

DIMENZIONIRANJE NAPAVALNEGA DOVODA

PROJEKT NN PRIKLJUČKA

PROJEKT NN PRIKLJUČKA

- Napajalni dovod električne energije do razdelilnika dimenzioniramo na osnovi konične moči in koničnega toka porabnikov, dolžine in vrste dovoda. Kontrolo pravilnega delovanja zaščitnih naprav izvedemo s pomočjo izračuna enopolnega kratkega stika.

KONIČNA MOČ RAZDELILNIKA

- Konična moč razdelilnika je najvišja realna obremenitev razdelilnika ali pod-razdelilnika v daljšem časovnem obdobju (24ur, tedensko, mesečno) in je pomembna za dimenzioniranje dovoda in velikosti zaščitnih naprav.
- Konična moč razdelilnika je odvisna od vrste, karakteristike delovanja, medsebojne časovne obratovalne odvisnosti ipd.

FAKTOR ISTOČASNOSTI

- Faktor istočasnosti je razmerje med konično močjo razdelilnika in priključno močjo posameznih končnih porabnikov ali vsoto koničnih moči pripadajočih pod-razdelilnikov.
- Faktor istočasnosti dobimo s pomočjo analize obremenitev porabe ali pa dobimo podatke za posamezne vrste porabnikov v priročnikih. Večje število porabnikov pomeni nižji faktor istočasnosti. Za stanovanjske objekte veljata orientacijski vrednosti:
 - večsobno stanovanje: $f_i = 0,25$
 - enosobno stanovanje: $f_i = 0,60$

FAKTOR ISTOČASNOSTI

$$f_i = \frac{P_k}{\sum P_i} = \frac{P_k}{\sum P_{ki}} \quad (0,0 \div 1,0)$$

- f_i ...faktor istočasnosti
- P_k ...konična moč odjemalca (W)
- P_i ...instalirana (priključna) moč porabnikov (W)
- P_{ki} ...konična moč pod-razdelilnika

1. DOLOČITEV TEHNIČNIH KARAKTERISTIK NAPAJANJA

- Napajalna VN ali SN mreža
- Transformator (moč, stik transformatorja, izgube)
- Število kontaktnih mest
- Napajalni in razdelilni sistemi (TN, TT)

2. DOLOČITEV ELEKTRIČNE MOČI OBJEKTA

- $P_i = \Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \dots$ vsota delovnih moči vseh priključenih porabnikov
- $Q_i = \Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \dots$ vsota jalovih moči vseh priključenih porabnikov

$$\Sigma S = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2};$$

- Določitev konične moči in toka:

$$\cos \varphi_{sr} = \frac{P_i}{\Sigma S}$$

$$\eta_{sr} = \frac{\Sigma P_n}{P_i}$$

$$f_i = \frac{P_k}{P_i}; P_k = P_i \cdot f_i$$

$$P_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k \cdot \cos \varphi_{sr} \Rightarrow I_k$$

3. DIMENZIONIRANJE VODNIKA GLEDE NA NJEGOV TRAJNO ZDRŽNI TOK

- STANDARD (N.B2.752 Trajno dovoljeni toki)
- Določanje tipa polaganja (tabela 2); običajno vkopan kabel v zemljo, globina 0,70m
- Korekcijski faktor glede na temperaturo okolice (tabela 9); $f_T=1$
- Korekcijski faktor za polaganje več-žilnega kabla (tabela 5); $f_p=1$
- Določanje preseka napajalnega vodnika (tabela 4)
- Določanje trajno zdržnega toka za dobljeni presek; $I_Z=I_{TZ}*f_T*f_p$

4. KONTROLA PADCEV NAPETOSTI

- Maksimalni dovoljeni padec za dovod iz transformatorske postaje (TP) je 8%
- $\lambda = 56$ za Cu; $\lambda = 37$ za Al (Sm/mm²); $U = 400\text{V}$

$$u\% = \frac{100 \cdot P_k \cdot l}{\lambda \cdot S \cdot U^2} (\%)$$

4. ZAŠČITA PRED PREOBREMENITVENIM TOKOM

Pri zaščiti pred preobremenitvenimi tokovi je potrebno uskladiti napajalni dovodni vodnik in zaščitno napravo (varovalka, odklopnik) s koničnim tokom porabnikov (I_k). To izvedemo z upoštevanjem naslednjih dveh pogojev:

1. Pogoj: $I_k \leq I_N \leq I_Z$
 I_k ...konični tok porabnikov
 I_N ...nazivni tok zaščitne naprave
 I_Z ...trajno dovoljeni (zdržni) tok vodnika, kabla
2. Pogoj: $I_2 \leq 1,45 * I_Z$
 I_2 ...tok, ki zagotavlja zanesljivo delovanje zaščitne naprave (preskusni tok)

