nastupaju između dvije elektrode, odnosno prilikom prekidanja el. krugova (istosmjerne ili izmjenične struje).

Električni luk, kao posljedica prekidanja električne struje ima znatan utjecaj na EES odnosno na mrežu i potrošače, u smislu kvalitete električne energije.

### 2.2.6. Statički elektricitet (električni naboj)

Statički elektricitet općenito nastaje:

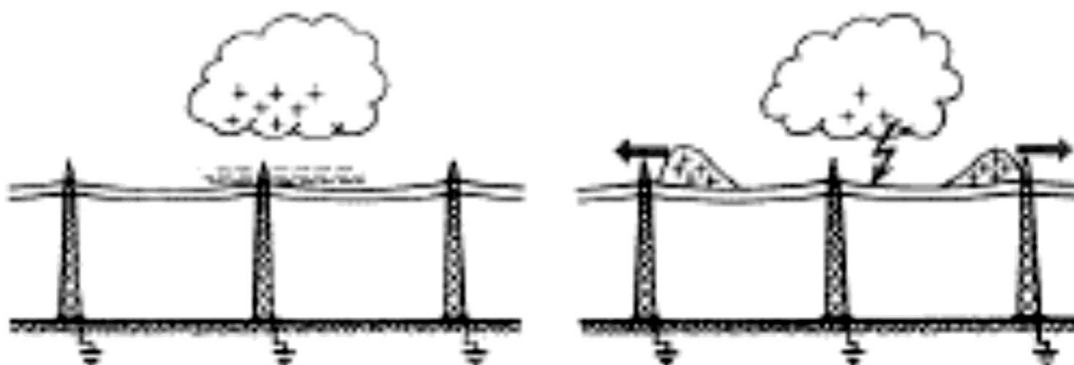
- ako se dvije izolirane elektrode priključe na izvor istosmjernog napona i tada odvoje od napona,
- ako se dvije različite tvari taru i tada razdvoje,
- električnom influencijom,
- u slučaju pojave kondenzatora kome se isklopi izmjenični napon.

### 2.2.7. Atmosferski i sklopni prenaponi

Prenapon je kratkotrajno povišenje napona u instalaciji i mreži nastalo zbog vanjskih ili unutarnjih uzroka (pojava).

Unutarnji ili sklopni prenaponi nastaju u prijelaznim pojavama prilikom pogonskih sklapanja, kvarova i isklapanja kvarova. Iznosi ovise o brzini djelovanja sklopnih uređaja, o iznosima i lokaciji kapaciteta i induktiviteta u mreži i načinu uzemljenja.

Prenaponi iz vanjske mreže nastaju od uzroka izvan mreže, obično preko nadzemnih vodova. To može biti utjecaj druge mreže (npr. dodir ili proboj s visokog napona) ili, češće, posljedica udara munje u instalaciju ili uz istu. Tipičan oblik prenapona uzrokovanog udarom munje predočava Slika 104. Prenapon se od mjesta udara širi po mreži ("putuje") uz brzo prigušenje. Električne se instalacije od prenapona štite prenaponskim odvodnicima i iskrištima.



Slika 104: Stvaranje tzv. putujućeg prenapona uslijed udara munje u nadzemni vod

### 2.2.8. Utjecaj električnog i magnetskog polja na čovjeka

Čovječje se tijelo može u odnosu na tvari kojima je okruženo smatrati vodljivim, dakle elektrodom. Kako u elektrodama u statičkom električnom polju zbog influencijskih učinaka nema polja, nema ga niti u čovjeku. Stoga nisu primijećeni posebni učinci statičkog električnog polja uobičajenih iznosa u životnom okolišu na čovjeka.

U izmjeničnom električnom polju influencijski učinci izazivaju struju u tijelu ovisnu o kapacitetima čovječjeg tijela prema izvoru polja.

U magnetskom se smislu ljudsko tijelo ne razlikuje od nemagnetičnog okoliša. Nisu dokazane statistički značajne posljedice izlaganja čovjeka magnetskom polju s iznosima i frekvencijama koji se susreću u elektroenergetici. Dodatni iznosi magnetske indukcije kojima su izloženi čak i djelatnici u elektroenergetskim postrojenjima višestruko su manji od magnetske indukcije Zemlje. Ipak se u novije vrijeme pažljivo istražuje mogući utjecaj elektromagnetskog polja energetskeg sustava na zdravlje jače izloženih kategorija populacije.

Izlaganje čovjeka snažnim elektromagnetskim poljima visokih frekvencija (neposredna blizina usmjerenih antena odašiljača velike snage) može prouzročiti oštećenja unutrašnjih organa i psihičke smetnje.

## 3. TEHNIČKA SIGURNOST PRI IZVEDBI POSTROJENJA NN

### 3.1. Vrsta distributivnih sustava niskog napona

Električna energija distribuira se potrošačima u širokoj potrošnji mrežama niskog napona (do 1000 V). Vrsta mreža određuje se brojem i tipom prijenosnih vodiča, te vrstom sustava uzemljenja. U mrežama se susreću sljedeći tipovi sustava:

- jednofazni sustavi s 2 i 3 vodiča,
- dvofazni sustavi s 3 i 5 vodiča,
- trofazni sustavi s 3,4 i 5 vodiča,
- istosmjerni sustavi s 2 i 3 vodiča.

Sustavi uzemljenja označuju se s dva slova. Prvim se slovom označava odnos između mreže i uzemljenja:

- T – jedna točka mreže spojena IZRAVNO sa zemljom (npr. zvjezdište).
- I – svi dijelovi mreže izolirani od zemlje ili jedna točka mreže spojena impedancijom sa zemljom.

Drugim se slovom označuje odnos između „dohvatljivih“ vodljivih dijelova (npr. kućišta trošila i postrojenja) i uzemljenja:

- T – direktni spoj „dohvatljivih“ vodljivih dijelova sa zemljom,
- N – direktni spoj „dohvatljivih“ vodljivih dijelova s uzemljenom točkom sustava mreže (npr. uzemljena neutralna točka).

Uz drugo slovo može se naći dodatno slovo za označavanje odnosa neutralnog i zaštitnog vodiča.

S obzirom na uzemljenje zvijezdišta razlikuju se tri osnovna tipa NN mreža, a to su: TN, TT i IT:

- T – izvorno spojena jedna točka mreže na zemlju,
- I – svi aktivni dijelovi mreže su izolirani od zemlje,

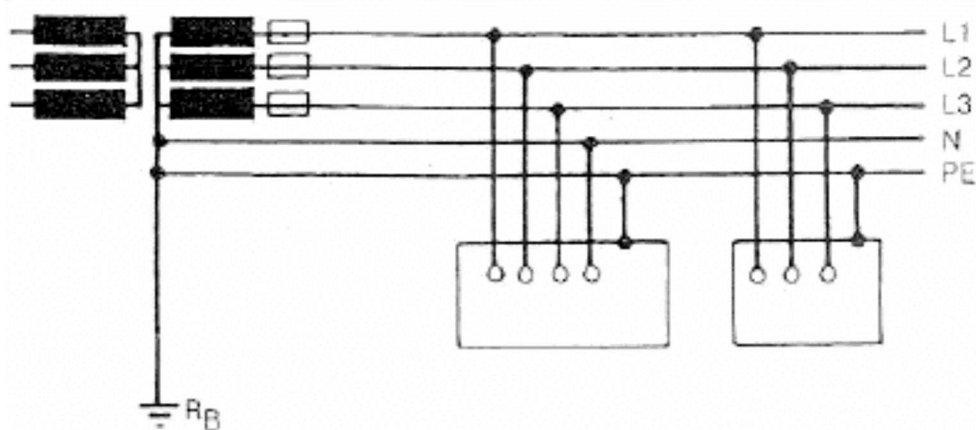
Drugo slovo označava odnos između dohvatljivih vodljivih dijelova i uzemljenja:

- T – izravno električno spajanje na zemlju,
- N – izravno električno spajanje dohvatljivih vodljivih dijelova na uzemljenu točku.

### 3.2. TN, TT i IT sustav

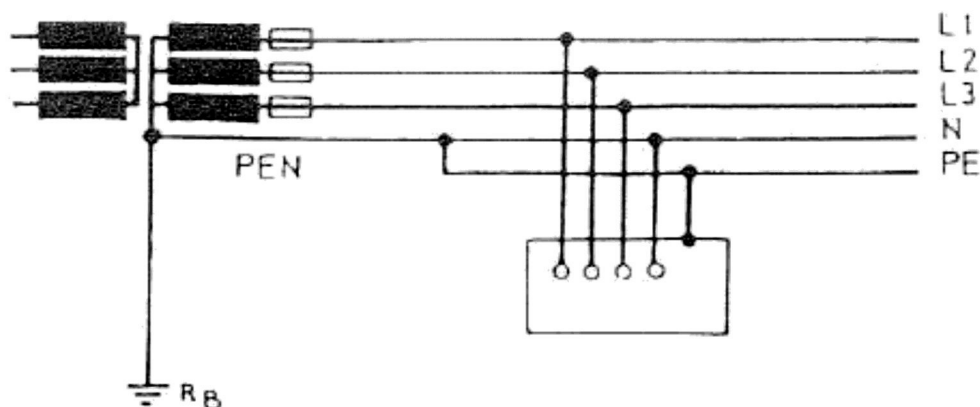
TN sustav ima jednu neutralnu točku sustava koja je izravno spojena sa zemljom; TN sustav se dijeli na: TN-S sustav, TN-C-S sustav i TN-C sustav.

U TN-S sustavu je zaštitni vodič (PE) odvojen od neutralnog vodiča (N) i pogonska struja ne teče kroz zaštitni vodič.



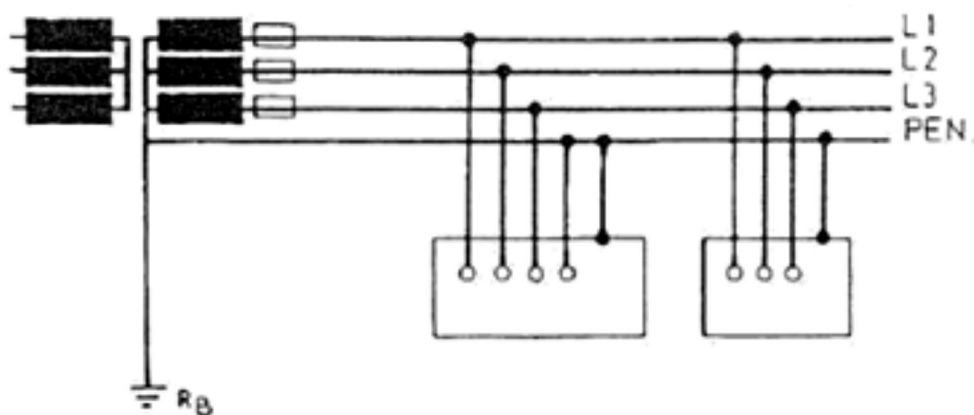
Slika 105: TN-S sustav, razdvojeni neutralni i zaštitni vodič u cijeloj mreži

TN-C-S je sustav u kojemu PEN vodič ima funkciju i zaštitnog i neutralnog vodiča, a u drugom dijelu zaštitni vodič je odvojen od neutralnog vodiča (Slika 106).



