

Nadtokovna zaščita vodnikov in kablov

Ustrezna izbira nadtokovne zaščite kablov in vodnikov onemogoča preobremenitev vodnikov in tako prekomerno segrevanje ter krajšanje življenjske dobe izolacije vodnikov. Slaba izbira je lahko nevarna za ljudi, povečuje pa se tudi možnost požara v objektu.

Zaščita pred prevelikimi tokovi

Prerezi vodnikov morajo biti dimenzionirani tako, da trajno zdržijo tokove. Pri tem moramo upoštevati standard, kjer je upoštevana razmestitev napeljave.

Delovna karakteristika naprave, ki ščiti električni vodnik pred obremenitvijo, mora upoštevati dva pogoja.

1. pogoj:

$$I_b \leq I_n \leq I'_z$$

kjer je:

- I_b tok za katerega je tokokrog predviden (bremenski)
- I_n nazivni tok zaščitne naprave
- I'_z korigiran zdržni (trajno dovoljeni) tok kabla, vodnika

$$I'_z = I_z \cdot f_p$$

kjer je:

- I_z zdržni tok kabla – trajno dovoljen tok glede na vrsto polaganja
- f_p korekcijski faktor zaradi skupinskega polaganja

2. pogoj:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_z$$

kjer je:

- I'_z korigiran zdržni tok kabla
- I_b tok za katerega je tokokrog predviden (bremenski)
- I_2 tok, ki zagotavlja zanesljivo delovanje zaščitne naprave (zgornji preizkusni tok)

$$I_2 = k \cdot I_n$$

Faktor k je razmerje med preskusnim in nazivnim tokom zaščitne naprave:

Nazivni tok zašč. elementa	taljivi vložek gG (gL)	inštalacijski odklopnik (B in C)
$2,4 = I_N$ (A);	2,1	
$6 \leq I_N$ (A) ≤ 13	1,9	1,2
$16 \leq I_N$ (A) ≤ 400	1,6	1,45

Kratkostična zmogljivost

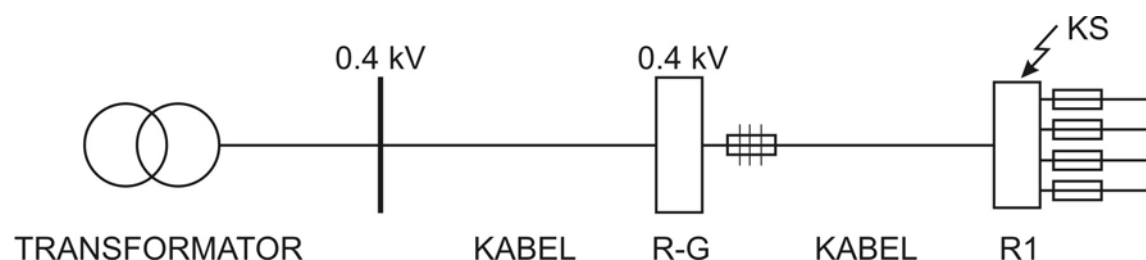
Vsaka zaščitna naprava je izdelana za določeno nazivno moč, torej tudi za določen nazivni oz. obremenilni tok. Kratkostični tokovi lahko zaradi prevelike toplote trajno preobremenijo oz. poškodujejo zaščitno napravo. Pri izračunu upoštevamo tripolni kratki stik. Zaščitna naprava mora zadosti pogojem:

- odklopna zmogljivost ne sme biti manjša od največjega pričakovanega kratkostičnega toka
- kratkostični tok mora biti prekinjen v času, ko se vodniki segrejejo do dopustne mejne temperature.

