

Zaštita kod izoliranih mrežnih sustava

- tri sustava zaštite
- sustav uzemljenja s kontrolom izolacije (izolirani sustav) (do 1kV elektroenergetske mreže)
 - strujna zaštita (iznad 1kV)
 - mali naponi (do 50V - signalizacija, upravljanje,...)

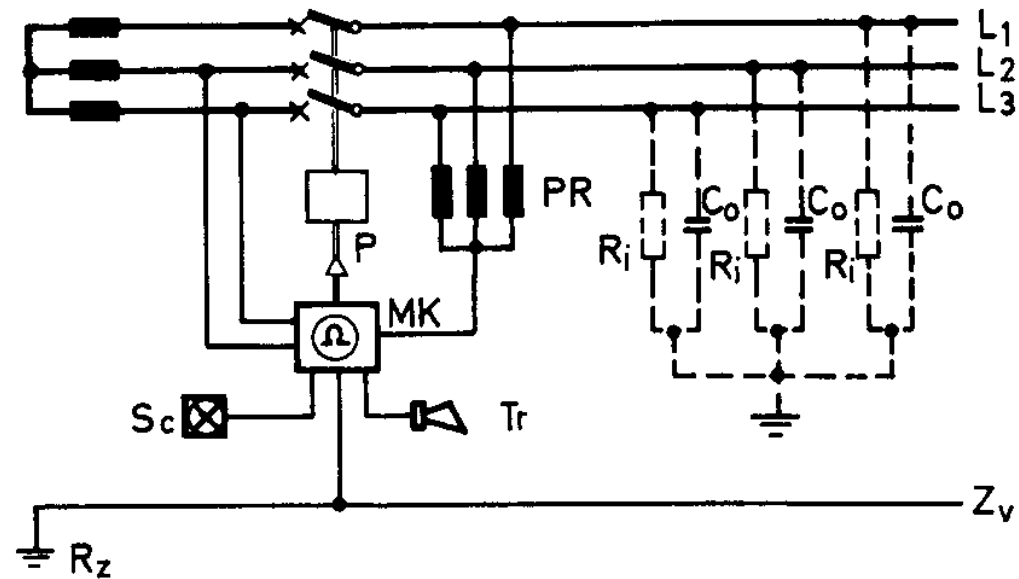
Izolirani sustavi s kontrolom izolacije

- osnovne karakteristike
- sva trošila na zajednički zaštitni vod
 - zaštitna uzemljenja (za proračun) na jednom mjestu uzemljena
 - trajna kontrola izolacije (nikako manje od $1k\Omega$)

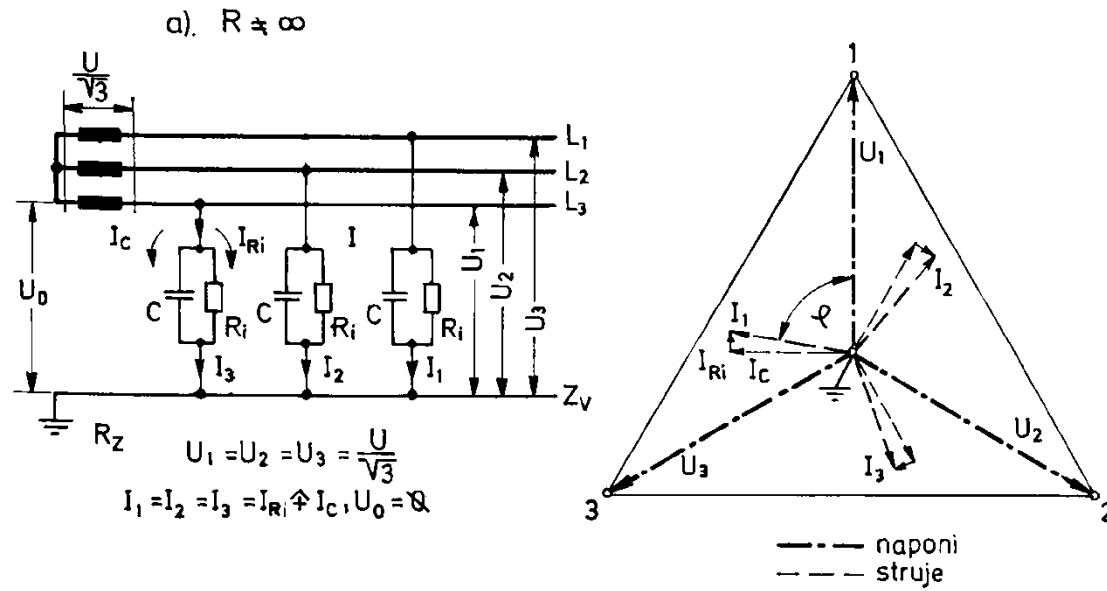
IZOLACIJSKI OTPORI MREŽE DO 1000 V ZA METANSKE JAME