Standardi predpisujejo faktor razmerja k med preskusnim in nazivnim tokom zaščitne naprave, ki je definiran:

$$k = I_2/I_N; \quad I_2 = k * I_N; \quad k * I_N \leq 1,45 * I_Z; \quad \Rightarrow \quad I_N \leq 1,45 * I_Z / k$$

6. ZAŠČITA PRED KRATKOSTIČNIM TOKOM IN KONTROLA DELOVANJA ODKLOPA NAPAJANJA

- V skladu z zahtevami določil standardov morajo biti karakteristike zaščitnih naprav za nadtokovno zaščito in dimenzije (preseki) vodnikov oz. impedanca celotnega tokokroga izbrana tako, da se v primeru okvare med faznim in zaščitnim vodnikom ali izpostavljenimi prevodnimi deli naprav, kjerkoli v instalaciji, avtomatsko odklopi napajanje tistega dela instalacije, ki je v okvari.

- Ta zahteva je v sistemu TN izpolnjena s pogojem: $Z_S * I_a \leq U_0$, kjer pomeni:

- - Z_S ...impedanca okvarne zanke

- - I_a ...izklopilni tok zaščitne naprave za avtomatski odklop napajanja v času, ki je določen s pogoji standardov

- - U_0 ...nazivna napetost proti zemlji (fazna napetost: $U_0 = 230V$)

- Izklopilni časi naprav za nadtokovno zaščito pred električnim udarom so odvisni od značaja prostora, za katerega je instalacija predvidena, od velikosti napajalne napetosti in od vrste porabnika, ki je na instalacijo priključen. V praksi velja, da mora zaščitna naprava avtomatsko odklopiti napajanje stalno priključenega porabnika v 5s, prenosnega pa v 0,4s!

NAJDALJŠI ODKLOPNI ČASI V TN SISTEMU

U_0 (V)	t_{izk} (s)	Uporaba
230	5	napajalni tokokrogi, fiksno priključeni porabniki, eksplozijsko neogrožen prostor
120	0,8	eksplozijsko neogrožen prostor
230	0,4	tokokrogi vtičnic, prenosni uporabniki, eksplozijsko neogrožen prostor
400	0,2	tokokrogi vtičnic, prenosni uporabniki, eksplozijsko neogrožen prostor
nad 400	0,1	eksplozijsko ogrožen prostor, $U_0 > 400V$

7. IZRAČUN TOKA ENOPOLNEGA IN TRIPOLNEGA KRATKEGA STIKA

Zaščitne naprave za odklop napajanja in preseki vodnikov napajalnih in razvodnih kablov morajo biti dimenzionirani na minimalni kratkostični tok, ki ga označuje tok enopolnega kratkega stika I_{k1} :

k_u ...faktor zaščite;

($k_u=0,8$ -za eksplozijsko ogrožene prostore, $k_u=0,95$ -za ostale prostore)

U ...nazivna linijska (medfazna) napetost

Z ...vektorska vsota direktnih impedanc kratkostične zanke

Z_0 ...vektorska vsota ničelnih impedanc kratkostične okvarne zanke

Z_e ...ekvivalentna impedanca zanke enopolnega kratkega stika

$$I_{k1} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot Z + Z_0} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{Z_e}; I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

7.1 DIREKTNA IMPEDANCA

Direktno impedanco okvarne zanke Z sestavlja vektorska vsota delovnih in induktivnih upornosti

$$Z = R + jX = (R_M + R_T + R_K + R_{km}) + j(X_M + X_T + X_K)$$

R ...vsota direktnih delovnih upornosti

X ...vsota direktnih induktivnih upornosti

R_M, X_M ...delovna in induktivna upornost SN in VN mreže

R_T, X_T ...delovna in induktivna upornost transformatorja

R_K, X_K ...delovna in induktivna upornost kabla oz. vseh kablov v zanki

R_{km} ...delovna upornost kontaktnih mest

7.2 NIČELNA IMPEDANCA

Ničelno impedanco okvarne zanke Z_0 sestavlja vektorska vsota delovnih in induktivnih ničelnih upornosti:

$$Z_0 = R_0 + jX_0 = (R_{0T} + R_{0K}) + j(X_{0T} + X_{0K})$$

R_0 ...vsota ničelnih delovnih upornosti

X_0 ...vsota ničelnih induktivnih upornosti

R_{0T}, X_{0T} ...delovna in induktivna ničelna upornost transformatorja

R_{0K}, X_{0K} ...delovna in induktivna ničelna upornost kabla oz. vseh kablov v zanki

$$I_{k1} = \frac{k_u \cdot \sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(2R + R_0)^2 + (2X + X_0)^2}}; Z_e = \sqrt{(2R + R_0)^2 + (2X + X_0)^2}; Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

7.3 IZRAČUN DIREKTNIH IMPEDANC ENOPOLNEGA KRATKEGA STIKA

Pri izračunih impedanc je priporočljiv prikaz vrednosti upornosti v $m\Omega$!