Mejni čas izračunamo z enačbami:

$$R_{okv.zanke} = 2 \cdot \frac{l}{\lambda \cdot S}; I_{kr} = \frac{230}{R_{okv.zanke}}; \sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I_{kr}}; k = 115(Cu)$$

$R_{okv.zanke}$ upornost okvarne zanke, po kateri bo stekel kratkostični tok
 l ... dolžina vodnika
 t ... mejni čas v s
 S ... prerez vodnika v mm²
 I_{kr} ... efektivna vrednost dejanskega kratkostičnega toka v A
 k .. Faktor (navedeno v N.B2.743)



Slika 1: Kratki stik v nizkonapetostni inštalaciji

Skupna rezistanca (upornost) do mesta KS je:

$$R_{k3} = \frac{R_{TP}}{2} + R_{RG-R1} = \frac{R_{TP}}{2} + \frac{l}{\gamma \cdot S}$$

kjer je:

R_{k3} kratkostična impedanca (upornost) do R1 pri tripolnem KS

R_{TP}	impedanca (upornost) okvarne zanke od TP do R-G
l	dolžina voda med R-G in R1 (m)
S	prerez vodnika (mm^2)
γ	specifična prevodnost bakra (Sm/mm^2)

Velikost tripolnega kratkostičnega toka izračunamo po enačbi:

$$I_{k3} = \frac{1,1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot R_{k3}}$$

kjer je:

R_{k3} kratkostična impedanca (upornost) do R1 pri tripolnem KS

Kratkostični tok je pomemben pri izbiri zaščitne naprave, saj ima vsaka zaščitna naprava tudi odklopno oz. kratkostično zmogljivost. Pri instalacijskih odklopnikih sta običajni vrednosti 6.000 in 10.000 A.

Izračun minimalnega preseka

Z izračunanim KS tokom lahko iz *I-t karakteristike* ugotovimo v kolikšnem času (t_{odk}) bo zaščitni element izklopil. Iz tega časa pa lahko izračunamo minimalni potreben prerez vodnika, da se vodnik v času (t_{odk}) ne bo segrel na dopustno temperaturo (za PVC vodnik – 70°C). Izbrani prerez mora biti večji od minimalnega prereza.

$$S_{\text{min}} = \frac{1}{k'} \cdot I_{k3} \cdot \sqrt{t_{\text{odk}}}$$

k' – je odvisen od vrste materiala in od vrste izolacije. Za PVC izolacijo in bakren vodnik je $k=115$, za aluminij s PVC izolacijo pa je $k=74$.

Za zelo kratke čase trajanja kratkih stikov ($<0.1\text{s}$) mora veljati tudi, da je:

$$k'^2 \cdot S^2 > I^2 \cdot t$$

$k'^2 S^2$ večji od prepuščene energije $I^2 t$, ki jo podaja proizvajalec zaščitnih naprav. Celoten Joulov integral za taljivi vložek 63 A odčitamo iz tabele.

Celoten Joulov integral je vsota ***talilnega Joulovega integrala*** in ***obločnega Joulovega integrala***, ki nastane ob izklopu. Talilni je tista vrednost integrala, ki je potrebna da stalimo talilni element varovalke. Po stalitvi talilnega elementa nastane oblok v katerem se skoncentrira energija obloka (obločni Joulov integral). Torej: talilni + obločni Joulov integral je celotni Joulov integral.

Nekaj primerov (vir: Eti Izlake)

- direktni udar strele ima energijsko vrednost od $250.000 \text{ A}^2\text{s}$ navzgor. To je toliko energije kot jo rabimo, da segrejemo 1l vode z 20°C na 60°C ali približno desetino kapacitete avtomobilskega akumulatorja.

- indirektni udar strele ima energijsko vrednost od $500 \text{ A}^2\text{s}$ navzgor

Kontrola padca napetosti

Tokokrog za razsvetljavo ima lahko 3% padec napetosti, tokokrogi ostalih porabnikov pa 5% padec napetosti, če se inštalacija napaja iz NN omrežja.

Če se inštalacija napaja direktno iz transformatorske postaja, ki je priključena na VN, potem je lahko padec napetosti za razsvetljavo 5%, za ostale porabnike pa 8%.

Kontrola selektivnosti

Za selektivnost odklopa zaščitnih elementov pri visokih kratkostičnih tokovih, kjer je čas izklopa manjši od 5 ms, je pomembna energija, ki steče skozi zaščitni element (Joulov integral = I^2t). Celoten čas izklopa je sestavljen iz TALILNEGA časa in OBLOČNEGA časa. Prvi čas je potreben, da se pri talilnem vložku stali žica, drugi čas pa je potreben, da se tok (oblok) prekine. Za nas je pomemben le prvi čas, s tem pa tudi talilni Joulov integral.