Stanje izolacije	Otpor izolacije (Ω/V)
Dobro	1 000
Dovoljno	> 100
Dovoljno privremeno	40—100
Nedovoljno	< 40
Zemljospoj (opasno)	≤ 20

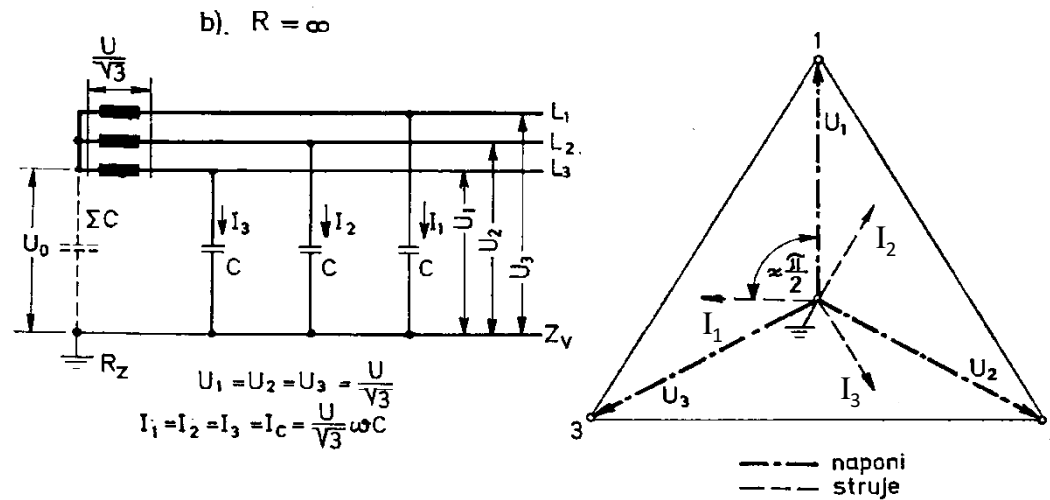
- mrežni kontrolnik
- trajno prikazivanje otpora izolacije
 - signalizacija pri sniženoj izolaciji
 - brzo isklapanje pri zemljospoju ili brzom padu izolacije



Spoj mrežnog kontrolnika u niskonaponskoj mreži

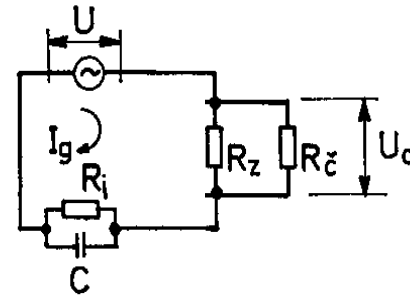
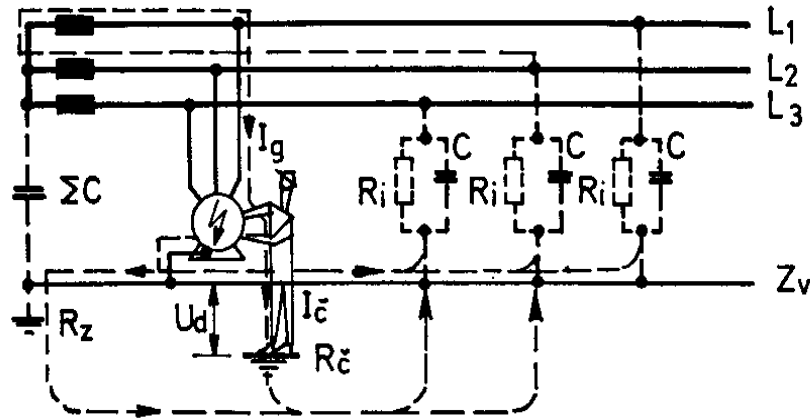


Kapacitivne struje izoliranog sustava mreže (IT)



