

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
2. letnik – Aplikativna elektrotehnika - 64627
Električne inštalacije in razsvetljava

Dimenzioniranje vodnikov

predavatelj
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Obremenitve električne inštalacije

Ko vodnik prevaja električni tok se segreje, pojavijo pa se tudi sile, ki ga mehansko obremenijo. Poleg tega se na vodniku pojavi padec napetosti, ki skupaj s tokom povzroča izgube moči na vodniku.

Po drugi strani je med vodnikom in okolico prisotna potencialna razlika, ki je potrebna za normalno delovanje električne inštalacije oziroma naprav.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

2

Obremenitve električne inštalacije

Ločimo torej:

- tokovne in
- napetostne

obremenitve električne inštalacije
oziroma vodnikov in izolacije.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

3

Obremenitve električne inštalacije

Da zagotovimo varnost, zanesljivost, kakovost in gospodarstvo električne inštalacije, je potrebno vodnike izbrati tako, da omenjene obremenitve ne poškodujejo inštalacije oziroma ne skrajšujejo njene življenjske dobe.

Dimenzioniranje vodnikov

Dimenzioniranje vodnikov pomeni predvsem izbiro ustreznega preseka vodnika glede na pričakovan največji trajni tok v vodniku ob upoštevanju:

- zaščite pred električnim udarom;
 - toplotnih učinkov;
- preobremenitvenega in okvarnega toka;
 - padca napetosti in
 - mehanske odpornosti.

Dimenzioniranje vodnikov

Vodnike dimenzioniramo glede na:

- predviden največji trajni tok (**termično dimenzioniranje**);
- dopusten padec napetosti na vodniku (**električno dimenzioniranje**);
- dopusten najmanjši prerez glede na mehanske obremenitve (**mehansko dimenzioniranje**);
- gospodarnost (izgube v vodniku).

Termično dimenzioniranje vodnikov

Termično dimenzioniranje pomeni izbor ustreznega vodnika oz. kabla, katerega dopustna tokovna obremenitev je večja od pričakovanega največjega trajnega toka.

Termično dimenzioniranje vodnikov

Na največjo dopustno trajno obremenitev vodnika vpliva:

- material vodnika,
- prerez vodnika,
- vrsta izolacije,
- število vzporednih vodnikov,
- temperatura okolice in
- način polaganja.

Termično dimenzioniranje vodnikov

Največja dopustna tokovna obremenitev je izbrana tako, da najvišja obratovalna temperatura vodnika ne preseže temperature, ki bi lahko povzročila poškodbe izolacije. Ta temperatura je:

- pri PVC izolaciji: 70 °C (v),
- pri XLPE in EPR izolaciji : 90 °C (v),
- pri dostopni mineralni izolaciji : 70 °C (p),
- pri nedostopni mineralni izolaciji : 105 °C (p).

Termično dimenzioniranje vodnikov

Dopustne tokovne obremenitve so običajno podane v tabelah glede na:

- material vodnika,
- izvedbo vodnika oz. kabla,
- prerez vodnika,
- vrsto izolacije,
- način polaganja.

Tabele so izdelane po standardu IEC 60364-5-52.

Upoštevana je temperatura okolice 30 °C oziroma temperatura zemlje 20 °C.

Termično dimenzioniranje vodnikov

| vrsta kablov | NYY, NYWJ, NYCY, NYFY | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| | PVC (pri obratovanju je najvišja dopustna temperatura 70°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| izolacija | Skupina A1 | | | Skupina A2 | | | Skupina B1 | | | Skupina B2 | | | Skupina C | | | Skupina D | | |
| način polaganja | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | |
| II. obremenjenih III | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | |
| našvilni prezet v | Dopustne tokovne obremenitve I _t v A | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| mm ² , baker | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | |
| 1,5 | 14,5 | 13,5 | 14 | 13 | 17,5 | 15,5 | 16,5 | 15 | 19,5 | 17,5 | 22 | 18 | | | | | | |
| 2,5 | 19,5 | 18 | 18,5 | 17,5 | 24 | 21 | 23 | 20 | 27 | 24 | 29 | 24 | | | | | | |
| 4 | 26 | 24 | 25 | 23 | 32 | 28 | 30 | 27 | 36 | 32 | 37 | 30 | | | | | | |
| 6 | 34 | 31 | 32 | 29 | 41 | 36 | 38 | 34 | 46 | 41 | 46 | 38 | | | | | | |
| 10 | 46 | 42 | 43 | 39 | 57 | 50 | 52 | 46 | 63 | 57 | 60 | 50 | | | | | | |
| 16 | 61 | 54 | 57 | 52 | 76 | 68 | 69 | 62 | 85 | 76 | 78 | 64 | | | | | | |
| 25 | 80 | 73 | 75 | 68 | 101 | 89 | 90 | 80 | 112 | 96 | 99 | 82 | | | | | | |
| 35 | 99 | 89 | 92 | 83 | 125 | 110 | 111 | 99 | 138 | 119 | 119 | 98 | | | | | | |
| 50 | 119 | 108 | 110 | 99 | 151 | 134 | 133 | 118 | 168 | 144 | 140 | 116 | | | | | | |