Za dobro selektivnost mora imeti zaščitni element, ki je bliže porabniku, nižje ležečo I-t karakteristiko, kar pomeni, da mora izklopiti pri manjšem toku, oz. v krajšem času.

Pri zelo velikih kratkostičnih tokovih pa ta kriterij ne zadostuje več. V tem primeru bo selektivnost ustrezna, če bo celotni Joulov integral manjše varovalke manjši od talilnega Joulovega integrala večje varovalke. To zanesljivo velja, če se zaščitna elementa razlikujeta za faktor 1.6 (dve stopnji).

Primer:

Podatki omrežja:

$$P_1 = 40.000 \text{ W}$$

$$\cos\varphi_1 = 0.95$$

$$P_2 = 30.000 \text{ W}$$

$$\cos\varphi_2 = 0.95$$

$$P_3 = 2000 \text{ W}$$

$$\cos\varphi_3 = 0.95$$

$$P_4 = 900 \text{ W}$$

$$\cos\varphi_4 = 0.95$$

$$l_1 = 30 \text{ m}$$

$$l_2 = 40 \text{ m}$$

$$l_3 = 16 \text{ m}$$

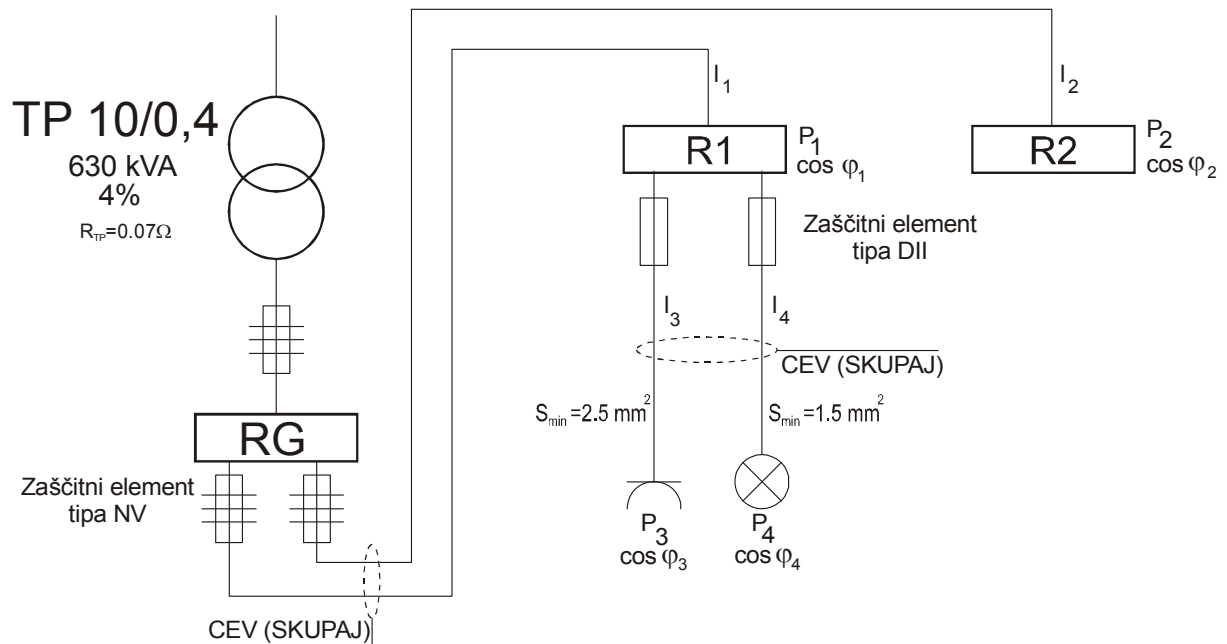
$$l_4 = 12 \text{ m}$$

$$U_1 = 400 \text{ V}$$

$$U_2 = 400 \text{ V}$$

$$U_3 = 230 \text{ V}$$

$$U_4 = 230 \text{ V}$$



Izračunajte in podajte preseke vodnikov in podatke zaščitnih elementov.

Kabla do podrazdelilnikov potekata v inštalacijski cevi podometno, prav tako je inštalacija do porabnikov podometna.