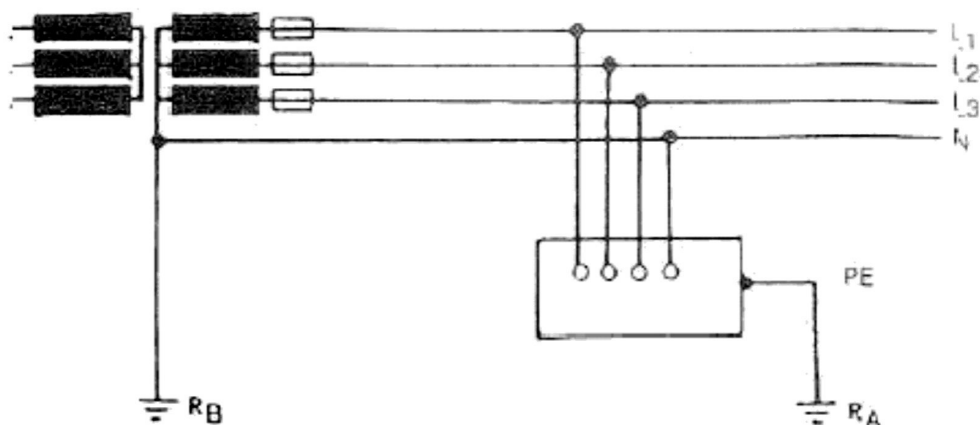
Slika 106: TN-C-S sustav, neutralni i zaštitni vodič sjedinjeni samo u dijelu mreže

Sustav koji u cijeloj mreži ima sjedinjeni zaštitni vodič i neutralni vodič u jedan PEN vodič naziva se TN-C sustav (Slika 107).



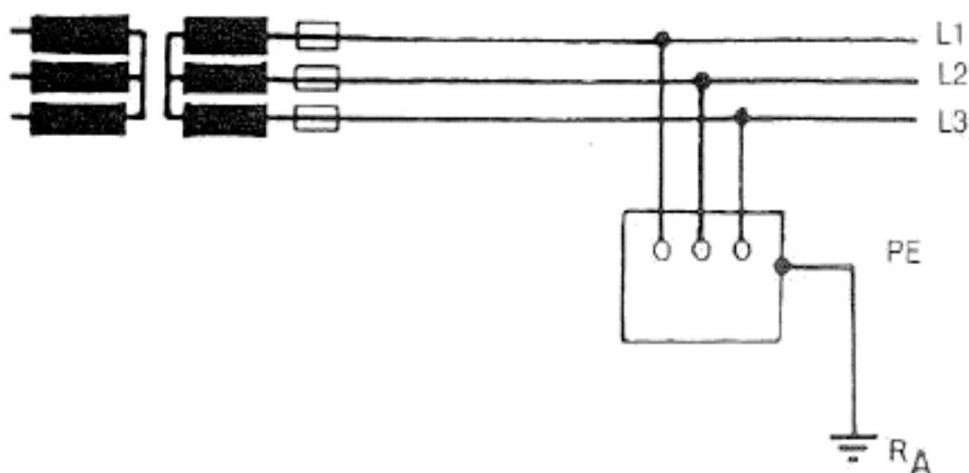
Slika 107: TN-C sustav, sjedinjeni zaštitni i neutralni vodič u jedan PEN vodič u cijeloj mreži

U slučaju TT sustava je neutralna točka s jednim uzemljivačem, a kućišta i trošila su uzemljena preko drugih uzemljivača (Slika 108).

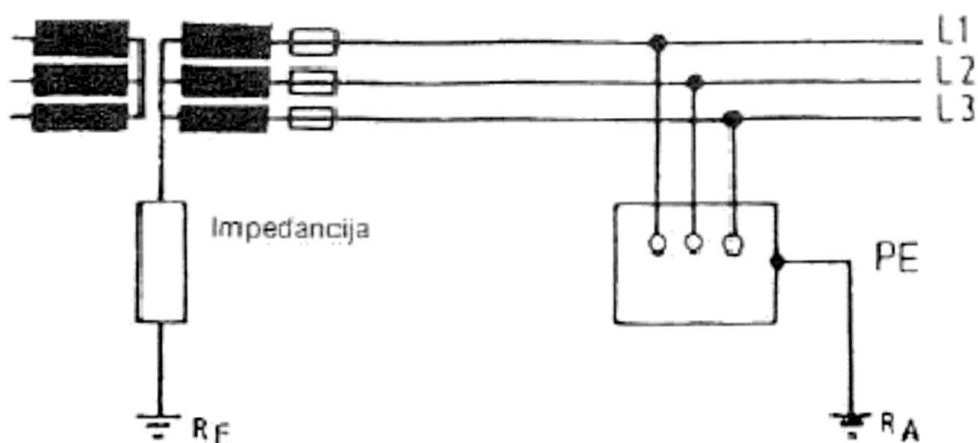


Slika 108: TT sustav, razdvojena pogonska i zaštitna uzemljenja

U slučaju IT sustava su svi aktivni vodiči izolirani od zemlje ili su u jednoj točki spojeni sa zemljom (Slika 109 i Slika 110).



Slika 109: IT sustav, izolirano zvijezdište i uzemljeno kućište trošila



Slika 110: IT sustav s uzemljenim zvjezdištem preko velike impedancije

### 3.3. Uzemljenja prema namjeni

Uzemljenje je galvansko povezivanje nekog dijela postrojenja sa zemljom.

**Uzemljenje se dijeli na pogonsko, odvodničko te zaštitno:**

- Pogonsko se sastoji u spajanju dijelova koji pripadaju radnom strujnom krugu sa zemljom.
- Odvodničko uzemljenje koristi se za uzemljenje posebnih namjena.
- Zaštitno uzemljenje spaja se sa zemljom, uključujući sve dijelove postrojenja.

### 3.4. Zaštita od direktnog dodira

Zaštitu od direktnog dodira dijelova pod naponom postizemo sljedećim načinima:

- izoliranjem,
- ugrađivanjem pregrada ili kućišta,
- ograđivanjem preprekama,
- postavljanjem izvan dohvata rukom,
- dopunskom zaštitom uređajima diferencijalne struje.

**Zaštita dijelova pod naponom izoliranjem:**

- zaštitno izoliranje treba spriječiti svaki dodir dijelova pod naponom.

**Zaštita pregradama:**

- takvom vrstom zaštite sprječava se svaki dodir dijelova pod naponom.



### **Zaštita preprekama:**

- takvom vrstom zaštite sprječava se samo slučajan dodir.

### **Postavljanjem izvan dohvata rukom:**

- takvom zaštitom postiže se samo zaštita od slučajnog dodira.

### **Dopunska zaštita uređajima diferencijalne struje:**

- ova vrsta zaštite ima funkciju samo kao dopunska i ne može zamijeniti niti jednu od propisanih zaštita od direktnog (izravnog) dodira.

## **3.5. Skupine zaštitnih mjera**

Razlikuje se zaštita od direktnog (izravnog) i indirektnog (neizravnog) dodira te istodobna zaštita od direktnog i indirektnog dodira:

- Zaštita u slučaju direktnog (izravnog) dodira – nalazi se pri radu s trošilima na električni pogon.
- Zaštita od indirektnog dodira – uslijed kvara na izolaciji koje nisu pod naponom mogu doći pod napon i predstavljati opasnost.
- Jednakovremena zaštita – gdje su loši uvjeti i gdje je stupanj opasnosti znatan to je najučinkovitija mjera od utjecaja električne struje, a u svezi je sa smanjivanjem napona na vrijednosti ispod granice tzv. opasnih napona.

## **3.6. Izjednačavanje potencijala**

Izjednačavanje potencijala postiže se međusobnim galvanskim spajanjem svih metalnih dijelova. Izvodi se u sklopu izvedbe električnih instalacija.

Ne navodi se kao jedna od osnovnih zaštitnih mjera od preniskog napona dodira, budući da se smatra da sama (zaštitna mjera) za sebe nije uvijek dovoljna.

## **3.7. Uređaji klase 2**

Uređaji klase 2 su uređaji koji se opremaju pogonskom i tzv. dopunskom zaštitnom izolacijom koja onemogućava dodirivanje ili spoj s vodljivim dijelovima uređaja. Takva zaštita postiže se izradom kućišta od izolacijskih materijala, ugrađivanjem dopunske izolacije, postavljanjem pojačane izolacije na neizolirane dijelove.

### **3.8. Zaštita električnog odvajanja**

Zaštitno djelovanje je zaštitna mjera od opasnosti indirektnih (neizravnih) dodira dijelova pod naponom.

Strujni krug trošila se pomoću transformatora za odvajanje ili motor-generatora galvansko odvaja od ostale električne mreže.

### **3.9. Uređaj diferencijalne struje**

Zaštitni uređaj diferencijalne struje je zaštitni uređaj, ali ne štiti od preopterećenja. Naziva ga se u električarskom žargonu „FID“ sklopka Osnovna uloga FID sklopke je da spriječi prisustvo dodirnog napona struje na mjestima gdje se on inače ne smije pojavljivati. Ta mjesta mogu biti: metalna kućišta štednjaka, perilice, bojlera.

FID sklopka ne može djelovati sama, ista treba biti u sustavu koji ima izvedeno zaštitno uzemljenje.

### **3.10. Uvjeti zaštite na gradilištima**

Gradilišta se smiju napajati iz vlastitih transformatorskih stanica ili vlastitih agregata javne niskonaponske mreže ili iz industrijske mreže.

Instalacija treba sadržavati priključne i razdjelne ormariće u koje se ugrađuju sljedeći uređaji:

- zaštitni uređaji od preopterećenja,
- zaštitni uređaj od indirektnog (neizravnog) dodira,
- uređaj za tzv. hitno isključenje,
- priključnice,
- uređaj za rastavljanje,
- transformator za razdvajanje.

FID sklopka – diferencijalna sklopka služi za mjerenje ravnoteže struje u sklopki i njeno diferenciranje, drugim riječima, FID prati ulaz i izlaz potencijala.

### **3.11. Pravila i mjere sigurnosti pri radovima na električnim postrojenjima**

#### **3.11.1. Struktura mjera sigurnosti pri radovima na postrojenjima**

Pri obavljanju radova na električnim postrojenjima bitno je ostvariti siguran način rada, dakle primjenjivati bitne postupke koji osiguravaju siguran način rada.

Mjere sigurnosti pri radovima na električnim postrojenjima, može se strukturirati u tri skupine:

- općenite,
- organizacijske,
- tehničke.

**Općenite mjere sigurnosti** redovito su određene pravilnicima o zaštiti na radu, a odnose se, primjerice, na prava i dužnosti zaposlenika, stručne i posebne uvjete zaposlenika i slično.

**Organizacijske mjere sigurnosti** predstavljaju skup mjera organizacijske prirode kojima se određuje ulazak i kretanje zaposlenika u električna postrojenja, davanje ovlaštenja i odgovornosti pojedinim osobama u fazi pripreme i tijekom rada, kojima se zapovijeda i provjerava provođenje mjera sigurnosti i pogonskih operacija tehničkog obilježja.