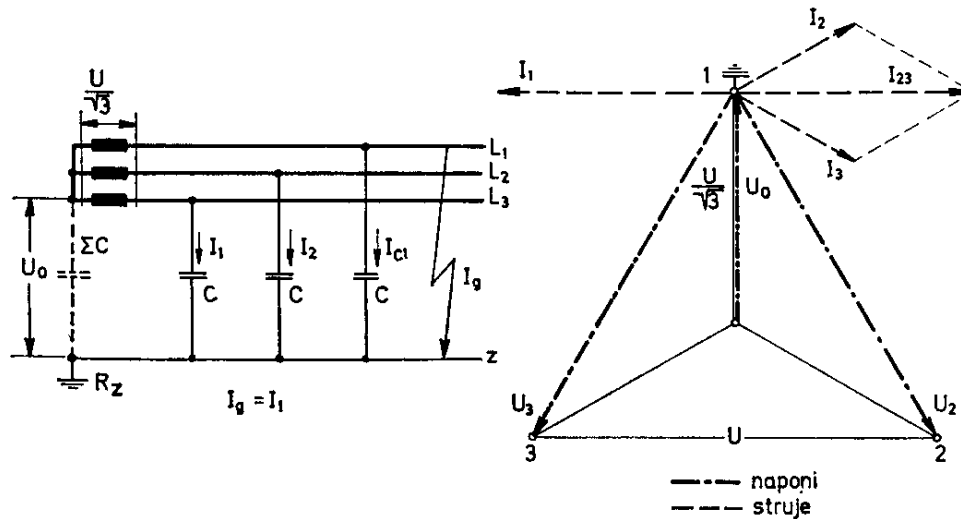
Kapacitivne struje izoliranog sustava mreže (IT)

dodirni napon zbog greške izolacije



uz $R_Z \ll R_{\check{c}}$ $U_d = I_Z R_Z$

Dodirni napon kod greške izolacije električnog uređaja



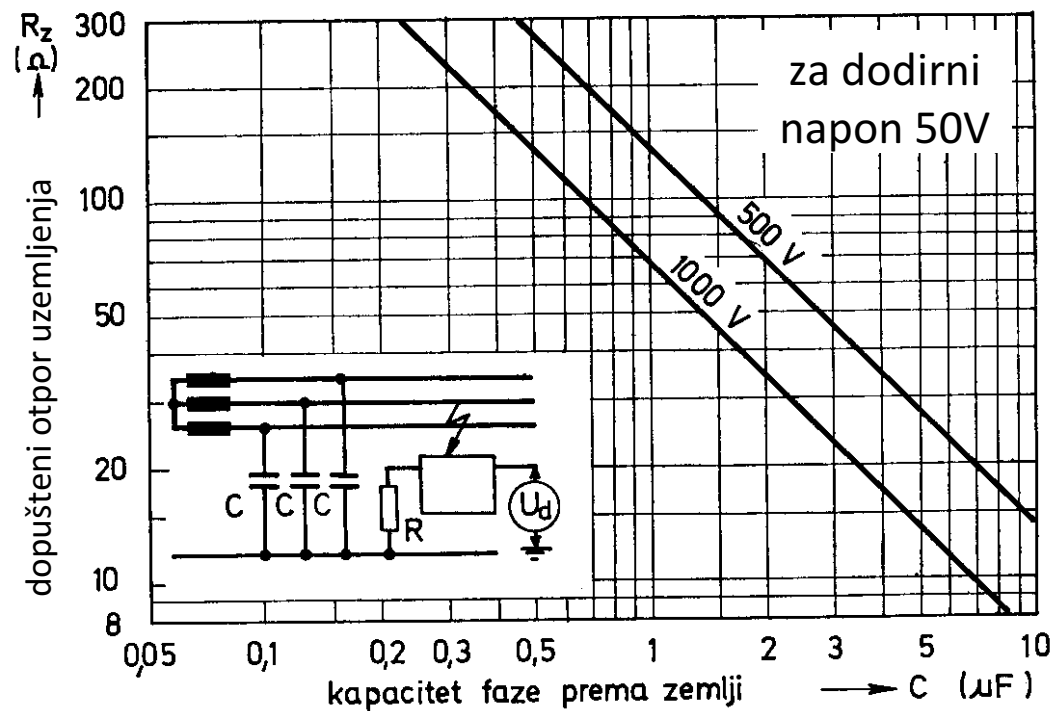
$$I_Z = U \cdot \frac{1 + R_i \cdot \omega \cdot C}{R_i}$$