Za izračun upoštevamo, da je upornost okvarne zanke med TP in in glavnim razdelilnikom RG 0.07Ω .

1. NIVO

RG ima dva porabnika, podrazdelilca R1 in R2.

Najprej obravnavamo dovod in izbiro ustreznih zaščitnih naprav do razdelilnika R1.

Razdelilnik R1

izračun bremenskega toka:

$$I_b = \frac{P_{R1}}{\sqrt{3} \cdot U_{R1} \cdot \cos\varphi_{R1}} = \frac{40.000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.95} = 60.8 \text{ A}$$

I_b bremenski tok R1
 P_{R1} moč porabnika, v našem primeru konična moč podrazdelilca R1
 U_{R1} nazivna napetost
 $\cos \varphi$ faktor delavnosti

Glede na izračunan bremenski tok, izberemo prvi večji nazivni tok varovalke tipa NV. Izberemo 63A.

Tabela 1: Izvleček nazivnih tokov varovalk

nazivni tok varovalk [A]
2
...
...
...
50
63
80
100
125
160



Za izbiro ustreznega preseka vodnika moramo poznati način polaganja, oz. vrsto inštalacije. Iz slike je razvidno, da je vodnik večžilen in položen v instalacijski cevi. Tak tip inštalacije se uvršča pod tip B:

Skupina B - Izolirani vodniki v instalacijski cevi na steni.

B3 - Izolirani vodniki, enožilni ali večžilni kabli v instalacijski cevi v neizolirani steni ali instalacijskem prostoru.

Trajno dovoljeni tok izbranega vodnika mora biti večji od nazivnega toka zaščitnega elementa.

Iz tabele odčitamo potreben presek vodnika.

Tabela 2: Izvleček trajno dovoljenih tokov (skupine polaganja B)

Število obremenjenih vodnikov	2	3
	dopustna obremenitev pri 30°C [A]	
presek [mm ²]		
1	13,5	12
1,5	17,5	15,5
2,5	24	21
4	32	28
6	41	36
10	57	50
16	76	68
25	101	89
35	125	111
50	151	134
70	192	171
95	232	207

120	269	239
-----	-----	-----

V našem primeru bi temu pogoju zadoščal že vodnik s presekom 16 mm², ker pa imamo v cevi 2 vodnika skupaj, moramo upoštevati tudi korekcijski faktor pri polaganju več tokokrogov v skupini za skupine polaganja B in C.

Tabela 3: Izvleček korekcijskih faktorjev pri polaganju več tokokrogov v skupini ali večžilnih kablov za skupine polaganja B in C.

Razporeditev kablov	Korekcijski faktorji								
	Število tokokrogov ali večžilnih kablov								
	1	2	3	4	5	6	7	8	10
V skupinah na površini ali položeni v cevi ali zaprtih kanalih	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50

Sedaj lahko izračunamo dejansko dopustno obremenitev vodnika:

$$I'_{z=I_z} \cdot f_p = 68A \cdot 0.8 = 54.4 A$$

kjer je:

I'_z korigiran zdržni tok

I_z zdržni tok iz *Tabele 2*

f_p korekcijski faktor zaradi skupinskega polaganja

Če uporabimo vodnik preseka 16 mm² in upoštevamo faktor skupine vodnikov, vidimo, da je dejanski dopusti tok manjši od toka porabnika. zato moramo vzeti vodnik z večjim presekom. To je vodnik 25 mm², katerega trajno dovoljeni tok je 89 A.

$$I'_{z=I_z} \cdot f_p = 89A \cdot 0.8 = 71.2 A$$

Ko je vodnik izbran, moramo preveriti oba pogoja:

$$I_b \leq I_n \leq I'_z$$

V našem primeru: $60.8 \leq 63 \leq 71.2$. Kar pomeni, da je pogoju zadoščeno.

Drugi pogoj:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_z$$

Tok I_2 izračunamo z nazivnim tokom zaščitnega elementa in faktorjem "k",

Nazivni tok zašč. elementa	taljivi vložek gG (gL)	inštalacijski odklopnik (B in C)
2,4 = I_N (A);	2,1	

$6 \leq I_N \text{ (A)} \leq 13$	1,9	1,2
$16 \leq I_N \text{ (A)} \leq 400$	1,6	1,45

$$I_2 = k \cdot I_n = 1.6 \cdot 63A = 100.8 A$$

V našem primeru: $100.8 \leq 1.45 \cdot 71.2$ oz. $103.2 A$. Kar pomeni, da je pogoju zadoščeno.