**Tehničke mjere sigurnosti** sačinjavaju primjenu određenih tehničkih sredstava, rukovanje uređajima i aparatima, te razni propisani postupci u svrhu maksimalnog osiguranja života i zdravlja zaposlenika koji izvode radove.

#### **3.11.2. Rukovođenje radovima**

Radom u električnom postrojenju rukovodi samo jedna osoba, a to je **ovlašteni rukovoditelj radova**.

Za svaki rad treba biti određen ovlašteni rukovoditelj radova, koji treba biti prisutan na mjestu rada.

Nijedna druga osoba nema pravo zapovijedati zaposlenicima izvan ovlaštenog rukovoditelja radova.

Rukovoditelj radova u električnim postrojenjima može biti samo osoba koja ima odgovarajuću elektroenergetsku spremu i položen ispit elektroenergetskog inspektora. On je najodgovornija osoba za primjenu mjera zaštite na radu za vrijeme obavljanja radova pod njegovim nadzorom.

Radove mogu obavljati samostalno stručno kvalificirane osobe.

Samostalno obavljanje radova u postrojenjima može se povjeriti samo kvalificiranim osobama s dovoljnim stručnim iskustvom i odgovarajuće kvalifikacije, čije područje je elektroenergetika, a koje poznaju postrojenja, te okolnosti koja vladaju u tim postrojenjima i koje su osposobljene za rad na siguran način.

### **3.11.3. Koliko zaposlenika radi u zoni opasnosti VN postrojenja?**

U zoni opasnosti visokonaponskih postrojenja i vodova trebaju raditi **najmanje dvojica zaposlenika**. Visoki stupanj opasnosti i složenost radova zahtijevaju najmanje dva zaposlenika za radove u zoni opasnosti. Od dva zaposlenika jedan treba biti kvalificiran. Iznimno od navedenog načela, dozvoljeno je izvođenje osiguranja mjesta rada samo jednom zaposleniku.

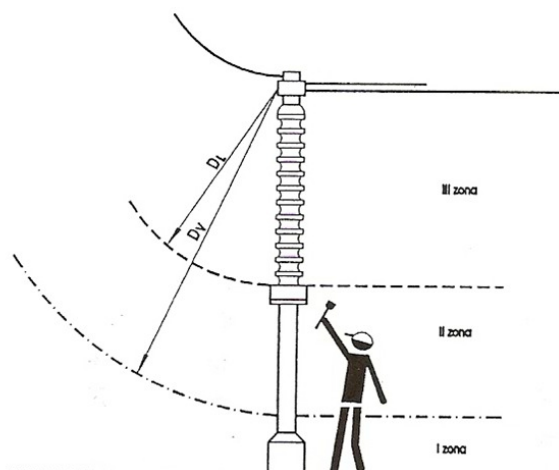
U zoni opasnosti visokonaponskih postrojenja iznimno može obavljati radove i jedan zaposlenik ako mu se u tom smislu izda «Nalog za rad» ili ako je izvođenje određenih radova na taj način predviđeno internim uputama organizacije

## **3.12. Zone opasnosti**

Stupanj opasnosti nije jednak u svim dijelovima električnih dijelova postrojenja. U ovisnosti o stupnju opasnosti, a radi jasnog određivanja prava kretanja osoblja unutar električnih postrojenja, električna postrojenja se dijele na tri zone:

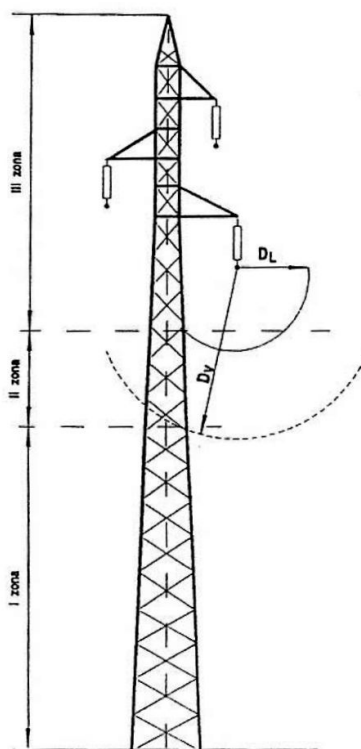
- I. zona – zona slobodnog kretanja,
- II. zona – zona približavanja,
- III. zona – zona opasnosti.

Podjela vanjskog električnog rasklopnog postrojenja na zone i položaj zaposlenika predočena je na Slici 111.



Slika 111: Primjer podjele vanjskog električnog rasklopnog postrojenja s obzirom na položaj zaposlenika

Podjela nadzemnog voda na zone predočena je na Slici 112.



Slika 112: Primjer podjela na zone opasnosti nadzemnog voda

### 3.12.1. 1. zona – ZONA SLOBODNOG KRETANJA

Predmetna zona su prostori i prostorije električnih postrojenja visokog i niskog napona koje nisu obuhvaćene ni zonom opasnosti ni zonom približavanja, u kojima zaposlenik svojim neopreznim postupkom ne može izazvati isklup ili uklop dijelova postrojenja, niti tijelom, niti alatom doći u opasnu blizinu dijelova pod naponom.

**Zona slobodnog kretanja obuhvaća:**

- tehničko-administrativne prostorije, radionice, montažne tornjeve, garaže, skladišta, garderobe i sanitarne prostorije, te druge obične prostore uz električno postrojenje,
- glavne prometnice koje povezuju spomenute prostorije i prostore, te sve ostale prostore koji su odijeljeni zidom ili ogradom od dijelova pod naponom, tako da ih se ne može dodirnuti niti dugačkim alatom ni dugačkim predmetima,
- sav prostor izvan zone približavanja visokog i niskog napona,
- dio dalekovodnih stupova do zone približavanja.

**3.12.2. 2. zona – ZONA PRIBLIŽAVANJA**

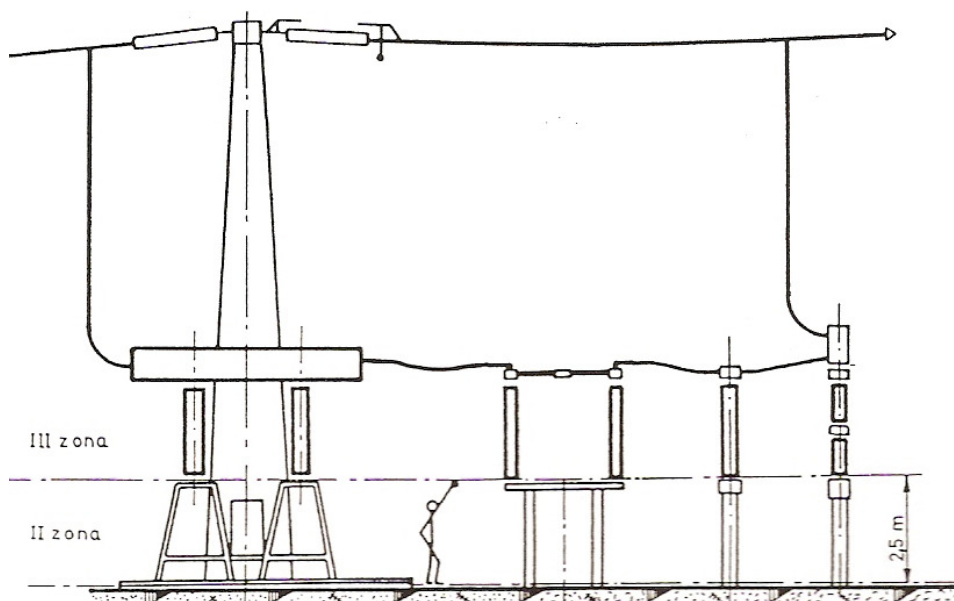
Zona 2 je prostor u području zone opasnosti omeđen graničnim razmakom DV od dijelova pod naponom. Granični razmak DV dobiva se na taj način da se graničnom razmaku zone opasnosti DL pridodaju sljedeće vrijednosti:

- za niskonaponske instalacije 500 mm,
- za postrojenja visokog napona do uključivši 110 kV nazivnog napona dodatak od 1000 mm,
- za postrojenja viših nazivnih napona iznad 110 kV dodatak od 2000 mm.

Zbog jednostavnijeg određivanja pravila za kretanje i boravak zaposlenika u postrojenjima, u 2. zonu – zonu približavanja su uvršteni i sljedeći prostori i prostorije:

- prostorije električne komande,
- generatorske i turbinske prostorije elektrana,
- prostorije za smještaj agregata vlastite potrošnje,
- prostorije za smještaj zaštitne, relejne i informatičke opreme,
- akumulatorske i kompresorske prostorije,
- kabelski prostori,
- cijeli prostor ispod aparata visokog napona u vanjskim rasklopnim postrojenjima visoke izvedbe, bez obzira što jedan dio tog prostora, isti uz zemlju, može biti i u 1. zoni.

Proširenje zone približavanja u vanjskim visokonaponskim postrojenjima predočena je na Slici 113.

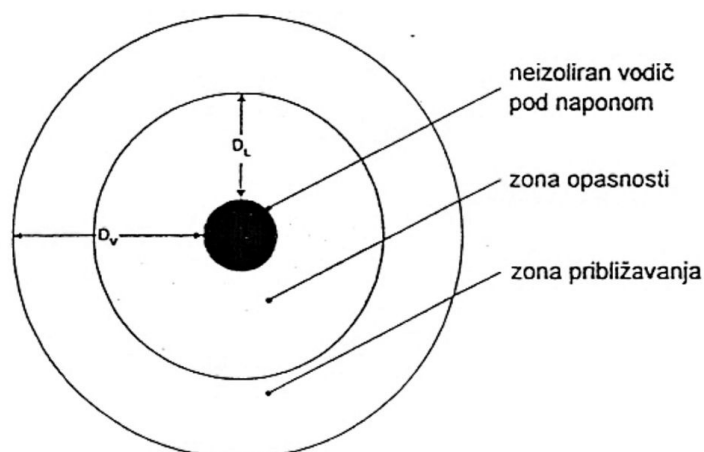


Slika 113: Područje približavanja u VN postrojenjima

### 3.12.3. 3. zona – ZONA OPASNOSTI

Predmetna zona je prostor u području dijelova pod naponom na udaljenosti manjoj od minimalno dozvoljenog razmaka između vodiča pod naponom i uzemljenih dijelova, odnosno prostor oko dijelova pod naponom omeđen graničnim razmakom zone opasnosti DL.

#### Sigurnosni razmaci u zraku i podjela na zone



DL: Granični sigurnosni razmak za opasnu zonu  
DV: Granični razmak za zonu približavanja

Slika 114: Definicija sigurnosnih razmaka

Tablica 2: Granični razmaci zone opasnosti i zone približavanja

Nazivni napon mreže Un (kV)	Najviši pogonski napon Um (kV)	Granični razmak zone opasnosti DL (mm)	Granični razmak zone približavanja DV (mm)
<1	1	Bez kontakta	500
6	7,2	120	1120
10	12	150	1150
20	24	220	1220
35	38	320	1320
110	123	1150	2100
220	245	2300	4100
380	420	3400	5400

### Međusobno odjeljivanje zona

Područje III. zone – zone opasnosti u transformatorskim stanicama, rasklopnim postrojenjima, elektranama treba biti odijeljeno od ostalih zona propisanim ogradama, mrežama, zidovima ili razmacima u skladu s tehničkim propisima.