Termično dimenzioniranje vodnikov

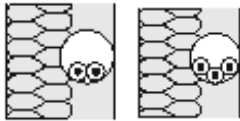
| vrsta kablov | NDXX, NDXXY | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| | XLPE (pri obratovanju je najvišja dopustna temperatura 90°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| izolacija | Skupina A1 | | | Skupina A2 | | | Skupina B1 | | | Skupina B2 | | | Skupina C | | | Skupina D | | |
| način polaganja | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | |
| II. obremenjenih III | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | | 2 | | | 3 | | |
| našvilni prezet v | Dopustne tokovne obremenitve I _t v A | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| mm ² , baker | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | I _t | |
| 1,5 | 19 | 17 | 18,5 | 16,5 | 23 | 20 | 22 | 19,5 | 24 | 22 | 25 | 21 | | | | | | |
| 2,5 | 26 | 23 | 25 | 22 | 31 | 28 | 30 | 26 | 33 | 30 | 33 | 28 | | | | | | |
| 4 | 35 | 31 | 33 | 30 | 42 | 37 | 40 | 35 | 45 | 40 | 43 | 36 | | | | | | |
| 6 | 45 | 40 | 42 | 38 | 54 | 48 | 51 | 44 | 58 | 52 | 53 | 44 | | | | | | |
| 10 | 61 | 54 | 57 | 51 | 75 | 66 | 69 | 60 | 80 | 71 | 71 | 58 | | | | | | |
| 16 | 81 | 73 | 76 | 68 | 100 | 88 | 91 | 80 | 107 | 96 | 91 | 75 | | | | | | |
| 25 | 106 | 95 | 99 | 89 | 133 | 117 | 119 | 105 | 138 | 119 | 116 | 96 | | | | | | |
| 35 | 131 | 117 | 121 | 109 | 164 | 144 | 146 | 128 | 171 | 147 | 139 | 115 | | | | | | |
| 50 | 158 | 141 | 145 | 130 | 198 | 175 | 175 | 154 | 209 | 179 | 164 | 135 | | | | | | |

Termično dimenzioniranje vodnikov

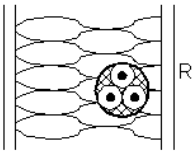
V primeru enofaznega trivodnega sistema (L, N, PE) sta obremenjena dva vodnika: L in N.

V primeru trifaznega petvodnega sistema (L1, L2, L3, N, PE) so obremenjeni trije vodniki: L1, L2 in L3.

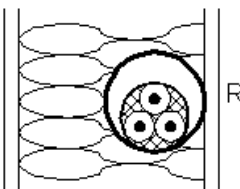
Načini polaganja vodnikov oz. kablov



A1: izolirani vodniki v cevi, ki je položena v termično izolirani steni; toplotna prevodnost stene najmanj $10 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Načini polaganja vodnikov oz. kablov



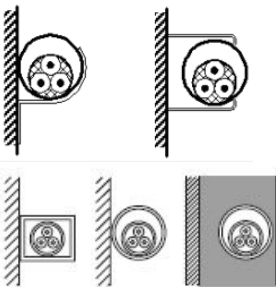
A2: večžilni kabli položeni prosto v termično izolirani steni; večžilni kabli položeni v cevi v termično izolirani steni; toplotna prevodnost stene najmanj $10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Načini polaganja vodnikov oz. kablov



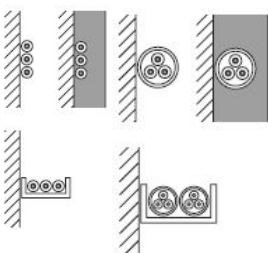
B1: izolirani vodniki v ceveh in kanalih, ki so položeni na steni, pod ometom, v votli steni ali stropu oziroma v votlinah ...

Načini polaganja vodnikov oz. kablov



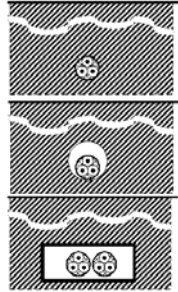
B2: večžilni kabli položeni v ceveh ali kanalih položenih na steni ali na tleh, v votlih stenah, stropih ali tleh ...

Načini polaganja vodnikov oz. kablov



C: eno in večžilni kabli položeni direktno na steni, na tleh ali pod stropom, eno ali večžilni kabli položeni v steni ali pod ometom, dvizni vodi pod ometom.