uz $R_i = \infty$

$$I_Z = U \cdot R_i \cdot \omega \cdot C$$

Zemljospoj jedne faze izoliranog sustava mreže

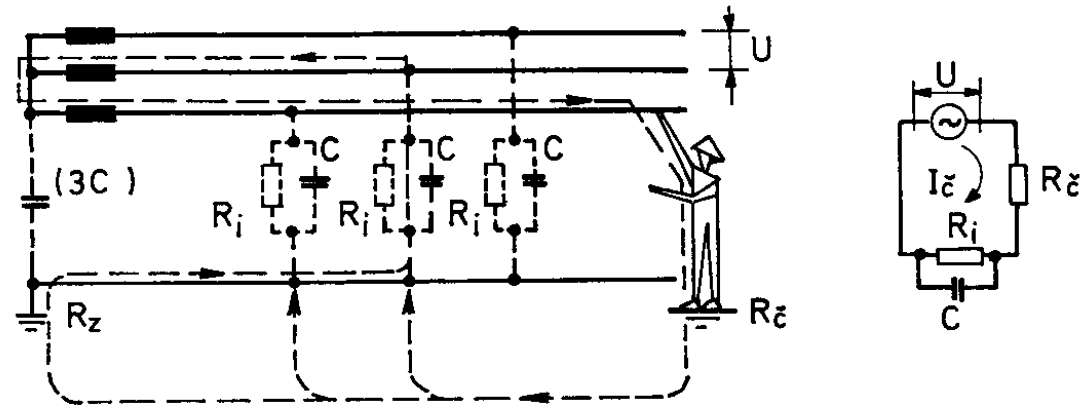
otpor rasprostiranja $R_z \leq \frac{U_d}{I_z}$ — dopušteni dodirni napon
 — struja zemljospoja



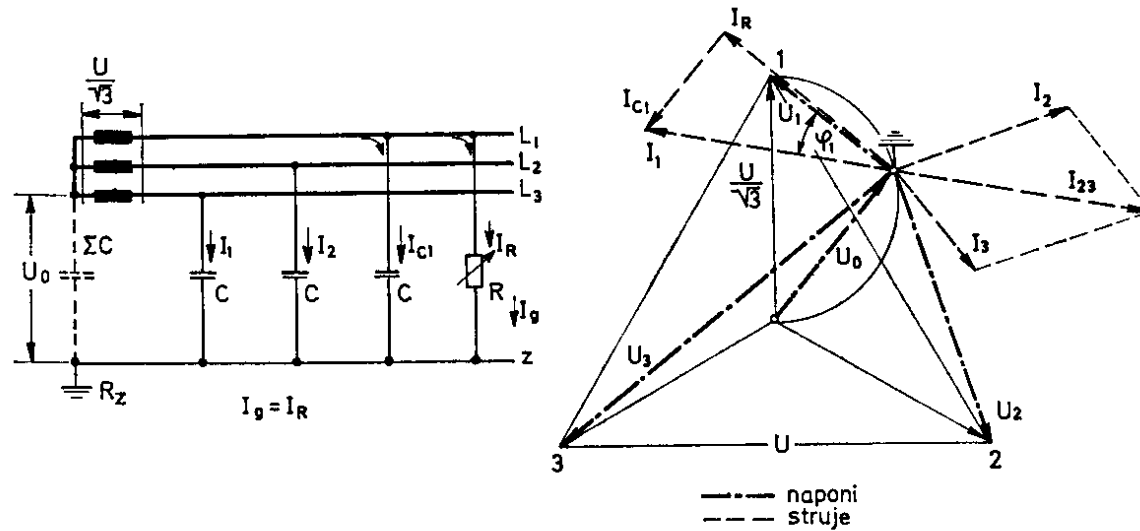
Dopušteni otpor uzemljenja kod izoliranog sustava mreže (IT)