Sve prostorije koje se nalaze u zoni približavanja, a u istoj trajno ne borave zaposlenici, trebaju biti zaključane. Trebaju postojati dvije garniture ključeva, od kojih se jedna nalazi kod zaposlenika koji obavlja nadzor nad tim prostorima, a druga garnitura se nalazi kod višeg nadzornog organa.

#### 3.12.4. Kada je dozvoljen rad u zoni opasnosti

Za rad u zoni opasnosti treba se izdati «Nalog za rad». U pravilu se za svaki rad u zoni opasnosti treba izdati pisani nalog za rad. Odstupanje od pisanog naloga za rad može se dopustiti u iznimno hitnim slučajevima, a tada se nalog za rad izdaje usmeno. Osoba koja preuzima usmeni nalog za rad, treba ponoviti radni zadatak.

### 3.13. Nalog za rad

Nalog za rad je temeljna radna isprava kojom se određuje obavljanje radova u i na električnim postrojenjima i instalacijama visokog i niskog napona.

Izdaje se za sve radove u III. zoni električnih postrojenja, vodova i instalacija u beznaponskom stanju s osiguranjem mjesta rada, kao i za one radove u II. zoni kad je potrebno provesti jednu od sljedećih mjera zaštite:



- isključiti dio postrojenja pod naponom,
- postaviti čvrste zaštitne ograde,
- uspostaviti trajni nadzor.

Nalog za rad treba sadržavati najmanje sljedeće podatke:

- vrstu rada,
- točnu lokaciju i poziciju mjesta rada,
- vrijeme početka i planiranog završetka rada,
- ovlaštenog rukovoditelja radova,
- osobu ovlaštenu za osiguranje mjesta rada i izdavanje dozvole za rad (*Dopusnica za rad*),
- sažeti opis radova,
- potrebna isklapanja (mjesta odvajanja od napona),
- mjere zaštite,
- potpise izdavatelja i primatelja *Naloga za rad*,
- nadnevak izdanja *Naloga za rad*.

### **3.14. Dozvola za rad**

*Dozvola za rad* je radna isprava koja se izdaje za sve radove u beznaponskom stanju u III. zoni – zoni opasnosti, kao i za radove u zoni približavanja ako se, radi omogućavanja sigurnog rada, treba primijeniti jedna od sljedećih mjera zaštite:

- isključiti dio postrojenja pod naponom,
- postaviti zaštitne ograde, pregrade i oznake,
- uspostaviti trajan nadzor.

Svaka *Dozvola za rad* treba sadržavati najmanje sljedeće:

- nadnevak i sat izdavanja,
- točan naziv mjesta rada za koji se izdaje dozvola,
- provedene mjere za osiguranje mjesta rada,
- koji dijelovi postrojenja ostaju pod naponom,
- potpis osobe koja je izdala i primila dozvolu za rad.

### **3.15. Obavijest o završetku radova**

Nakon završetka radova na postrojenju, ovlašteni rukovoditelj radova dužan je provjeriti ispravnost postrojenja za pogon. Potom se s mjesta rada uklanja alat i naprave i udaljuju zaposlenici. Ukoliko je ovlašteni rukovoditelj bio dužan provesti neke mjere osiguranja prije početka rada, tada će se te mjere osiguranja ukloniti pod njegovim nadzorom.

Obavijest o završetku rada treba sadržavati izričite izjave:

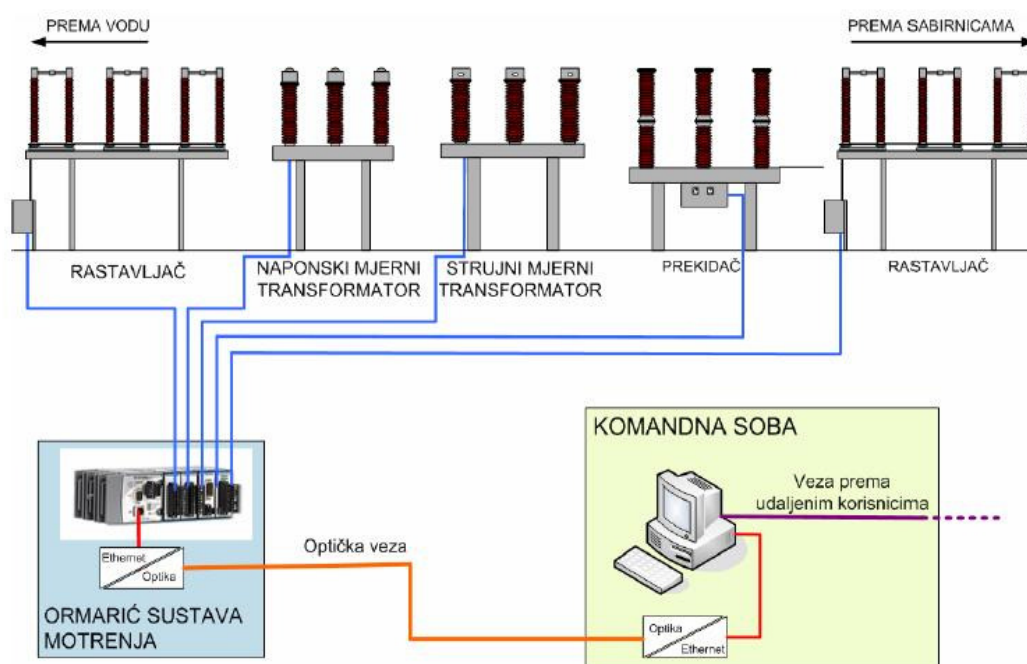
- da su svi radovi na određenom mjestu rada završeni,
- da su zaposlenici udaljeni s mjesta rada,
- da je uklonjen sav alat i naprave,
- da su uklonjene one mjere osiguranja koje je, moguće, postavljao ovlašteni rukovoditelj radova,
- da se postrojenje može staviti u pogon.

### 3.16. Mjere sigurnosti u rasklopnim postrojenjima, transformatorskim stanicama i elektranama

#### 3.16.1. Pregled i nadzor postrojenja

Sustav motrenja rasklopnog postrojenja radi na principu prikupljanja podataka sa senzora postavljenih po visokonaponskim aparatima u postrojenju te spremanja i obrade podataka na način da se korisniku sustava omogući uvid u trenutno i prošlo stanje opreme. (Pregled može provesti i visokokvalificirani radnik na licu mjesta, samo 1. i 2. zona)

Središnji dio sustava je smješten u ormariću sustava motrenja. Sustav je preko dva Ethernet kabela povezan sa središnjim serverom. Dakle, nadzor se može obavljati s mjesta koja su daljinski od samog postrojenja.



Slika 115: Principijelna shema spoja sustava nadzora rasklopnog postrojenja u jednom vodnom polju

### 3.16.2. Oprema montera (stručnjaka) u VN postrojenjima

Osnovna zaštitna oprema u VN postrojenjima:

- izolacijske motke,
- izolirana kliješta,
- indikatori napona.

Izolacijska sredstva za radove pod naponom većim od 1 kV:

- elektromonterski alat s izolacijskim ručicama – držačima,
- prijenosna naprava za uzemljenje i kratko spajanje,
- sredstva za ograđivanje i izoliranje od dijelova pod naponom i oznake upozorenja i zabrane,
- izolacijski tepisi, pokrivači i izolacijska postolja.

Osobna zaštitna sredstva:

- izolacijske rukavice, čizme, kaljače,
- zaštitne naočale, kožne rukavice, plinske maske, sigurnosni pojas i zaštitna kaciga.



Slika 116: Monterski zahvati



Slika 117: Monterski zahvati (nepogodni)

### 3.16.3. Rad za vrijeme loših vremenskih uvjeta

Atmosfersko pražnjenje – kada se s mjesta rada uočava sijevanje munje (atmosfersko pražnjenje) ili čuje tzv. grom treba brzo prekinuti radove (granična udaljenost cca 30 km).

Udar „groma“ i sklopne operacije u VN mrežama stvaraju impulsne struje koje uzrokuju pojavu prenapona u VN sustavima i upravljačkim elektroničkim krugovima. Njihov utjecaj ovisi o amplitudi: može biti neznatan ili uzrokovati nepoželjna sklapanja ili čak kvarove.

### 3.16.4. Prekid rada u postrojenjima

Na postrojenjima nisu dozvoljeni radovi pri snažnom vjetru (preko 60 km/h), na temperaturi okoline nižoj od -18 °C i pri lošoj vidljivosti (gusta magla).

U takvim uvjetima bitna je procjena ovlaštenog rukovoditelja koji će utvrditi je li rad moguć ili se treba prekinuti.

Uz takove uvjete, opasnost za rad stvaraju i obilne kiše, mraz, snijeg i ledene kiše.

## 3.17. Pet pravila za rad u beznaponskom stanju

**1. Pravilo – isklopiti i odvojiti od napona:** ostvaruje se sklopnim aparatima: prekidači, rastavljači, rastavljači snage, osigurači.

2. **Pravilo – spriječiti ponovni uklop:** ostvaruje se blokiranjem elemenata, zaključavanjem elemenata, postavljanjem tablice zabrane.
3. **Pravilo – utvrditi beznaponsko stanje:** ostvaruje se indikatorima napona i voltmetrima.
4. **Pravilo – uzemljiti i kratko spojiti:** ostvaruje se napravama za uzemljivanje i kratko spajanje.
5. **Pravilo – ograditi mjesto rada od dijelova pod naponom:** ostvaruje se izolacijskim pregradama, preprekama i izolacijskim prekrivačima.



Slika 118: Pravila sigurnosti u elektroenergetskim postrojenjima

### 3.17.1. Kabeli i kondenzatorske baterijama nakon isključenja

Prilikom isklopa kondenzatora i kabela iz pogona na njima će se još uvijek zadržati neki napon koji odgovara trenutnoj vrijednosti pogonskog napona u trenutku isklopa. Taj napon može biti i do 1,41 puta veći od efektivne vrijednosti pogonskog napona.

Dodir čovjeka s takvom baterijom ili kabelom može biti smrtonosan – npr. kabel duljine 5 km i napona 10 kV ima dovoljnu količinu akumulirane el. energije da izazove fibrilaciju srca.

Taj napon se odstranjuje tako da iz kond. baterije i proračun kabela izbije preostali napoj napravama za uzemljenje aktivnih vodiča.

### 3.17.2. Utvrđivanje bez naponskog stanja

Neposredno prije svakog uzemljivanja i kratkog spajanja određenog isključenog dijela elektroenergetskog postrojenja potrebno je utvrditi beznaponsko stanje svih faznih vodiča, odnosno svih vodiča koje je potrebno uzemljiti i kratko spojiti.