Načini polaganja vodnikov oz. kablov

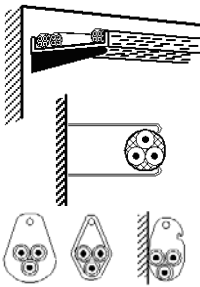


EIR: Dimenzioniranje vodnikov

19

D: večžilni kabli položeni prosto zemlji ali večžilni kabli v cevi oziroma v kanalu, ki je zakopan v zemlji. Globina vkopa 0,7 m, termična prevodnost zemlje $2,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Načini polaganja vodnikov oz. kablov



EIR: Dimenzioniranje vodnikov

20

E: večžilni kabli položeni prosto v zraku. Prihrditev ne sme ovirati hlajenja in naravnega prenosa toplote. Razdalja do stene 0,3 premera, razdalja med kabli 2 premera.

Termično dimenzioniranje vodnikov

V kolikor pogoji polaganja (temperatura okolica, več vzporednih vodnikov, način polaganja vzporednih vodnikov) odstopajo od običajnih, moramo dopustni tok korigirati s korekcijskimi faktorji.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

21

Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za temperature okolice, različne od 30 °C. PVC izolacija, kabli položeni v zraku.

| Temperatura okolice | 10 | 15 | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Korekcijski faktor | 1,22 | 1,17 | 1,12 | 1,06 | 0,94 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,50 |

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

22

Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za temperature zemlje, različne od 20 °C. PVC izolacija, kabli položeni v zemljo.

| Temperatura okolice | 10 | 15 | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Korekcijski faktor za PVC izolacijo | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 1,89 | 0,84 | 0,77 | 0,71 | 0,63 | 0,55 | 0,45 |

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

23

Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za večje število vzporednih kablov položenih skupaj na steno.

| vrste kablov | NYY, NYCWY, NYCY, NYKY | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | PVC70 | | | | | | | | | | |
| izol. material | A1, A2, B1, B2 in C | | | | | | | | | | |
| način polaganja | temperatura okolja v °C | | | | | | | | | | |
| š. vzporednih kablov | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 1 | 1,22 | 1,17 | 1,12 | 1,06 | 1 | 0,94 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,5 |
| 2 | 0,974 | 0,934 | 0,894 | 0,848 | 0,8 | 0,752 | 0,694 | 0,632 | 0,568 | 0,488 | 0,4 |
| 3 | 0,854 | 0,819 | 0,784 | 0,742 | 0,7 | 0,658 | 0,609 | 0,553 | 0,497 | 0,427 | 0,35 |
| 4 | 0,793 | 0,76 | 0,728 | 0,689 | 0,65 | 0,611 | 0,564 | 0,514 | 0,461 | 0,394 | 0,325 |
| 5 | 0,732 | 0,702 | 0,672 | 0,636 | 0,6 | 0,564 | 0,522 | 0,474 | 0,426 | 0,366 | 0,3 |
| 6 | 0,675 | 0,647 | 0,62 | 0,604 | 0,57 | 0,538 | 0,496 | 0,45 | 0,405 | 0,348 | 0,285 |

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

24

Termično dimenzioniranje vodnikov

Korekcijski faktorji za večje število vzporednih kablov položenih v eni plasti na steni ali tleh.

| NYF, NYCMF, NYCY, NYKY | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| PVC70 | | | | | | | | | | | | | |
| A1, A2, B1, B2 in C | | | | | | | | | | | | | |
| temperatura okolja v °C | | | | | | | | | | | | | |
| # vzporednih | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | |
| 1 | 1,22 | 1,17 | 1,12 | 1,06 | 1 | 0,94 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,5 | 0,35 | |
| 2 | 1,037 | 0,994 | 0,952 | 0,901 | 0,85 | 0,799 | 0,739 | 0,672 | 0,603 | 0,518 | 0,425 | 0,298 | |
| 3 | 0,964 | 0,924 | 0,885 | 0,837 | 0,79 | 0,743 | 0,686 | 0,624 | 0,561 | 0,482 | 0,395 | 0,276 | |
| 4 | 0,915 | 0,878 | 0,84 | 0,795 | 0,75 | 0,705 | 0,652 | 0,592 | 0,532 | 0,458 | 0,375 | 0,262 | |
| 5 | 0,891 | 0,854 | 0,818 | 0,774 | 0,73 | 0,686 | 0,635 | 0,577 | 0,518 | 0,445 | 0,365 | 0,256 | |
| 6 | 0,878 | 0,842 | 0,806 | 0,763 | 0,72 | 0,677 | 0,626 | 0,569 | 0,511 | 0,439 | 0,36 | 0,252 | |

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

25

Električno dimenzioniranje

Električno dimenzioniranje vodnikov oz. kablov pomeni dimenzioniranje glede na padec napetosti.