Glede na kontrolo preobremenitve je izbrani vodnik PP00-Y 4x25 (NYY-J 4x25) ustrezen.

Kontrola na kratkostični tok

Za kontrolo moramo določiti kratkostično impedanco (upornost) R_{k3} . Pri izračunu upoštevamo tripolni kratki stik.

$$R_{k3} = \frac{R_{TP}}{2} + R_{RG-R1} = \frac{R_{TP}}{2} + \frac{l_1}{\gamma \cdot S} = \frac{0.07}{2} + \frac{30}{56 \cdot 25} = 0.056 \Omega$$

R_{k3} kratkostična impedanca (upornost) do R1 (Ω) pri tripolnem kratkem stiku

R_{TP} impedanca (upornost) okvarne zanke od TP do RG (Ω) oz. upornost okvarne zanke nizkonapetostnega omrežja (polovica, ker je to impedanca celotne zanke)

R_{RG-R1} kratkostična impedanca (upornost) od RG do R1 (Ω)

l_1 dolžina vodnika od RG do R1 (m)

γ specifična prevodnost za baker (Sm/mm^2)

S presek vodnika (mm^2)

Kratkostični tok izračunamo po enačbi:

$$I_{k3} = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{k3}} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.056} = 4536 A$$

Odklopni čas, pri katerem varovalka tipa NV100/63A prekine tokokrog pri izračunanem kratkostičnem toku odčitamo iz I-t karakteristike NV varovalk. V našem primeru je čas odklopa manjši od 4 ms.

Iz tega lahko izračunamo minimalni presek vodnika, pri katerem se v času odklopa vodnik segreje na dopustno temperaturo (PVC: 70°C). Izbran presek mora biti večji od minimalnega preseka.

$$S_{min} \geq \frac{1}{k'} \cdot I_{k3} \cdot \sqrt{t_{odk}} = \frac{1}{115} \cdot 4536A \cdot \sqrt{0.004s} = 2.49 \text{ mm}^2$$

S_{min} minimalni presek vodnika (mm^2)

- k' koeficient odvisen od vrste materiala in od vrste izolacije (PVC: za baker=115, za aluminij=74)
 I_{k3} kratkostični tok
 t_{odk} čas odklopa

Pogoj $S > S_{min}$ je izpolnjen, saj $25 > 2.49 \text{mm}^2$.

Ta pogoj pa ni zadosten, saj mora biti za zelo kratke čase trajanja kratkih stikov ($t < 0.1 \text{s}$) izpolnjen tudi naslednji pogoj:

$$k'^2 \cdot S^2 > I^2 \cdot t$$

Celotni Joulov integral odčitamo iz tabele.

I_n	P_v	$I^2 t$ 1ms	$I^2 t_c$ 230VAC	$I^2 t_c$ 400VAC	$I^2 t_c$ 500VAC	$I^2 t_c$ 690VAC
A	W	$A^2 s$	$A^2 s$	$A^2 s$	$A^2 s$	$A^2 s$
6	1.6	40	58	77	84	90
10	1.2	240	407	610	702	816
16	1.9	550	930	1400	1610	1870
20	2.1	870	1480	2210	2550	2960
25	2.8	1500	2180	3030	3350	3700
35	3.6	3300	4790	6660	7380	8140
50	5.6	6000	8700	12100	13400	14800
63	6.9	9600	13900	19400	21500	23700
80	6.7	19200	24300	37400	43500	51600
100	8.1	31500	39900	61300	71400	84600
125	10.8	42000	53200	81800	95200	112800
160	12.3	78000	98900	151800	176900	209500

$$115^2 \cdot 25^2 > 13.900 \quad \text{oz.} \quad 8.265.625 A^2 s > 13.900 A^2 s$$

Vidimo, da je pogoj izpolnjen!

Kontrola padca napetosti

Skupni padec napetosti na porabniku na sme presegati 3% za razsvetljavo in 5% za ostale porabnike.