Utvrđivanje beznaponskog stanja se provodi na svakom dijelu elektroenergetskog postrojenja koje se galvanski odvaja u više dijelova, zbog mogućnosti pojave induciranih ili povratnih napona preko mjernih transformatora.

Beznaponsko stanje smije utvrditi samo kvalificiran i osposobljen radnik, a u pravilu, to je rukovoditelj radova.

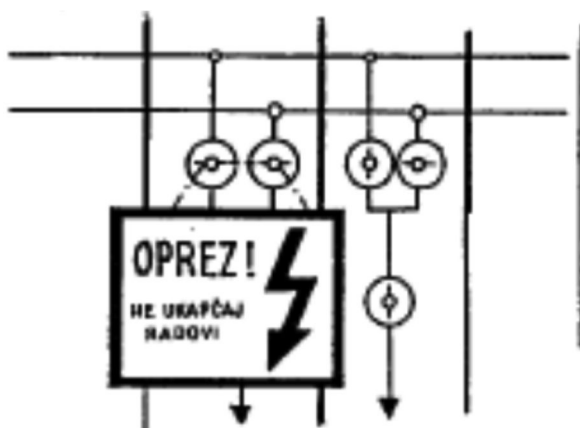
Beznaponsko stanje se utvrđuje indikatorom napona, voltmetrima, uređajima ili alatima s izolacijskom drškom za mehaničko probijanje kabela te prekidačem za uzemljivanje.

Indikator napona treba biti izrađen za odgovarajući napon, voltmetri trebaju biti kalibrirani.

Ispitivanje indikatorom napona treba obavljati iz 2. zone.

Upravljanje prekidačima za uzemljenje se obavlja daljinskim putem.

Ako je strujni krug napona isključen tada se dozvoljava postavljanje oznake upozorenja (Slika 119).



Slika 119: Utvrđivanje beznaponskog stanja u postrojenju.

### 3.17.3. Zaštita od dodira dijelova pod naponom

U slučaju da se dijelovi pod naponom nalaze na dohvat ruke, to znači da ih možemo dotaknuti tijelom i vodljivim alatom, ili se može ući u III. zonu – zonu opasnosti bilo tijelom,

alatom i ostalim predmetima, mora se poduzeti mjere zaštite od ulaska u zonu opasnosti ili direktnog dodira dijelova pod naponom.

Predmetna se zaštita može ostvariti (realizirati):

- prekrivanjem dijelova pod naponom izolacijskim navlakama, prevlakama, natikačima, zatvaranjem i slično,
- stavljanjem izolacijskih prepreka i pregrada,
- sprječavanjem približavanja, odnosno položajem zaposlenika.

#### **3.17.4. Zaštita od direktnog (izravnog) dodira**

Potpuna (cjelovita) zaštita od direktnog (izravnog) dodira:

- a) izoliranje – izoliraju se svi vodljivi dijelovi predviđeni da budu pod naponom u redovitoj upotrebi (izolacija je određena visinom nazivnog i ispitnog napona),
- b) zaštita kućištem (omatanje, pokrivanje kućištem) – sklopni aparati su smješteni u kućište čija mehanička čvrstoća treba biti takva da se pri pritisku ili udarcu ne dodirnu dijelovi pod naponom.

Djelomična zaštita od direktnog (izravnog) dodira:

- a) zaštita položajem (zaštita stavljanjem izvan dohvata ruke) – jednakovremeno pristupačni dijelovi na različitim potencijalima ne smiju biti unutar dohvata ruke (< 2.5 m),
- b) zaštita preprekama i ogradama – sprječavanje fizičkog pristupa dijelova pod naponom i sprječavanje dodira s njima,
- c) upozoravanje odgovarajućim znakovima i natpisima (piktogramima),
- d) blokada pomoću odgovarajućeg alata i slično,
- e) 5 pravila sigurnosti (natpisi o potrebi isključenja napona).

#### **3.18. Mjere sigurnosti pri radovima na nadzemnim vodovima, kabelima i rad pod naponom**

**Što učiniti kada se uoči da je visokonaponski vodič od dalekovoda srušen na zemlju?**





Slika 120: Vodič visokonaponskog voda „srušen“ na zemlju

### 3.18.1. Visokonaponski vodič od dalekovoda srušen na zemlju

Potrebno je poduzeti mjere sigurnosti da bi se spriječilo približavanje i doticanje takvih vodiča od neupućenih osoba:

- u naseljenim mjestima ili u njihovoj blizini potrebno je upozoriti stanovništvo na opasnost,
- zabranjeno je približavanje prekinutom vodiču na udaljenost manju od vrijednosti zaštitnih razmaka, ako nadzemni vod nije u beznaponskom stanju i uzemljen na krajevima,
- prilaz mjestu prekida vodiča treba privremeno ograditi, a na ogradu staviti ploče upozorenja,
- odmah javiti mjesto kvara nadležnim službama elektrodistribucije (ODS-a) kako bi se što hitnije uklonio i kako bi se isključio napon na predmetnoj lokaciji dalekovoda.

### 3.19. Mjere sigurnosti pri radu pod naponom

U svijetu su se do danas utvrdile tri metode rada pod naponom:

- rad na razmaku od vodiča pod naponom,
- rad na potencijalu vodiča,
- rad u direktnom (izravnom) dodiru s izolacijskim alatom.



Na niskom naponu koristi se metoda "uz dodir". Monter koristi, pored ostalih zaštitnih sredstava, gumene zaštitne rukavice, izolacijsku obuću te izolirane ručne alate. Sve neizolirane dijelove koji bi mogli biti opasni po život ili bi mogli načiniti kratki spoj monter treba prekriti izolacijskim prekrivačima, kapama, folijama.



Slika 121: Primjer prekrivanja vodiča pod naponom

Na srednjem naponu se koriste dvije tehnologije. Jedna od mogućnosti je metoda "na daljinu". U tom slučaju monter se nalazi izvan opasne zone, te koristi izolacijske motke tzv. "produžene ruke". Duljina motki ovisi o nazivnom naponu postrojenja na kojem se radi. Druga verzija uvjetuje raspoloživost izolirane dizalice korpom ili izoliranu platformu.



Slika 122: Metoda "na daljinu"

Na visokom naponu koristi se metoda "na potencijalu". Budući da su izolatorski lanci dulji, te fazni razmaci veći od veličine čovjeka, monter smije zauzeti radni položaj na užetu na kojem je predviđen rad. Ovakvi zahvati se obavljaju u jakom elektromagnetskom polju te monter treba nositi ekranizirano radno odijelo. Očividno je da se ova tehnologija najlakše koristi na vodovima iznad 220 sve do 800 kV.



Slika 123: Metoda "na potencijalu"  
(rad u uvjetima jednakog potencijala)

### 3.19.1. Presjek vodiča za uzemljenje dalekovoda

Presjek vodiča za uzemljenje dalekovoda treba biti takav da izdrži očekivanu struju kratkog spoja. To su najčešće noževi za uzemljenje ugrađeni na vodnim rastavljačima. Dopušta se primjena bakrenog užeta kao vodiča presjeka većeg od  $25 \text{ mm}^2$ . Dokazano je da bez dvojbe može izdržati sva naprezanja uslijed mogućih udara groma.

### 3.19.2. Što treba biti vidljivo s mjesta rada

Najmanje jedna naprava za uzemljenje i kratko spajanje, čiji je značaj:

- to je mjera zaštite koja jamči odsustvo opasnih napona na mjestu rada, presudna za sigurnost zaposlenika,
- njome s cijelo vrijeme nadzire ispunjenje zahtjeva za uzemljivanje s kratkim spajanjem na mjestu rada.

### **3.19.3. Sigurnost pri radovima na nadzemnim vodovima niskog napona**

Na mjestu izvođenja radova na nadzemnim vodovima niskog napona potrebno je provesti mjere za osiguranje mjesta rada kako slijedi:

- utvrđivanje beznaponskog stanja – indikatorom napona i tzv. izbacivačkom puškom,
- uzemljivanje i kratko spajanje na mjestu rada,
- na svim mjestima odvajanja od napona trebaju se svi vodiči uzemljiti,
- između uzemljenog vodiča, mjesta rada i zaposlenika treba postojati zaštitni razmak,
- ograđivanje od dijelova pod naponom.

### **3.19.4. Rad u zoni drugog paralelnog voda odnosno pri križanja s drugim vodom (visokonaponski vodovi)**

Treba poduzeti mjere kojima se sprječava da međusobni razmak ne bude manji od propisanih sigurnosnih visina sljedećih vrijednosti:

- za nazivni napon 110 kV – 2500 mm,
- za nazivni napon 220 kV – 3250 mm,
- za nazivni napon 380 kV – 4500 mm.

Rad na donjem nadzemnom vodu je dozvoljen, premda je gornji vod pod naponom, ako je isključena mogućnost dodira i približavanja vodiču pod naponom.

Rad na gornjem nadzemnom vodu, premda donji nadzemni vod ostaje pod naponom, dozvoljen je samo ako je isključena mogućnost da dođe do spuštanja ili pada vodiča.

Skele trebaju biti čvrste konstrukcije da je dopušteno razvlačenje i zatezanje vodiča.

Uzemljenje i kratko spajanje vodiča treba se provesti na prvim stupovima s obje strane mjesta križanja vodova.

Pri zamjeni vodiča trebaju se oba vodiča, novi i stari, uzemljiti s obje strane mjesta križanja.

Ako su aktivnosti rada na gornjem nadzemnom vodu, a donji vod je pritom pod naponom, te su međusobno paralelni, zabranjeni su svi radovi u slučaju kojih može doći do spuštanja ili prekida vodiča.

### 3.19.5. Postupak stavljanja i skidanja uzemljivača

Prijenosne naprave za uzemljivanje i kratko spajanje postavljaju se tako da se prvo jednim krajem vežu za vod za uzemljenje, a zatim drugim krajevima, pomoću izolacijske motke ili izoliranog užeta (koje se prebacuje), za elemente koji se uzemljuju i kratko spajaju.

Redosljed skidanja je obrnut.

### 3.19.6. Postupak pri radovima na starom drvenom stupu

Prije bilo kakvih radova na drvenom stupu treba provesti sljedeće preglede:

**Vizualni pregled** – traže se znakovi truljenja drveta, rupa kukaca, propadanja u zemlju, te da li ima uz stup ikakvih lokvi vode.

**Podupiranje stupa** – ako je nešto od navedenog otkriveno stup se treba poduprijeti da se ne bi srušio.

**Zvučni test** – unutarnje propadanje se može detektirati udarcem čekića i raspoznavanjem zvukova. Ako postoji propadanje šupljina će ispuštati zvuk tipičan za to.

**Bušenje drva** – jedna od metoda detekcije unutarnjeg stanja stupa. Buši se skroz do centra stupa i postoje tri naznake da je drvo oštećeno iznutra: povećanje brzine probijanja bušilice, naglo urušavanje drvene mase pri bušenju, izbacivanje piljevine u obliku presitnog praha.