Z električnim dimenzioniranjem preprečimo, da bi napetost na porabniku bila izven dovoljenega obsega.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

26

Električno dimenzioniranje

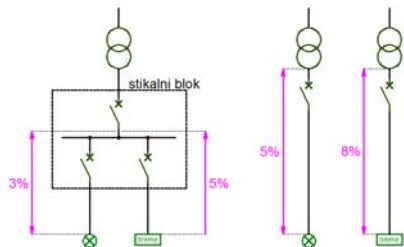
Dovoljeni največji padci napetosti so:

- 3% za električne inštalacije razsvetljave, če računamo od točke napajanja (npr. hišnega priključka);
- 5% za električne inštalacije razsvetljave, če računamo od transformatorske postaje;
- 5% za električne inštalacije ostalih porabnikov, če računamo od točke napajanja (npr. glavnega priključka objekta);
- 8% za električne inštalacije ostalih porabnikov, če računamo od transformatorske postaje;
- od tega 0,5 % med števcem in glavnim razdelilcem.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

27

Električno dimenzioniranje



EIR: Dimenzioniranje vodnikov

28

Električno dimenzioniranje

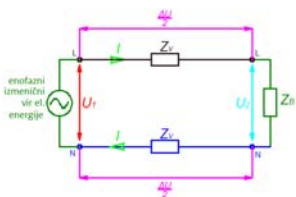
V primeru, da je dolžina električne inštalacije daljša od 100 m, lahko dovoljeni padec napetosti povečujemo za 0,005 % za vsak meter, ki presega 100 m, vendar ne smemo preseči meje 0,5 %.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

29

Električno dimenzioniranje

Padec napetosti je definiran kot razlika napetosti na začetku in na koncu voda:



- Z_L - impedanca faznega vodnika
- Z_N - impedanca nevtralnega vodnika
- Z_B - impedanca bremena
- U_1 - napetost na začetku voda
- U_2 - napetost na koncu voda
- I - obremenitev oz. tok skozi vodnik
- ΔU - padec oz. izguba napetosti na enem samem vodniku

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

30

Električno dimenzioniranje

Izračunamo ga s pomočjo Ohmovega zakona:

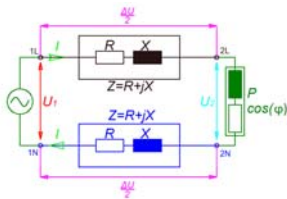
$$\Delta U = U_1 - U_2 = I \cdot (Z_L + Z_N)$$

Ker sta fazni in nevtralni vodnik enaka:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot Z_V$$

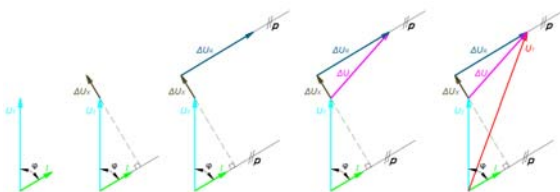
Električno dimenzioniranje

Padec napetosti v primeru dvovodnega sistema in ohmsko-induktivnega bremena:



Električno dimenzioniranje

Ker je kabel tudi ohmsko-induktivnega značaja:



Električno dimenzioniranje

Izpeljava enačb:

$$\Delta U = \Delta U_R + \Delta U_X = 2 \cdot I \cdot R \cdot \cos \varphi + 2 \cdot I \cdot X \cdot \sin \varphi$$

$$R = r \cdot l; X = x \cdot l$$

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi + 2 \cdot I \cdot l \cdot x \cdot \sin \varphi$$

Če zanemarimo induktivno upornost kablov (do 50 mm²):

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

Električno dimenzioniranje

Če v enačbo vpeljemo moč namesto toka in specifično upornost materiala vodnika:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi; \cos \varphi = P / (U \cdot I); r = \rho / A$$

dobimo končno formulo:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{A} = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U \cdot A}$$

Električno dimenzioniranje

Procentualni padec pa je definiran:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

torej:

$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot A} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

Električno dimenzioniranje

Ko dimenzioniramo vodnike, iščemo ustrezen prerez, da bo padec napetosti v dovoljenih mejah:

$$A = \frac{2 \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot \Delta U \%} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

ali največjo dovoljeno dolžino:

$$l = \frac{A \cdot U \cdot \Delta U \%}{2 \cdot I \cdot \rho \cdot \cos \varphi} \cdot 100\% = \frac{A \cdot U \cdot \Delta U \%}{2 \cdot P \cdot \rho} \cdot 100\%$$