uz $C = 1\mu F$, $U_g \leq 50V$ i $U = 500V \rightarrow R_{zv} \leq 345\Omega$

direktni dodir faze

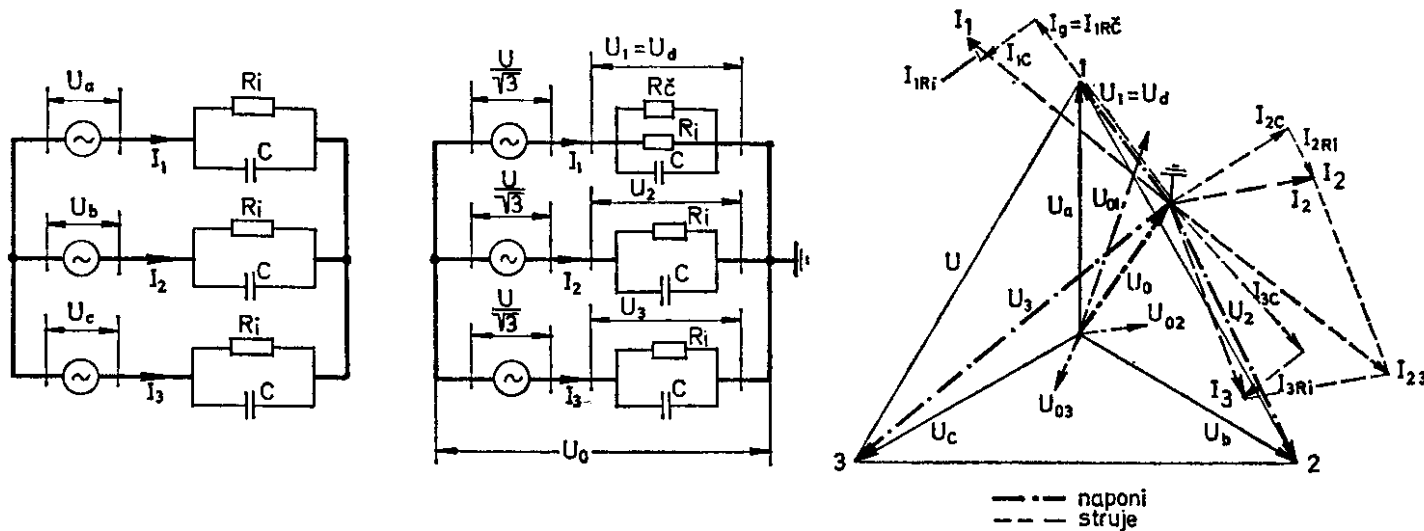


Dodir faze izoliranog sustava mreže (IT)



Zemljospoj preko promjenljivog otpora (čovjeka – $R_ε$)

točan prikaz prolaza struje kroz čovjeka uz postojanje R_i



Shematski i kazalični prikaz dodira čovjeka s fazom u izoliranom sustavu mreže

određivanje dodirnog napona

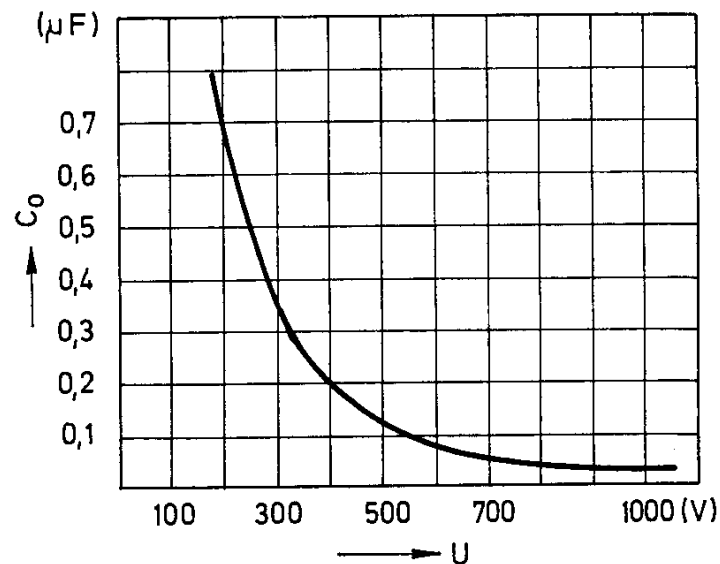
$$U_d = I_{\check{c}} \cdot R_{\check{c}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \sqrt{\frac{\frac{1}{R^2} + \omega^2 \cdot C}{\left(\frac{1}{R_{\check{c}}} + \frac{3}{R_i}\right) + 9 \cdot \omega^2 \cdot C}}$$

dva granična slučaja (pojednostavljenje)

- otpor izolacije $R_C \rightarrow \infty$

- kapacitivni otpor $X_C \rightarrow \infty$

otpor izolacije $R_i \rightarrow \infty \rightarrow I_g$ ovisi samo o kapacitivnom otporu faze



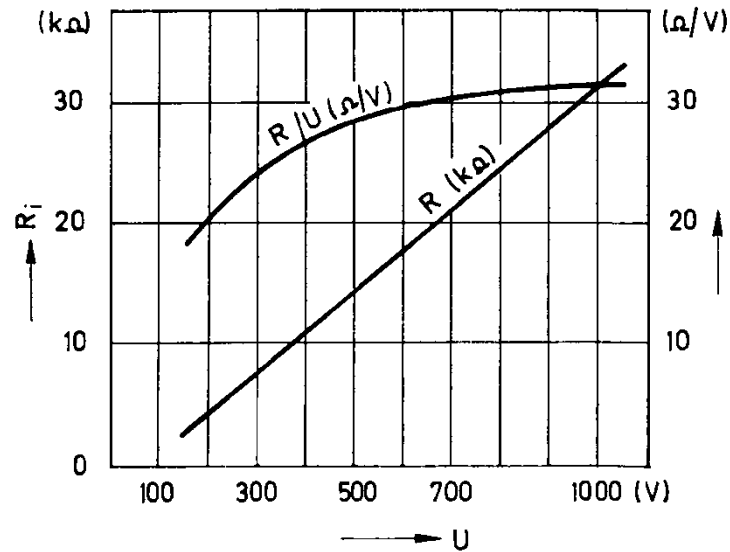
Granični kapacitet faze prema zemlji uz dodirni napon 50 V