Svaki zaposlenik koji radi na stupu mora biti opremljen:

- zaštitnim opasačem,
- **zaštitnim naočalama** – oksidacija žica, električni lukovi, piljevine su samo neke od opasnosti koje prijete očima radnika,
- **zaštitnom kacigom za električare** – osim zaštite glave dotičnog radnika postoji i slučaj da mu ispadne čekić na glavu drugog radnika dolje na zemlji, stoga svi radnici trebaju imati ove kacige,
- **zaštitnim rukavicama klase 4** – gumene rukavice za električare (EN 60903).

Prije penjanja treba se provjeriti da nema oštećenja na opasaču, užetu za vezivanje. Penjanje pomoću penjalica, čiju ispravnost treba također provjeriti prije penjanja.

### **3.19.7. Utvrđivanje beznaponskog stanja prije radova na elektroenergetskom kabeu**

Neposredno prije postavljanja uzemljenja i kratkog spajanja na mjestu rada, nužno je utvrditi beznaponsko stanje koje se obavlja:

- indikatorom napona,
- nabacivačkom puškom.

Izolacijska motka indikatora napona treba biti građena za odgovarajući napon. Indikatorom napona treba oprezno rukovati da se mehanički ne ošteti.

Tijekom provjeravanja bez naponskog stanja, svi zaposlenici trebaju biti udaljeni od mjesta „nabacivanja“ najmanje 20 m.

### **3.19.8. Rezanje kabela i ostvarenje (realiziranje) beznaponskog stanja**

Rezanje kabela i otvaranje (realiziranje) kabelskih spojnica, te kabelskih glava, uvijek se provodi u prisustvu ovlaštenog rukovoditelja radova. Prije rezanja kabela utvrđuje se beznaponsko stanje kabela „zabijanjem“ u kabel, za tu svrhu posebno izrađenog šiljka. Osoba koja obavlja probijanje kabela šiljkom treba nositi zaštitne naočale i stajati na gumenoj izolacijskoj podlozi.

Metalni dijelovi naprave za probijanje kabela trebaju biti uzemljeni.

Rezanje kabela izvodi se primjenom sljedećih zaštitnih mjera:

- rad se obavlja zaštitnim gumenim rukavicama i zaštitnim naočalama,
- zaposlenik treba stajati na suhoj izolacijskoj podlozi,
- kabel se mora nalaziti podignut na nogarima ili na nekoj ostaloj podlozi,
- rezati treba oprezno, pila se treba držati samo za držak od izolacijskog materijala,
- metalni dijelovi kabela ne smiju se doticati golim rukama.

### **3.19.9. Dozvoljenost rada pod naponom**

Dozvoljenost rada pod naponom ne obavlja se samo iznimno u posebnim okolnostima (u nuždi, u spašavanju ljudskih života, otklanjanju posljedica većih kvarova i sl.). Rad pod naponom smatra se jednim od načina rada na električnim postrojenjima i vodovima koji se može obavljati svakodnevno i pod normalnim okolnostima a u svrhu stalne i kontinuirane opskrbe potrošača.

Dozvoljenost rada pod naponom se propisno definira kao normalan oblik rada koji, odgovarajućim metodama i sredstvima, treba pružiti jednaku sigurnost kao i rad u bez naponskom stanju ili rad u blizini napona.

Dozvoljenost i rad pod naponom je dozvoljeno ako su prethodno ispunjeni sljedeći uvjeti:

- radni postupak treba biti utvrđen i provjeren,
- trebaju postojati interne upute za svaku vrstu rada,
- trebaju postojati odgovarajući izolacijski alat i zaštitna sredstva,
- zaposlenici trebaju biti stručno i praktično osposobljeni za rad pod naponom.

Rad pod naponom nije moguć u svim uvjetima i u svim okolnostima, budući da ne pruža dovoljnu sigurnost ili može predstavljati dodatnu opasnost.

Radovi pod naponom nisu dozvoljeni u sljedećim slučajevima:

- ako na mjestu rada tzv. električna iskra može izazvati požar ili eksploziju,
- u slučaju nevremena, praćenju atmosferskim pražnjenjima koja se mogu primijetiti s mjesta rada,
- pri smanjenoj vidljivosti,
- pri jakom vjetru i oborinama na otvorenom prostoru.

### **3.20. Mjere sigurnosti pri izradi električnih instalacija**

Odredbe Pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona ne primjenjuju se na električne instalacije za:

- rudnike,
- prostorije ugrožene od eksplozija,
- električnu vuču,
- brodove,
- cestovna vozila, osim kamp prikolica,
- gromobrane,
- rasvjetu ulica i drugih javnih površina,
- proizvodnu opremu u industriji,
- opremu za medicinske svrhe.

### 3.20.1. Električni uređaji i instalacije u prostorima ugroženim eksplozivnim sredstvima

Što se smatra prostorom ugroženim od eksplozivnih sredstava?

Eksplozivna sredstva su smjese sa zrakom i zapaljive supstancije u obliku plina, para, maglice ili prašine pod atmosferskim uvjetima u kojima nakon inicijalnog paljenja nastaje izgaranje do nezapaljivog ostatka.

Ugroženi prostor (od eksplozije) je prostor u kojem atmosfera može postati eksplozivna zbog lokalnih i pogonskih uvjeta.

Znak za takav prostor predočen je na Slici 126.



Slika 124: Znak predočenja od eksplozije

U takve prostore ugrađuje se posebna protueksplozivna oprema označena oznakom CE koja garantira da je oprema ispitana od ovlaštenih i nadležnih institucija.

Postoje male razlike između europske CE oznake i kineskog "China Export" simbola, stoga budite oprezni.



Slika 125: Razlika CE i „China Export“

### 3.20.2. Opasnost od statičkog elektriciteta

Elektricitet, općenito, je svojstvo materije koje potječe od viška pozitivnih ili negativnih električnih naboja. Određena je kontaktnom površinom, brzinom razdvajanja naboja i relativnom vlažnosti.

Statički elektricitet ima loš utjecaj na čovjeka i to:

- ubrzava metabolizam kalcija, što ubrzava pojavu umora,
- uzrokuje gubitak vitamina C zbog čega se podiže razina šećera u krvi, što vodi do daljnjeg umaranja,
- jedan je od uzročnika autonomne neravnoteže,
- povećava pojavu dermatitisa,
- zbog naboja skupljanje prašine i bakterija, te klica bakterija je višestruko povećano,
- uzrokuje probleme djelovanje probavnih enzima,
- uzrokuje probleme apsorpcije vitamina i minerala u krvotok,
- potencira taloženje proteinske plazme na staničnoj razini, te negativno djeluje na sam rad stanica – na taj se način izaziva umor te gubitak energije.

Od statičkog elektriciteta može se zaštititi na sljedeće načine:

- uzemljenje tzv. rizičnih objekata,
- rješenje statičkog elektriciteta,
- različiti filtri za ekrane/monitore,
- postoji i mogućnost sprejeva, ali najboljima su se pokazali prije navedeni “alati”, te je idealno raditi kombinaciju prethodnih metoda.



## 4. ZAŠTITA OD POŽARA

Električna energija, kao jedan od mogućih uzroka požara, zastupljena je prema statističkim podacima s najviše postotaka od svih uzročnika.

Gorivost materijala prema grupama:

- Za provedbu zahtjeva da mjera zaštite od požara, polazi se od temeljne spoznaje da je kritična temperatura paljenja građevinskih materijala u pravilu cca 300 °C.
- Pri takvoj temperaturi dolazi do isparavanja vlage i drugih plinova iz materijala, tinjajućeg požara na samom mjestu nastanka te do razbuktales faze požara ako u međuvremenu nije otkriven i uklonjen izvor opasnosti i ako se u blizini nalazi još gorivih materijala.

Materijale prema gorivosti dijeli se u tri grupe:

- teško gorivi materijal-B1,
- normalno gorivi materijal-B2,
- brzo gorivi materijal-B3.

Za zapaljenje **materijala skupine B1** potrebno je od približno 100 KJ, te će se takav materijal zapaliti samo iz jakih i dugotrajnih izvora paljenja.

Pri uklanjanju uzročnika, odnosno izvora paljenja, takovi se materijali brzo gase.

Gorenjem navedenih materijala dolazi do njihovog rastezanja, ali pritom neće se širiti plamen dalje, što znači, u najvećem broju slučajeva, da će gorjeti kao krutina uz otpuštanje različitih plinova.

U materijala B1 skupine spadaju tzv. duroplasti, kao što su u slučaju električnih instalacija vodiči s izolacijom bez halogena.

**Materijali skupine B2** za zapaljenje trebaju nižu temperaturu paljenja i energiju paljenja od približno 10 kJ, a po otklanjanju izvora paljenja oni nastavljaju gorjeti.

Oni gore na način da se gorući komadi otkidaju i kapaju užarenom tekućinom kojom se požar prenosi dalje. No predmetna pojava u slučaju predmetne materijala nije baš posebno izražena.

U materijale grupe B2 pripadaju PVC obloge debljine veće od 3 mm i odgovarajuće izolacije na električnim vodičima kao i VPE izolacija kabela.

**Materijali skupine B3** se pale već s energijom paljenja manjom od 10 kJ, a u roku od 10 sekundi gorenja pretvaraju se u veliki plamen koji se sam širi velikom brzinom i dovodi uglavnom do razbuktale faze požara.

U skupinu B3 uzimaju se u obzir svi ostali umjetni materijali od kojih se jednako tako izrađuju instalacije za elektrovođiče.

## 5. POSTUPCI PRI PRUŽANJU POMOĆI UNESREĆENOJ OSOBI NAKON „UDARA“ ELEKTRIČNE STRUJE

Temeljno pravilo pri pružanju prve pomoći pri udaru električne struje jest brzina akcije. To znači da treba što prije osloboditi ozljeđenog od djelovanja struje, a nakon toga odmah započeti oživljavanje, ako ozljeđeni ne diše ili mu nije aktivno srce.