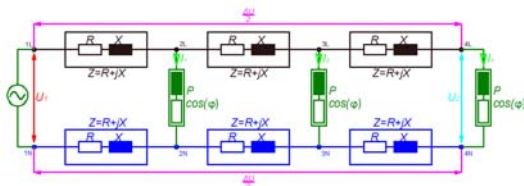
Električno dimenzioniranje

Iz izpeljanih enačb lahko dobimo:

- najmanjši potreben presek, da napetost na porabniku ni manjša od predpisane (izberemo prvi večji presek);
- najdaljšo dovoljeno dolžino vodnika določenega preseka, da pri dani obremenitvi padec napetosti ne bo prevelik

Električno dimenzioniranje

Električni vodi v inštalacijah so pogosto obremenjeni v več točkah vzdolž voda:



Električno dimenzioniranje

V tem primeru lahko padec napetosti izračunamo kot vsoto posameznih padcev, ki jih povzročajo posamezni bremenski tokovi na dolžinah do posameznih bremen:

$$\Delta U = 2 \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi$$
$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

40

Električno dimenzioniranje

Pri izpeljavi lahko po potrebi vpeljemo specifično upornost vodnika namesto upornosti in delovno moč namesto toka.

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U \cdot A}$$
$$\Delta U \% = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

41

Električno dimenzioniranje

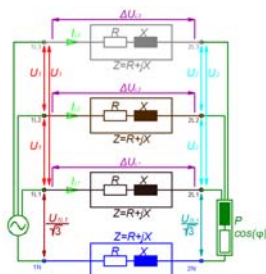
Enačbi lahko uporabimo z izračun minimalnega preseka vodnika pri danem padcu napetosti:

$$A = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U \cdot \Delta U}$$
$$A = \frac{2 \cdot \sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

42

Električno dimenzioniranje



EIR: Dimenzioniranje vodnikov

43

Dimenzioniranje trifaznega voda poteka podobno. V primeru simetrične trifazne obremenitve po nevtralnem vodniku tok ne teče in tako tudi ni padca napetosti na tem vodniku.

Električno dimenzioniranje

Padec napetosti na enem faznem vodniku tako lahko izračunamo po enačbi:

$$\Delta U = I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

Pri tem je I tok na vodu in U fazni padec napetosti.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

44

Električno dimenzioniranje

Ker nas v trifaznem sistemu vedno zanima medfazna napetost (napetost med vodniki), uporabimo enačbo:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi$$

oziroma procentualno:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

45

Električno dimenzioniranje

Podobno kot prej lahko v enačbo vpeljemo specifično upornost in moč bremena:

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot A} \cdot 100\%$$

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot l \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

Električno dimenzioniranje

Iz obeh enačb lahko izračunamo najmanjši dovoljeni presek vodnika pri danem padcu napetosti. Izberemo seveda prvi večji prerez.

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot \Delta U\%} \cdot 100\%$$

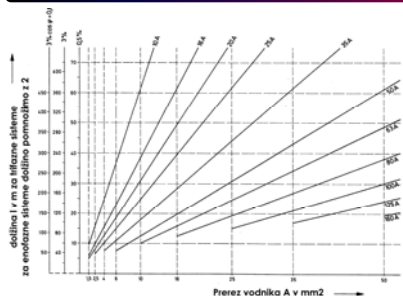
$$A = \frac{P \cdot l \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U\%} \cdot 100\%$$

Električno dimenzioniranje

V primeru nesimetrične obremenitve pade napetosti na treh faznih vodnikih niso enaki, zaradi česar teče tok tudi po nevtralnem vodniku. V tem primeru je izračun padcev napetosti precej bolj zapleten.

Običajno izračunamo največjo obremenitev, ki se pojavi na enem od vodnikov. Nato predpostavimo simetrično obremenitev in izračunamo padce z upoštevanjem te obremenitve.

Električno dimenzioniranje



Ustrezen prerez lahko izberemo tudi grafično:

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

49

Električno dimenzioniranje

V primeru, da je vod obremenjen na več mestih, lahko podobno kot pri enofaznem vodu vpeljemo tokovne momente:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi$$

oziroma procentualno:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot r \cdot \cos \varphi}{U} \cdot 100\%$$

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

50

Električno dimenzioniranje

In nato še specifično upornost in moč (trifazno) bremena:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot A} \cdot 100\%$$

$$\Delta U \% = \frac{\sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot A} \cdot 100\%$$

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

51

Električno dimenzioniranje

In na koncu določimo najmanjši potreben prevez vodnikov:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum (I \cdot l) \cdot \rho \cdot \cos \varphi}{U \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

$$A = \frac{\sum (P \cdot l) \cdot \rho}{U^2 \cdot \Delta U \%} \cdot 100\%$$

Mehansko dimenzioniranje

Mehanske obremenitve vodnikov so odvisne od:

- načina polaganja,
- montaže vodnikov,
- velikosti sil ob kratkih stikih in
- okoljskih razmer.