7.3.1 Visoko napetostna (VN) ali srednje napetostna (SN) mreža:

U ...nazivna linijska napetost NN mreže ($U=0,4kV$)

P_M ...začetna kratkostična moč SN ali VN mreže (MVA)

$$X_M = 1,1 \cdot \frac{U^2}{P_M} (\Omega / fazo)$$

$$R_M = 0,1 \cdot X_M (\Omega / fazo)$$

7.3 IZRAČUN DIREKTNIH IMPEDANC ENOPOLNEGA KRATKEGA STIKA

7.3.2 Transformator

- Impedanca transformatorja:

u_k ...kratkostična napetost transformatorja (%)

U_T ...nazivna sekundarna linijska napetost transformatorja (kV) (običajno 0,4kV)

P_T ...nazivna moč transformatorja (MVA)

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_T^2}{100 \cdot P_T} (\Omega / fazo)$$

- Delovna upornost transformatorja:

P_{Cu} ...izgube transformatorja v bakru (MW)

U_T ...nazivna sekundarna linijska napetost transformatorja (kV) (običajno 0,4kV)

P_T ...nazivna moč transformatorja (MVA)

$$R_T = \frac{P_{Cu} \cdot U_T^2}{P_T^2} (\Omega / fazo)$$

- Induktivna upornost transformatorja:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} (\Omega / fazo)$$

7.3 IZRAČUN DIREKTNIH IMPEDANC ENOPOLNEGA KRATKEGA STIKA

7.3.3 Kabel

Delovna upornost kabla:

l ...dolžina kabla (km)

R_k'' ...reducirana delovna upornost kabla na 1km dolžine pri temperaturi 20°C

k'' ...redukcijski faktor povečanja temperature kabla

$$R_k = l \cdot R_k'' \cdot k'' \text{ (\Omega/ fazo)}$$

Približni izračun R_k'' :

λ ...specifična prevodnost vodnika ($\lambda_{Cu}=56$, $\lambda_{Al}=35$)

S ...preseki vodnika (mm²)

P_T ...nazivna moč transformatorja (MVA)

$$R_k'' = \frac{l}{\lambda \cdot S} = \frac{1000}{\lambda \cdot S} \text{ (\Omega/ km)}$$

Induktivna upornost kabla:

l ...dolžina kabla (km)

X_k'' ...0,08 do 0,1 (Ω/km)

$$X_k = l \cdot X_k'' \text{ (\Omega/ fazo)}$$

7.3 IZRAČUN DIREKTNIH IMPEDANC ENOPOLNEGA KRATKEGA STIKA

7.3.4 Kontaktna mesta

- Delovna upornost kontaktnih mest:

n_{km} ... število kontaktnih mest

R_{km}'' ... 0,5 mΩ/kontaktno mesto

$$R_{km} = n_{km} \cdot R_{km}'' \text{ (m}\Omega / \text{fazo)}$$

7.4 IZRAČUN NIČELNIH IMPEDANC

7.4.1 Transformator:

Ničelna impedanca transformatorja je odvisna od stika transformatorja:

Stik transformatorja	Ničelna upornost $R_{0T}(\Omega/\text{fazo})$	Ničelna induktivna upornost $X_{0T}(\Omega/\text{fazo})$
Dy	$R_{0T} = R_T$	$X_{0T} = 0,95 * X_T$
Dz, Yz	$R_{0T} = 0,4 * R_T$	$X_{0T} = 0,1 * X_T$
Yy	$R_{0T} = R_T$	$X_{0T} = 1,00 * X_T$

7.4 IZRAČUN NIČELNIH IMPEDANC

7.4.2 Kabel

- Delovna ničelna upornost kabla:

pri pogoju preseka vodnikov $S_{PEN} = S_{faze}$

$$R_{0K} = 4 \cdot R_K (\Omega / fazo)$$

pri pogoju preseka vodnikov $S_{PEN} = \frac{1}{2} S_{faze}$

$$R_{0K} = 7 \cdot R_K (\Omega / fazo)$$

- Induktivna ničelna upornost kabla:

$$X_{0K} = 3 \cdot X_K (\Omega / fazo)$$

7.5 PRIMER IZRAČUNA KONTROLE ODKLOPA NAPAJANJA

Praktičen primer prikaza kontrole odklopa napajanja je razviden iz tabele. Kontrola je izvedena za dva simetrična trifazna porabnika, ki sta locirana v eksplozijsko ogroženem prostoru – cona 2. Oba porabnika se napajata iz NN razdelilnika, ki je lociran v neogroženem prostoru.