Ako osoba doživi električni udar može zadobiti LAKŠA ili TEŽA zdravstvena oštećenja:

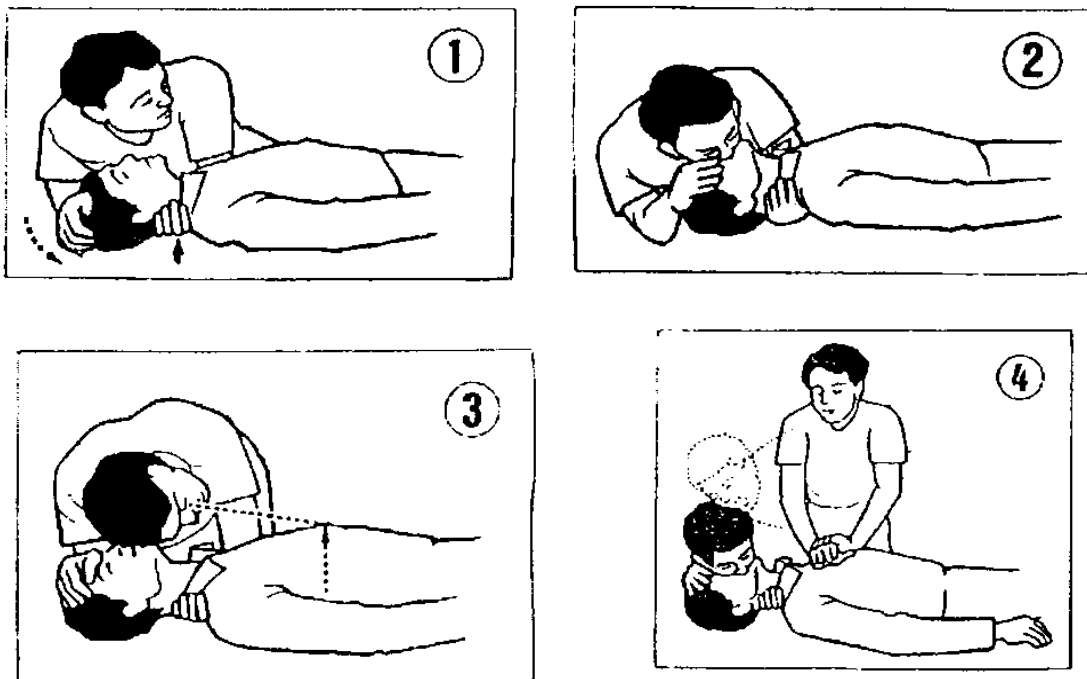
- opekotine,
- grčenje mišića,
- prekid disanja i rada srca.

Težina oštećenja zavisi o jačini, naponu i otporu protiv protjecanja struje, te o trajanju njenog djelovanja na ozljeđenog.

Ako unesrećeni ozbiljno krvari, prije svega treba zaustaviti krvarenje. Ako nema znakova života, treba pristupiti oživljavanju umjetnim disanjem i/ili vanjskom masažom srca.

Umjetno disanje treba primjenjivati dok unesrećeni ne počne sam disati. Danas se primjenjuje postupak “usta na usta” ili “usta na nos”.

Unesrećeni se položi na leđa i olabavi mu se odjeća da ga ne steže. Glavu mu treba zabaciti natrag tako da brada bude istaknuta prema gore. Tako ostaje za cijelo vrijeme postupka. U metodi “usta na usta” davatelj pomoći duboko udahne zrak i upuše ga na usta unesrećenomu pri čemu mu čvrsto drži začepljene nosnice. To treba ponavljati 12 do 15 puta u minuti. U metodi “usta na nos” razlika je samo u tomu što se zrak upuhuje u nos pri čemu se drže zatvorena usta unesrećenog. Treba promatrati prsa unesrećenoga i slušati šum izlazećeg zraka. Ako šuma nema, treba rukom ukloniti moguće prepreke iz dišnih putova i nastaviti s davanjem umjetnog disanja. Ako se upuhani zrak usmjerava u želudac, što se uočava prema nabreknuću trbuha, treba pritiskom na trbuh taj zrak istisnuti.



Slika 126: Postupci kod davanja umjetnog disanja

Vanjsku masažu srca provodi druga osoba kad nema pulsa ritmičkim snažnim pritiscima na sredinu prsnog koša, istovremeno s umjetnim disanjem. Na jedno upuhivanje zraka treba izvesti 6 pritisaka na srce. Nakon 5 minuta masažu srca treba prekinuti te pokušati napipati i izmjeriti puls. Ako ga nema masažu treba nastaviti.

Umjetno disanje ne smije se prekidati dok unesrećeni ne počne sam disati ili dok liječnik ne odredi drugo. Ako unesrećeni diše, ali je bez svijesti, treba ga hitno prevesti u bolnicu.

## 6. OSOBNA ZAŠTITNA SREDSTVA

Pod pojmom osobnih zaštitnih sredstava podrazumijevaju se odijevni i drugi predmeti i uređaji koje radnici nose na sebi ili ih koriste pri radu, a koja su izrađena u skladu s hrvatskim normama, internim standardima ili uputama, odnosno koja su ispitana u ovlaštenoj pravnoj ustanovi.

Osobna zaštitna sredstva radnik primjenjuje pri odgovarajućim poslovima za koje su osobna zaštitna sredstva, prema pravilima zaštite na radu, propisana kao obvezna oprema za obavljanje rada.

Određivanje potrebnih osobnih zaštitnih sredstava pri obavljanju pojedinih poslova i zadataka utvrđuje se na temelju procjene opasnosti.

Osobna zaštitna sredstva radnik treba redovito čistiti, prati i održavati. Čišćenje, pranje i održavanje osobnih zaštitnih sredstava obavlja radnik koji ih koristi. Prije početka i tijekom rada svaki radnik obavezan je sam nadzirati ispravnost svojih osobnih zaštitnih sredstava.

### 6.1. Vrste osobnih zaštitnih sredstava

#### 6.1.1. Sredstva za zaštitu glave

Osobna zaštitna sredstva za zaštitu glave su:

- zaštitna kaciga za električare,
- zaštitna kapa,
- zaštitna marama i drugo.

Sredstva za zaštitu glave, na primjer zaštitni šljem (kaciga), koja trebaju štiti glavu od padajućih predmeta. Zaštitni šljem treba imati ugrađenu kolijevku koja ima mogućnost podešavanja prema veličini s razmakom od glave između 2 i 4 centimetra.



Slika 127: Zaštitne kacige

### 6.1.2. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu očiju

Riječ je o:

- zaštitnim naočalama s nepropusnim okvirom,
- zaštitnim naočalama od providnog stakla,
- zaštitnim naočalama s tamnim staklom,
- štitnicima za zavarivače,
- zaštitnim naočalama,
- zaštitnim maskama,
- zaštitnicima za lice i drugome.

Sredstva za zaštitu očiju i lica, s obzirom na zaštitne naočale ili štitnike za varioce, koriste se za zaštitu od „ulijetanja“ čestica i strugotina u oči te za zaštitu očiju od štetnog zračenja kod npr. varenja.



Slika 128: Razna sredstva za zaštitu očiju

### 6.1.3. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu sluha

Sadržaj osobnih sredstava za zaštitu sluha:

- ušni štitnici za zaštitu sluha,
- ušni čepovi i drugo.



Slika 129: Primjer ušnih štitnika

Sredstva za zaštitu sluha, u koja pripadaju vata, čepići i zaštitne slušalice (antifoni), daju se na korištenje osobama izloženim tijekom rada povećanoj buci koja se drugim mjerama ne može spriječiti.

#### 6.1.4. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu dišnih organa

Sadržaj:

- respirator,
- plinska maska,
- cijevna maska s kapuljačom ili kacigom,
- izolacijski uređaji i drugo.



Slika 130: Razna sredstva za zaštitu dišnih organa

Sredstva za zaštitu dišnih organa koriste se kako bi se zaštili dišni organi od štetnih čestica, prašina i plinova koji se vrlo lako mogu udahnuti i na taj način doprijeti do pluća i uzrokovati oštećenja tkiva.

#### 6.1.5. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu ruku

Predmetno sadržaj je sljedeći:

- kožne rukavice raznih vrsta,
- izolacijske rukavice za električare,
- rukavice od nesagorive tkanine,
- rukavice za varioce,
- rukavice od prirodne i sintetičke gume,
- rukavice od plastičnog materijala,
- rukavice s produljenom nadlakticom od ceradnog platna i drugo.



Slika 131: Razne vrste zaštitnih rukavica

Sredstva za zaštitu ruku štite ruke od hladnoće i topline, električne energije, mehaničkih opasnosti, štetnog djelovanja kiselina i slično. Rade se od gume (za rukovanje kiselinama, za rad s uređajima pod naponom) ili kože (kod varenja).

#### 6.1.6. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu nogu

Kada su u pitanju noge, bitno je voditi brigu o sljedećim elementima:

- zaštitne radne cipele ili čizme,
- zaštitne gumene kaljače,
- radne papuče,
- gumene čizme – kratke i duge,
- zaštitne potkoljenice i štitnik za koljena,
- ribarske čizme i ostalo.



Slika 132: Zaštitne cipele

#### 6.1.7. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu tijela

Sadržaj osobne zaštite:

- radna odijela,
- radna odijela od nepromočivog platna,



- zaštitne pregače od kože, platna i gume,
- zaštitna radna kuta, radna majica,
- kišna kabanica, kišno odijelo,
- prsluk bunda vjetrovka i drugo.

Sredstva za zaštitu tijela u koja spadaju zaštitna kuta, kombinezoni i slično koriste se kao zaštita od prašine i prljanja.



Slika 133: Primjer zaštite tijela

#### 6.1.8. Osobna zaštitna sredstva za zaštitu tijela od pada s visine

To je:

- zaštitni opasač s užetom i karabinjerom.



Slika 134: Opasač za rad na visini

Sredstva za zaštitu od pada s visine koriste radnici kojima nije moguće na niti jedan drugi način ograditi ili na drugi način osigurati radno mjesto. U predmetnu opremu treba uključiti zaštitnu užad i opasače.

## **6.2. Poslovi s posebnim uvjetima rada**

Poslovi s posebnim uvjetima rada su takvi poslovi u slučaju kojih je prisutna povećana opasnost i štetnost za radnike koji takove poslove obavljaju.

Uvjeti koji se trebaju ispunjavati za obavljanje poslova s posebnim uvjetima rada odnose se na životnu dob, spol, stručnu osposobljenost, zdravstveno, tjelesno i psihičko stanje te psihofizičku i psihičku sposobnost.

Posebna pravila zaštite na radu sadrže i:

- obvezu i načine korištenja odgovarajućih osobnih zaštitnih sredstava i zaštitnih naprava,
- posebne postupke pri uporabi opasnih radnih tvari,
- obvezu postavljanja znakova upozorenja od određenih opasnosti i štetnosti,
- obvezu osiguranja naputaka pri obavljanju određenih poslova,
- način na koji se trebaju izvoditi određeni poslovi ili radni postupci, a posebno glede trajanja posla, jednoličnog rada i rada prema učinku,
- postupak s unesrećenim ili oboljelim radnikom do upućivanja na liječenje nadležnoj zdravstvenoj ustanovi.

### **6.2.1. Na koji se način utvrđuje sposobnost obavljanja radova s posebnim uvjetima**

Utvrđivanje uvjeta za obavljanje poslova s posebnim uvjetima rada obavlja se prilikom prvog zapošljavanja, premještanja na drugo radno mjesto i nakon isteka propisanog vremena, osim ako iz liječničke svjedodžbe proizlazi da to nije potrebno.

Zahtjevi u pogledu zdravstvenog, tjelesnog, psihičkog stanja, psihofizičkih i psihičkih sposobnosti koji se uvjetuju, dokazuju se odgovarajućom ispravom koju izdaje ovlaštena ustanova, odnosno specijalist medicine rada u privatnoj praksi.

To podrazumijeva da su svi radnici koji se prvi put zapošljavaju, premještaju ili već rade na radnim mjestima s posebnim uvjetima rada obvezni pristupiti specijalističkom liječničkom pregledu radi utvrđivanja njihove sposobnosti.

Upućivanje radnika na pregled obavlja služba za pravne, kadrovske i opće poslove u suradnji sa stručnjakom zaštite na radu.