Mehansko dimenzioniranje

Mehansko trdnost vodnikov dosežemo s polaganjem v cevi oziroma v ali pod omet.

Velikost sil je lahko kritična le pri zbiralkah v glavnih razdelilnikih večjih porabnikov. V teh primerih tudi izvajamo mehanske izračune.

Mehansko dimenzioniranje

Pri vodnikih v električnih inštalacijah mehanskih izračunov ne izvajamo (standardi jih ne predvidevajo). V standardih so predpisani le najmanjši dovoljeni prerezi vodnikov glede na material in uporabo, ki zagotavljajo ustrezno mehansko trdnost.

Mehansko dimenzioniranje

Za fiksne inštalacije:

- kabli in izolirani vodniki za energetske tokokroge in razsvetljavo:
Cu: 1,5 mm², Al: 2,5 mm².
 - kabli in izolirani vodniki za signalne in krmilne tokokroge:
Cu: 0,5 mm².
- V signalnih in krmilnih tokokrogih za elektronsko opremo je dovoljeno
Cu: 0,1 mm².

Mehansko dimenzioniranje

Za fiksne inštalacije:

- goli vodniki za energetske tokokroge in razsvetljavo:
Cu: 10 mm², Al: 16 mm².
- goli vodniki za signalne in krmilne tokokroge:
Cu: 4 mm².

Mehansko dimenzioniranje

Gibljivi priključki z izoliranimi vodniki in kablji:

- za tokokroge male napetosti za posebno uporabo:
Cu: 0,75 mm².

- za ostalo uporabo:
Cu: 0,75 mm².

V večžilnih gibljivih kabljih, ki vsebujejo vsaj 7 žil, je lahko: Cu: 0,1 mm².

Mehansko dimenzioniranje

Po standardu dovoljene mehanske natezne obremenitve so:

- za toge kable med inštaliranjem:
50 N/mm²,

- za toge vodnike pri polaganju:
15 N/mm²,

- za gibke kable pri statični obremenitvi:
15 N/mm².

Skupna obremenitev kablov sme znašati največ 1000 N, pri navpičnem polaganju je obvezna opora vsaj na 5 m.

Dimenzioniranje vodnikov glede na gospodarnost

Izgube v inštalaciji so lahko velike (tudi preko 10 %), kar pomeni tudi večje stroške.

Izgube lahko zmanjšamo z večjim presekom (manjša upornost), vendar je posledično investicija večja.

Dimenzioniranje vodnikov glede na gospodarnost se izplača predvsem pri trajno enakomerno obremenjenih vodnikih in napravah z visokimi obratovalnimi urami.

Dimenzioniranje vodnikov glede na gospodarnost

Izgube v vodniku izračunamo z:

$$P_{\text{izg}} \% = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot A \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100\%$$

oziroma za trifazne porabnike:

$$P_{\text{izg}} \% = \frac{l \cdot P \cdot \rho}{U^2 \cdot A \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100\%$$

ali s pomočjo izračunanega procentualnega padca napetosti:

$$P_{\text{izg}} \% = \frac{\Delta U \%}{\cos^2 \varphi}$$

Tokovne obremenitve

Ko smo izbrali presek vodnika smo s tem izbrali tudi dovoljeni (predvideni) trajni tok.

V kolikor je tok v vodniku večji od tega dovoljenega trajnega toka, govorimo o tokovni preobremenitvi. Tokovna preobremenitev povzroča:

- povečano segrevanje in
- povečane mehanske obremenitve.

Tokovne obremenitve

Temperatura vodnika narašča s:

$$T = \frac{g^2 \cdot \rho \cdot d}{4 \cdot K} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Povišana temperatura vodnika pospešuje staranje izolacije in lahko povzroči njeno okvaro.

Tokovne obremenitve

Tudi mehanska sila narašča s:

$$F = 0,2 \cdot I^2 \cdot \frac{l}{A}$$

Zaradi mehanske sile lahko pride do poškodbe električne inštalacije.

Tokovne obremenitve

Če je tok večji od nazivnega toka, govorimo o nadtoku. Ta je lahko:

- preobremenitveni tok
- okvarni (kratkostični) tok.

Preobremenitveni tok

Preobremenitveni tok ni posledica okvare ampak prevelike obremenitve vodnikov npr. zaradi uporabe razdelilcev in za nekaj (deset) procentov presega nazivni tok.

Zaradi termične časovne konstante vodnikov preobremenitveni tok ne predstavlja nevarnosti takoj, ko nastopi ampak šele čez določen čas.

Okvarni (kratkostični) tok

Okvarni tok je posledica okvare v električni inštalaciji (kratek stik) in lahko doseže več (deset) kratnik nazivnega toka.