GRANIČNI KAPACITET VODOVA PREMA ZEMLJI

Napon mreže (V)	Maksimalni dopušteni kapacitet vodova prema zaštitnom vodu (μF)
220	0,65
380	0,205
500	0,12
660	0,073 0,067
1 000	0,03

1,5 km \approx 1μf \Rightarrow
za direktni dodir
neopasne jako
kratke mreže

za kratke mreže kapacitivni otpor faze $X_C \rightarrow \infty$ (kapacitet faze $\rightarrow 0$)

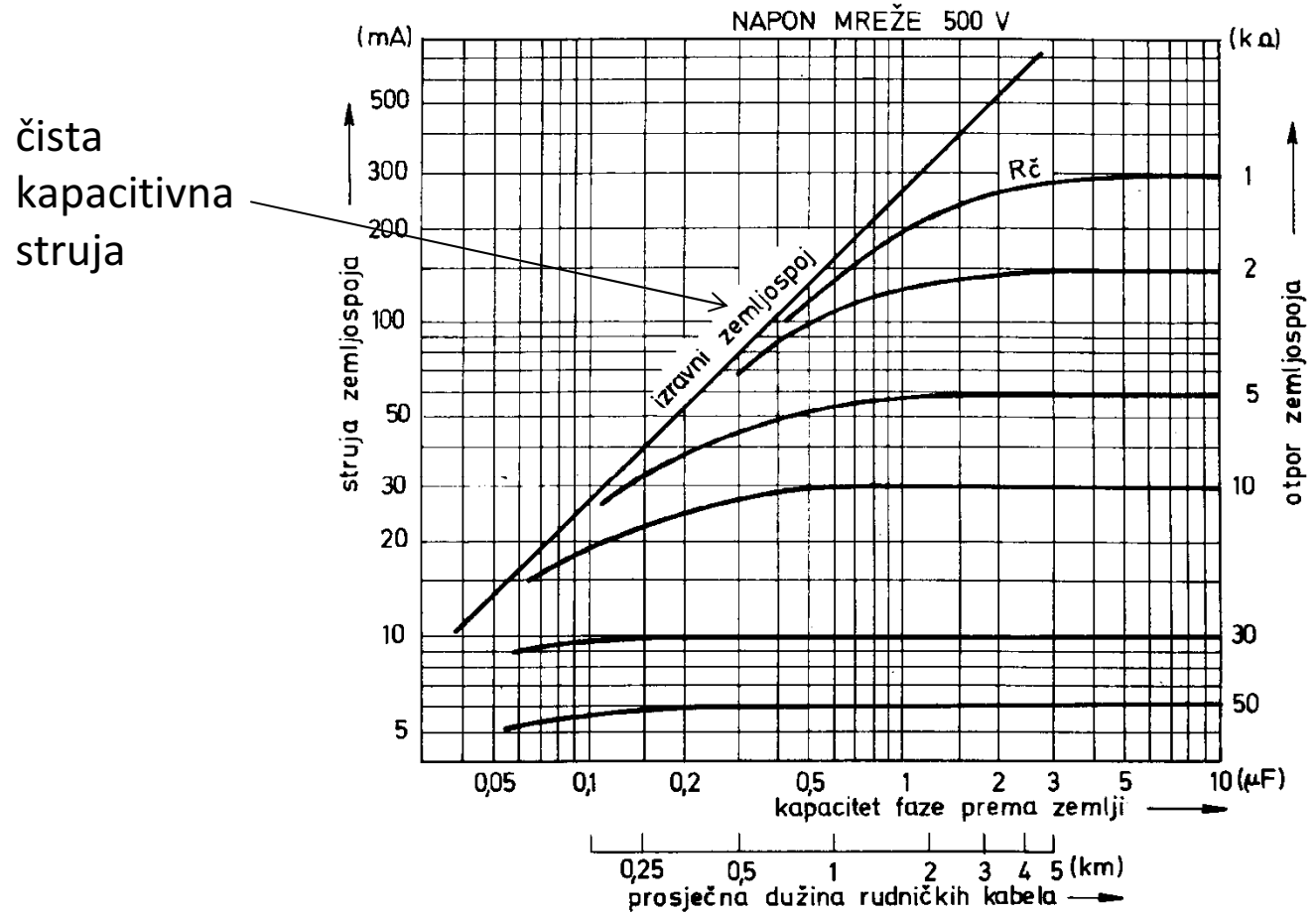


Granični otpor izolacije uz dodirni napon 50 V