## 7. LITERATURA

1. HEP – bilten br. 385 – *Pravilnik o zaštiti na radu*
2. HEP – bilten br. 236 – *Pravila o održavanju ee građevina distribucijske mreže*
3. *Zakon o zaštiti na radu* (NN 71/2014; 118/2012)
4. *Pravilnik o stručnom osposobljavanju i provjeri znanja za upravljanje i rukovanje energetske postrojenjima* (NN 70/2010)
5. *Pravilnik o tehničkim zahtjevima za ee postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV* (NN 105/2010)
6. *Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri upotrebi radne opreme* (NN 21/2008)
7. *Pravilnik o pružanju prve pomoći radnicima na radu* (NN 56/1983)
8. *Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom* (NN 88/2012)

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1: Primjer strukture helija .....	15
Slika 2: Usmjereno gibanje elektrona .....	15
Slika 3: Električna struja opasna po život (crveno je smjer protoka struje kroz ljudsko tijelo od faznog vodiča L prema zemlji Z).....	16
Slika 4: Smjer struje i elektrona .....	16
Slika 5: Definicija ampera .....	17
Slika 6: Spajanje ampermetra (serijski spoj) .....	18
Slika 7: Definicija pojma 1 volt .....	19
Slika 8: Spajanje ampermetra i voltmetra (principna shema) .....	19
Slika 9: Definicija pojma jedan ohm( $\Omega$ ) .....	19
Slika 10: Definicija specifičnog otpora materijala.....	20
Slika 11: Primjer za proračun pada napona.....	22
Slika 12: Shema električnog kruga za izračun unutarnjeg otpora kruga .....	23
Slika 13: Shema za definiciju I. Kirchhoffovog zakona.....	23
Slika 14: Primjer određivanja iznosa 3 paralelno spojena djelatna otpora .....	24
Slika 15: Primjer određivanja iznosa 2 paralelno spojena djelatna otpora .....	24
Slika 16: Paralelno spojeni izvori.....	25
Slika 17: Primjer serijski spojenih otpornika .....	25
Slika 18: Serijsko spajanje izvora električne energije.....	26
Slika 19: Primjer za definiranje II. Kirchhoffovog zakona .....	27
Slika 20: Primjer određivanja ukupnog djelatnog otpora u serijskom krugu .....	27
Slika 21: Električna shema za određivanje struja za paralelno spojenih djelatnih otpora .....	27
Slika 22: Električna shema za određivanje ukupnog djelatnog otpora u tzv. kombinaciji.....	28
Slika 23: II. Kirchhoffov zakon (primjer) .....	28
Slika 24: Primjer određivanja ukupnog otpora električnog kruga u složenoj kombinaciji .....	29
Slika 25: Temeljni princip mjerenja električne snage.....	31
Slika 26: Principijelna shema mjerenja električne energije.....	31
Slika 27: Primjer galvanskog članka.....	33
Slika 28: Primjer suhog članka.....	33
Slika 29: Princip olovnog akumulatora .....	33
Slika 30: Predočenje unutarnjeg fotoelektričnog učinka.....	34
Slika 31: Predočenje fotoelektričnog učinka.....	34
Slika 32: Pojam homogenog električnog polja – pojednostavljeno .....	35
Slika 33: Primjer definicije električnog polja.....	35
Slika 34: Definicija električne sile .....	36
Slika 35: Uz definiciju Columbovog zakona.....	36

Slika 36: Uz definiciju „jedan farad,.....	37
Slika 37: Paralelni spoj kondenzatora .....	38
Slika 38: Serijski spoj kondenzatora .....	38
Slika 39: Serijski spoj kondenzatora .....	39
Slika 40: Serijski spoj tri kondenzatora – primjer .....	39
Slika 41: Serijski spoj kondenzatora – primjer .....	39
Slika 42: Kondenzatori spojeni u trokut – primjer.....	40
Slika 43: Predodžba magnetskog polja.....	40
Slika 44: Definicija smjera magnetskog polja.....	41
Slika 45: Uz pojam smjer magnetskog polja svitka .....	41
Slika 46: Uz definiciju jakosti magnetskog polja.....	42
Slika 47: Kvalitativna ovisnost magnetske indukcije B i magnetskog polja H .....	43
Slika 48: Petlja histereze – općenito .....	43
Slika 49: Uz definiciju sile privlačenja elektromagneta .....	44
Slika 50: Uz definiciju smjera inducirane struje .....	45
Slika 51: Pojam EMS .....	45
Slika 52: Model / principijelna shema jednofaznog transformatora.....	46
Slika 53: Skica za vrtložne struje.....	47
Slika 54: Simbolički prikaz skin-efekt.....	47
Slika 55: Pojam samoindukcije i međusobne indukcije ( $E_1N_1 = E_2N_2$ ) .....	48
Slika 56: Simbol induktiviteta.....	48
Slika 57: Smjer gibanja vodiča u magnetskom polju .....	49
Slika 58: Primjer djelovanja magnetskog polja na petlju .....	50
Slika 59: Pojednostavljeni primjer proizvodnje izmjenične struje.....	51
Slika 60: Predodžba pojma izmjenične struje .....	51
Slika 61: Sinusna predodžba izmjenične struje i napona.....	52
Slika 62: Uz definiciju efektivne vrijednosti izmjenične struje i napona .....	53
Slika 63: Principijelna shema sinkronog generatora izmjenične struje (djelatnog).....	53
Slika 64: Djelatni otpor u jednostavnom krugu izmjenične struje.....	54
Slika 65: Kvalitativni oblici struje i napona u serijskom djelatnom krugu (samo R) .....	54
Slika 66: Induktivni otpor u jednostavnom krugu izmjenične struje.....	55
Slika 67: Kvalitativni oblici napona i struje u serijskom krugu (samo L) .....	55
Slika 68: Kapacitivni otpor u jednostavnom krugu izmjenične struje.....	55
Slika 69: Kvalitativni oblici napona i struje u serijskom krugu (samo C) .....	56
Slika 70: Primjer zbrajanja najvećih amplituda sinusnih veličina napona za fazne pomake $\varphi = 0^\circ$ i $\varphi = 180^\circ$ .....	57
Slika 71: Rezultantna amplituda između dvije točke u sustavu .....	57
Slika 72: Serijski spoj djelatnog i ind. otpora i Slika 73: Vektorski dijagram.....	58
Slika 74: Uz definiciju impedancije Z.....	58
Slike 75 i 76: Definicija serijskog spoja djelatnog i kapacitivnog otpora.....	58

Slika 77: Uz definiciju impedancije $Z$ za slučaj serijskog spoja djelatnog i kapacitivnog otpora.....	59
Slike 78 i 79: Prikaz definicije serijskog spoja djelatnog, induktivnog i kapacitivnog otpora.....	59
Slika 80: Uz definiciju impedancije $Z$ u serijskom (RLC) krugu .....	60
Slika 81: Primjer rješavanja serijskog (RLC) i zmjeničnog kruga .....	60
Slika 82: Uz pojam serijske rezonancije .....	61
Slika 83: Rezonantna frekvencija $f_0$ – kvalitativno .....	61
Slike 84 i 85: Definicija za slučaj induktivnog i djelatnog otpora .....	62
Slike 86 i 87: Uz definiciju paralelnog djelatnog i kapacitivnog otpora.....	62
Slika 88: Pojam rezonancije paralelnog spoja $X_L$ i $X_C$ .....	63
Slika 89: Kvalitativna predodžba paralelne rezonancije (LC) kruga .....	63
Slika 90: Definicija djelatne snage $P$ pri djelatnom opterećenju .....	64
Slika 91: Uz definiciju jalove snage pri induktivnom opterećenju .....	64
Slika 92: Uz definiciju jalove snage pri kapacitivnom opterećenju .....	65
Slika 93: Kvalitativna predodžba pojma, prividna snaga $C$ (VA).....	65
Slika 94: Uz definiciju faktora snage $\cos \varphi_n$ .....	66
Slika 95: Uz definiciju rada (energije) izmjenične struje $W_A$ (Ws).....	66
Slika 96: Definicija trofaznog izmjeničnog sustava.....	67
Slika 97: Trofazni namot u zvijezda spoju i vektorski dijagram napona .....	67
Slika 98: Trofazni namot u trokut-spoju i vektorski dijagram napona .....	68
Slika 99: Izravni dodir među vodičima različitih faza .....	72
Slika 100: Dodir kućišta pri proboju izolacije vodiča uređaja .....	73
Slika 101: Uz definiciju napona dodira i koraka.....	73
Slika 102: Raspored potencijala oko uzemljivača.....	74
Slika 103: Uz pojam „inducirani napon“ paralelnih vodova na istom stupu.....	75
Slika 104: Stvaranje tzv. putujućeg prenapona uslijed udara munje u nadzemni vod.....	76
Slika 105: TN-S sustav, razdvojeni neutralni i zaštitni vodič u cijeloj mreži .....	78
Slika 106: TN-C-S sustav, neutralni i zaštitni vodič sjedinjeni samo u dijelu mreže.....	78
Slika 107: TN-C sustav, sjedinjeni zaštitni i neutralni vodič u jedan PEN vodič u cijeloj mreži .....	79
Slika 108: TT sustav, razdvojena pogonska i zaštitna uzemljenja .....	79
Slika 109: IT sustav, izolirano zvijezdište i uzemljeno kućište trošila .....	79
Slika 110: IT sustav s uzemljenim zvijezdištem preko velike impedancije .....	80
Slika 111: Primjer podjele vanjskog električnog rasklopnog postrojenja s obzirom na položaj zaposlenika....	85
Slika 112: Primjer podjela na zone opasnosti nadzemnog voda .....	85
Slika 113: Područje približavanja u VN postrojenjima .....	87
Slika 114: Definicija sigurnosnih razmaka.....	87
Slika 115: Principijelna shema spoja sustava nadzora rasklopnog postrojenja u jednom vodnom polju.....	90
Slika 116: Monterski zahvati .....	91
Slika 117: Monterski zahvati (nepogodni) .....	92
Slika 118: Pravila sigurnosti u elektroenergetskim postrojenjima.....	93
Slika 119: Utvrđivanje beznaponskog stanja u postrojenju .....	94
Slika 120: Vodič visokonaponskog voda „srušen“ na zemlju .....	96

---

Slika 121: Primjer prekrivanja vodiča pod naponom.....	97
Slika 122: Metoda “na daljinu”.....	97
Slika 123: Metoda “na potencijalu” (rad u uvjetima jednakog potencijala) .....	98
Slika 124: Znak predočenja od eksplozije.....	103
Slika 125: Razlika CE i „China Export“.....	103
Slika 126: Postupci kod davanja umjetnog disanja.....	108
Slika 127: Zaštitne kacige.....	109
Slika 128: Razna sredstva za zaštitu očiju.....	110
Slika 129: Primjer ušnih štitnika.....	110
Slika 130: Razna sredstva za zaštitu dišnih organa .....	111
Slika 131: Razne vrste zaštitnih rukavica.....	112
Slika 132: Zaštitne cipele.....	112
Slika 133: Primjer zaštite tijela.....	113
Slika 134: Opasač za rad na visini.....	113