Ker je okvarni tok lahko zelo velik, tudi posledice (visoka temperatura, velike sile) nastopijo takoj ob pojavu.

Nadtokovna zaščita vodnikov

Da preprečimo negativne učinke preobremenitvenega ali okvarnega toka je potrebno vodnike (in kable) zaščititi.

Zaščita mora preobremenitveni ali okvarni tok pravočasno izklopiti.

Nadtokovna zaščita vodnikov

Pri enofaznih tokokrogih mora zaščitna naprava izklopiti fazni vodnik.

Pri trifaznih tokokrogih morajo biti vsi trije fazni vodniki opremljeni z zaščitnimi napravami. Izklopiti mora samo naprava v preobremenjenem vodniku, razen če enofazni izklop lahko povzroči preobremenitev ostalih dveh faz (npr. pri elektromotorjih).

Nadtokovna zaščita vodnikov

Zaščitna naprava lahko hkrati ščiti pred preobremenitvenim in pred okvarnim tokom (pri kratkem stiku).

Lahko pa se uporabljata tudi ločeni napravi, ena pred preobremenitvenim in druga pred okvarnim tokom.

Nadtokovna zaščita vodnikov

Med zaščitne naprave, ki ščitijo tako pred preobremenitvenim kot tudi pred okvarnim tokom so:

- taljive varovalke,
- inštalacijski odklopniki z preobremenitvenim in kratkostičnim sprožnikom,
- inštalacijski odklopniki, kombinirani z varovalkami.

Nadtokovna zaščita vodnikov

Če sta napravi ločeni, ima lahko naprava pred preobremenitvijo izklopno zmogljivost manjšo od predvidenega kratkostičnega toka.

Mora pa naprava za zaščito pri kratkem stiku biti sposobna ta tok izklopiti.

V določenih primerih naprava za zaščito pred preobremenitvijo ni potrebna.

Nadtokovna zaščita vodnikov



- Zaščitno napravo (ali zaščitni napravi) izbiramo po ločenih kriterijih za:
- preobremenitveni tok in za
 - okvarni tok.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

73

Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Zaščitna naprava pred preobremenitvenim tokom je ustrezno izbrana, če velja:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

- I_B ... maksimalni predvideni tok v tokokrogu
 I_n ... nazivni tok zaščitne naprave
 I_Z ... trajni dovoljeni tok vodnika

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

74

Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Ker pa zaščitna naprava pri nazivnem toku še ne izklopi, mora veljati tudi:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

- I_2 ... zgornji preizkusni tok zaščitne naprave pri katerem naprava zanesljivo izklopi v času 60 minut.

EIR: Dimenzioniranje vodnikov

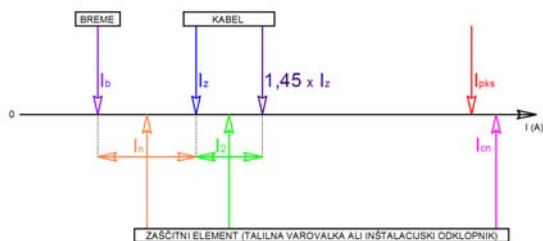
75

Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Zgornji preizkusni tok zaščitne naprave je:

- pri talilnih vložkih do 4 A: $I_2 = 2,1 \cdot I_n$
- pri talilnih vložkih do 13 A: $I_2 = 1,9 \cdot I_n$
- pri talilnih vložkih nad 13 A: $I_2 = 1,6 \cdot I_n$
- pri inštalacijskih odklopnikih: $I_2 = 1,45 \cdot I_n$

Zaščita pred preobremenitvenim tokom



Zaščita pred preobremenitvenim tokom

Če je izbrana zaščitna naprava hkrati tudi zaščita pred okvarnim tokom, moram biti izpolnjen tudi pogoj:

$$I_{pks} \leq I_{cn}$$

I_{pks} ... pričakovani tok kratkega stika
 I_{cn} ... izklopna zmogljivost naprave

Zaščita pri kratkem stiku

Pri izbiri zaščitne naprave pri kratkem stiku moramo upoštevati sledeče:

- zaščitna naprava mora biti sposobna prekiniti okvarni (kratkostični) tok;
- čas izklopa mora biti dovolj kratek, da se vodnik ne segreje preko dovoljene temperature.

Zaščita pri kratkem stiku

Če je čas trajanja kratkostičnega toka razmeroma kratek (<5 s) in je nazivno tok zaščitne naprave manjši od 63 A lahko čas v katerem kratkostični tok segreje vodnik do dovoljene temperature izračunamo po:

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I_k} \right)^2$$

Zaščita pri kratkem stiku

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I_k} \right)^2$$

t ... dopustno trajanje kratkostičnega toka;
 A .. presek vodnika;
 I_k ... velikost kratkostičnega toka
 $k = 115$ za bakrene vodnike s PVC izolacijo;
 $k = 135$ za bakrene vodnike s izolacijo iz gume.