Delni padec napetosti od RG do R1 izračunamo:

$$\Delta u_1 \% = \frac{P_1 \cdot l_1}{\gamma \cdot S_1 \cdot U^2} \cdot 100\% = \frac{40.000 W \cdot 30 m}{56 S m / mm^2 \cdot 25 mm^2 \cdot 400^2 V^2} \cdot 100\% = 0.54\%$$

Pri enofaznih porabnikih pomnožimo vrednost z 2, saj je padec napetosti tako na faznem kot ničelnem vodniku.

V TN sistemu izvajamo zaščito pri posrednem dotiku s samodejnim odklopom napajanja z nadtokovnimi elementi (varovalkami). Preveriti moramo, ali izbrana zaščitna naprava izklopi v predvidenem času.

Impedanco okvarne zanke R_{S1} do razdelilnika R1, ki zajema impedanco okvarne zanke od TP do RG in impedanco okvarne zanke od RG do R1 izračunamo:

$$R_{S1} = R_{TP} + 2 \cdot \frac{l_1}{\gamma \cdot S_1} = 0.07\Omega + 2 \frac{30m}{56Sm/mm^2 \cdot 25mm^2} = 0.113\Omega$$

Izračunana vrednost R_{S1} mora biti manjša od dopustne impedance R_{dop} , ki jo odčitamo iz tabele spodnje tabele. Dopustno upornost izberemo ob upoštevanju, da imamo napajalni vod, v katerem je dovoljen najdaljši čas odklopa 5s.

Tabela: Izklopni toki, ki zagotavljajo delovanje naprave za samodejni odklop napajanja v času, ki je še dovoljen s predpisi, in zgornje vrednosti dopustnih impedanc (Z_s) oz. upornosti (R_s) okvarnih zank, pri nazivni napetosti $U_0 = 230 V$, pri uporabi taljivih vložkov gG.

Nazivni tok taljivega vložka I_n (A)	Taljivi vložek gG					
	I_a		Z_s		I_a	
	(0.2s)		(0.4s)		(5s)	
	(A)	(Ω)	(A)	(Ω)	(A)	(Ω)
2	19	12.1	16	14.3	9.2	25
4	39	5.8	32	7.1	18.5	12.4
6	57	4.0	47	4.8	28	8.2
10	97	2.3	82	2.8	48	4.7
16	135	1.7	110	2.0	68	3.3
20	175	1.3	150	1.5	85	2.7
25	220	1.0	190	1.2	110	2.0
32	315	0.7	275	0.8	160	1.4
40	380	0.6	320	0.7	190	1.2
50	550	0.4	470	0.48	265	0.86
63	675	0.34	550	0.41	325	0.70
80	970	0.23	840	0.27	450	0.51
100	1200	0.19	1020	0.22	580	0.39
125	1700	0.13	1500	0.15	750	0.30
160	2100	0.10	1700	0.13	950	0.24
200	3000	0.07	2600	0.08	1350	0.17
250	3600	0.06	3000	0.07	1600	0.14
315	4950	0.04	4100	0.05	2250	0.10
400	6500	0.03	5500	0.04	2800	0.08
500	8800	0.02	7150	0.03	3800	0.06
630	11600	0.01	9500	0.02	5100	0.04

V našem primeru za 63A varovalko je izklopni tok 675A, zgornja vrednost impedance okvarne zanke pa 0.7 Ω .

Pogoj je torej izpolnjen, saj je 0.113 < 0.7!

Za razdelilnik R2 je izračun pravzaprav enak.

NIVO 2

Za tem nivoju imam porabnike manjših moči, ki so priključeni enofazno. V našem primeru imamo tokokrog razsvetljave in tokokrog vtičnic. Za oboje porabnike bi lahko naredili podobne izračune in pregledali ustreznost izbire.

$$I_b = \frac{P_3}{U \cdot \cos\varphi_3} = \frac{2.000}{230 \cdot 0.95} = 9.15A$$

Kar pa bi bila izbira različnih vodnikov za inštalacije manjših moči nesmiselna, se uporabljajo tipični prerezi. Tako se za tokokroge razsvetljave uporablja vodnik preseka 1.5 mm^2 , za tokokroge vtičnic pa vodniki preseza 2.5 mm^2 .