GRANIČNI IZOLACIJSKI OTPOR MREŽE

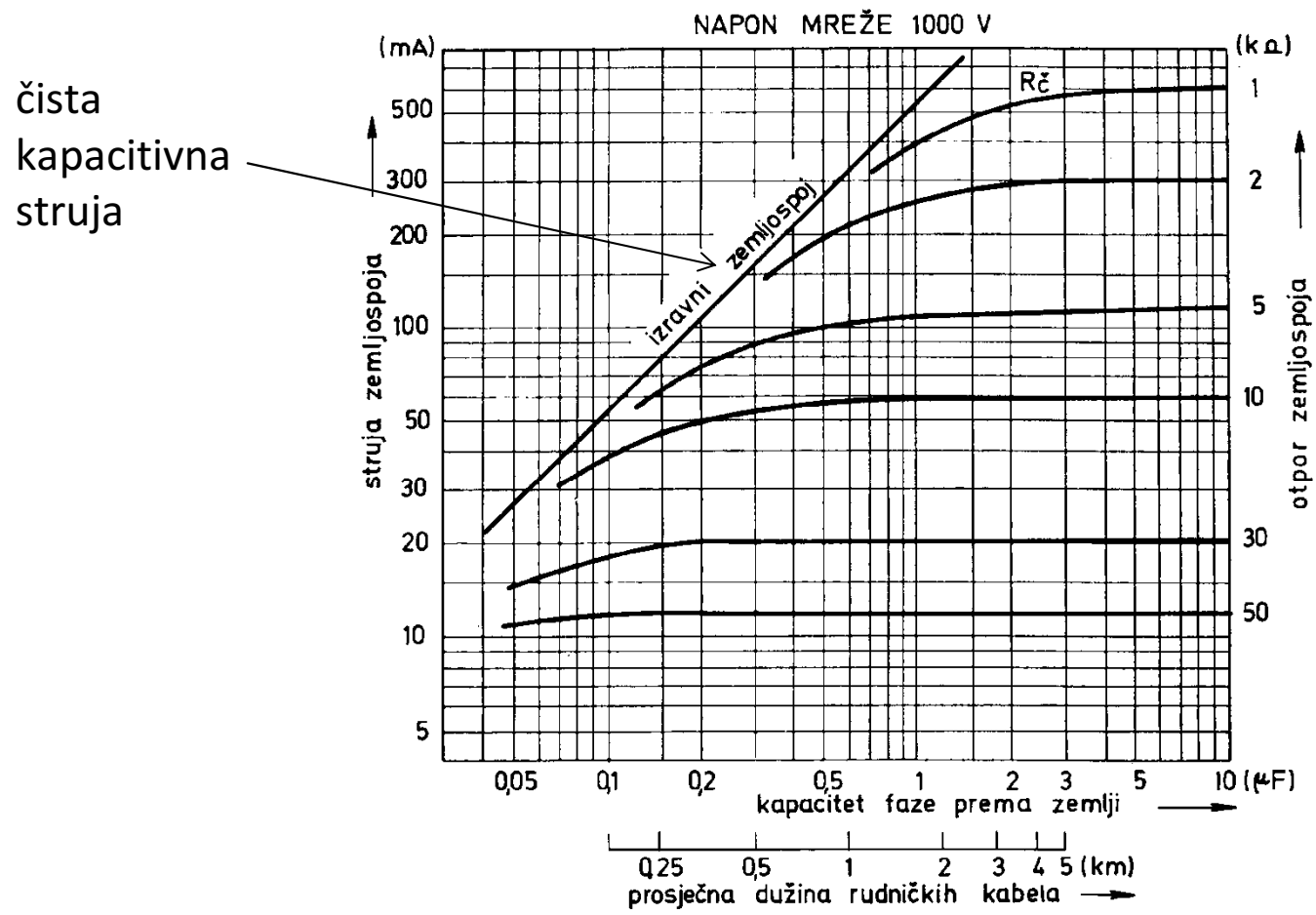
Napon mreže (V)	Minimalni otpor izolacije mreže (ohma)
220	4 630
380	10 200
500	14 350
660	19 800
1 000	31 600

uz otpor izolacije
4 – 15 k Ω \Rightarrow
za direktni dodir
neopasno



Struja zemljospoja izoliranog sustava napona 500 V uz različite otpore zemljospoja

otpor izolacije $R_i \rightarrow \infty$ $I_z \leq 300\text{mA}$ \rightarrow $t \leq 34\text{ ms}$ isklopno vrijeme