Zaščita pri kratkem stiku

$$t > 0,1 \text{ s}$$

Če je izračunani čas daljši od 0,1 s izberemo ustrezno zaščitno napravo, ki bo pri uporabljenem kratkostičnem toku (I_k) zanesljivo izklopila v času, ki je krajši od izračunanega.

Zaščita pri kratkem stiku

$$t \leq 0,1 \text{ s}$$

Če je izračunani čas krajši od 0,1 s je potrebno opraviti še kontrolo talilnega integrala oziroma kontrolo celotnega integrala.

Zaščita pri kratkem stiku

Pri talilnih varovalkah izvedemo kontrolo talilnega integrala. Izbira je ustrezna, če velja:

$$I_k^2 \cdot t_s \leq (k \cdot A)^2$$

Talilni integral je merilo za energijo, ki je potrebna za pretalitev talilnega vložka.

Zaščita pri kratkem stiku

Pri inštalacijskih odklopnikih izvedemo kontrolo celotnega integrala. Izbira je ustrezna, če velja:

$$I_k^2 \cdot t \leq (k \cdot A)^2$$

Celotni integral je merilo za energijo, ki jo zaščitna naprava prepusti do izklopa.

Zaščita pri kratkem stiku

Poleg največjega kratkostičnega toka, ki se lahko pojavi, je pomemben tudi najmanjši kratkostičen tok. Zaščitno naprave je potrebno izbrati tako, da pri tem toku zanesljivo izklopi v 5 s. Daljši časi niso dovoljeni.

Zaščita pri kratkem stiku

Poleg največjega kratkostičnega toka, ki se lahko pojavi, je pomemben tudi najmanjši kratkostičen tok. Zaščitno naprave je potrebno izbrati tako, da pri tem toku zanesljivo izklopi v 5 s. Daljši časi niso dovoljeni.

Primer izbire zaščitne naprave

Enofazni porabnik,
ki ga bomo napajali
s trožilnim kablom (L, N, PE),
s PVC izolacijo (NYY),
položenim v cevi v steni (A2),
ima največji pričakovani tok 15 A.

Primer izbire zaščitne naprave

Iz tabele na prosajnici 11 vidimo, da
je dovoljeni trajni tok za bakren
vodnik:

• 1,5 mm² – 14 A;

• 2,5 mm² – 18,5 A.

Izberemo torej vodnik prereza
2,5 mm².

Primer izbire zaščitne naprave

Glede na pogoj:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

izberemo taliino varovalko z nazivnim
tokom 16 A.

$$15 \text{ A} \leq 16 \text{ A} \leq 18,5 \text{ A}$$

Primer izbire zaščitne naprave

Preverimo še pogoj:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

glede na vrednost $I_2 = 1,6 I_n$ in izračun

$$1,6 \cdot 16 = 25,6 \leq 1,45 \cdot 18,5 = 26,8$$

je izbira ustrezna.

Primer izbire zaščitne naprave

Ob upoštevanju podatkov:

- dolžina kabla med razdelilcem in porabnikom: 40 m;
 - upornost inštalacije do razdelilca: 300 mΩ;
- izračunamo upornost kratkostične zanke.

Primer izbire zaščitne naprave

Upornost kabla do porabnika:

$$R_k = \frac{2 \cdot l \cdot \rho}{A} = \frac{2 \cdot 40 \text{ m} \cdot 0,0178 \Omega \text{ mm}^2}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,57 \Omega$$

in skupna upornost kratkostične zanke:

$$Z_{kz} = Z_r + R_k = 0,30 \Omega + 0,57 \Omega = 0,87 \Omega$$

Primer izbire zaščitne naprave

Velikost kratkostičnega toka je torej:

$$I_{ks} = \frac{U_n}{Z_{kz}} = \frac{230V}{0,87\Omega} = 264A$$

in potreben čas izklopa:

$$t = \left(k \cdot \frac{A}{I_{ks}} \right)^2 = \left(115 \cdot \frac{2,5}{264} \right)^2 = 1,09s$$

Primer izbire zaščitne naprave

V katalogu proizvajalca talilnih varovalk preverimo, katera "največja" varovalka omogoča izklop pri toku 264 A prej kot v 1,09 s. Ugotovimo, da pogoj izpolnjuje varovalka z nazivnim tokom 40 A.

Prej izbrana varovalka z nazivnim tokom 16 A izklopi v 0,02 s, kar pomeni da ustreza tudi temu pogoju

... in še:

Vprašanja?