Tehnične karakteristike napajanja obeh porabnikov:

- porabnik A: napajalni kabel NYY-J 4x120mm² Cu, l=130m, varovalka NVgl–200A;
- porabnik B: napajalni kabel NYY-J 4x6mm² Cu, l=130m, varovalka NV gl – 20A;
- Izklopilni čas varovalk: $t_{izk} = 100\text{ms}$ (zahteva za eksplozijsko ogrožen prostor)
- Karakteristični parametri za izračun kratkostične zanke:
 1. Mreža: $U = 10\text{ kV}, P_M = 350\text{ MVA}$
 2. Transformator: $P_T = 1000\text{ kVA}, D_y, u_k = 6\%, P_{Cu} = 11,75\text{ kW}$
 3. Kontaktna mesta: $n_{km} = 22$
 4. Sistem mreže: TN

Kontrola odklopa napajanja – tabela parametrov

1. Tehnične karakteristike porabnike	Porabnik A		Porabnik B	
1.1 Presek kabla	S = 4 x 120 mm ² , Cu		S = 4 x 6 mm ² , Cu	
1.2 Varovalka	NV 100 gl – 200A		NV 100 gl – 20A	
1.3 Izklopilni čas varovalke	t _{ikk} = 100 ms		t _{ikk} = 100 ms	
2. Direktne impedance	Porabnik A – (mΩ)		Porabnik B – (mΩ)	
2.1 Mreža	R _M = 0,05	X _M = 0,50	R _M = 0,05	X _M = 0,50
2.2 Transformator 1000 kVA	R _T = 1,88	X _T = 9,40	R _T = 1,88	X _T = 9,40
2.3 Kabel PP00/Y	R _K = 24,66	X _K = 10,43	R _K = 501,33	X _K = 10,43
2.4 Kontaktna mesta	R _{km} = 11,00		R _{km} = 11,00	
2.5 Vsota direktnih delovnih in induktivnih upornosti: R + X	R = 37,59	X = 20,33	R = 514,26	X = 20,33
3. Ničelne impedance	Porabnik A – (mΩ)		Porabnik B – (mΩ)	
3.1 Transformator 1000 kVA	R _{0T} = 1,88	X _{0T} = 8,9	R _{0T} = 1,88	X _{0T} = 8,9
3.2 Kabel PP00/Y	R _{0K} = 98,66	X _{0K} = 31,3	R _{0K} = 2005,32	X _{0K} = 31,3
3.3 Vsota ničelnih delovnih in induktivnih upornosti: R ₀ + X ₀	R ₀ = 100,58	X ₀ = 40,2	R ₀ = 2007,20	X ₀ = 40,2
4. Vsota delovnih upornosti	2R + R ₀ = 175,76 mΩ		2R + R ₀ = 3035,72 mΩ	
5. Vsota induktivnih upornosti	2X + X ₀ = 80,86 mΩ		2X + X ₀ = 80,86 mΩ	
6. Ekvivalentna impedanca Z _e	Z _{eA} = 193,47 mΩ		Z _{eB} = 3036,8 mΩ	
7. Tok enopolnega kratkega stika I _{k1}	I _{k1A} = 2865 A		I _{k1B} = 182,5 A	
8. Izklopni tok varovalke pri t _{izk} =0,1s	I _{aA} = 2750 A		I _{aB} = 192,5 A	
9. Pogoj izklopa napajanja I _a < I _{k1}	Pogoj je izpolnjen		Pogoj ni izpolnjen (povečati presek kabla)	
10. Impedanca 3-polnega kratkega stika	Z = 42,74 mΩ		Z = 514,66 mΩ	
11. Tok tripolnega kratkega stika	I _{k3A} = 5410 A		I _{k3B} = 450 A	

7.6 KOMPENZACIJA JALOVE ENERGIJE

Kompensacijo jalove energije izvajamo predvsem s centralno kompenzacijsko napravo, ki jo vgradimo v glavne razdelilnike ali transformatorske postaje. S kompenzacijsko napravo lahko kompenziramo jalovo energijo do $\cos\varphi = 1$, ker porabniki zaradi spreminjajoče obremenitve spreminjajo velikost potrebne jalove energije.

7.7 IZRAČUN POTREBNE KOMPENZACIJSKE NAPRAVE

Kompensacijo jalove energije izvajamo predvsem s centralno kompenzacijsko napravo, ki jo vgradimo v glavne razdelilnike ali transformatorske postaje. S kompenzacijsko napravo lahko kompenziramo jalovo energijo do $\cos\varphi = 1$, ker porabniki zaradi spreminjajoče obremenitve spreminjajo velikost potrebne jalove energije.