Struja zemljospoja izoliranog sustava napona 1000V uz različite otpore zemljospoja

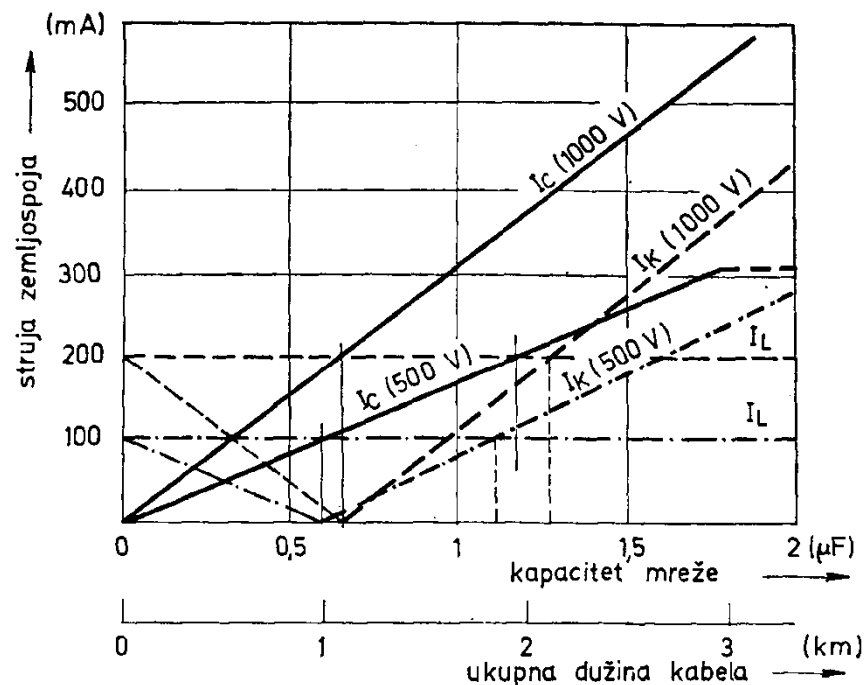
otpor izolacije $R_i \rightarrow \infty$ $I_z \leq 600\text{mA}$ \rightarrow $t \leq 17\text{ ms}$ isklopno vrijeme

uz $t = 50\text{ ms}$ \rightarrow $I_z \leq 210\text{mA}$ \rightarrow ograničenje kapaciteta mreže

- za mrežu 500 V 1,2μF (2-3km kabela)
- za mrežu 1000 V 0,6μF (1-2km kabela)

kompensacija kapacitivne struje induktivitetom u zvezdištu (umjetnom)

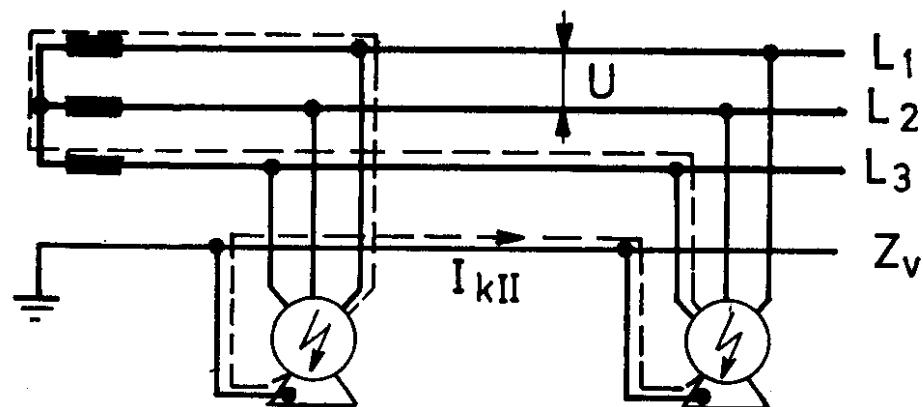
promjena dužine mreže → promjena induktiviteta (nepraktično)



Primjer kompenzacije kapacitivne struje mreže za različite napone mreže

podvostručenje duljine

dobra izolacija omogućuje ustanovljavanje pojave prvog kvara



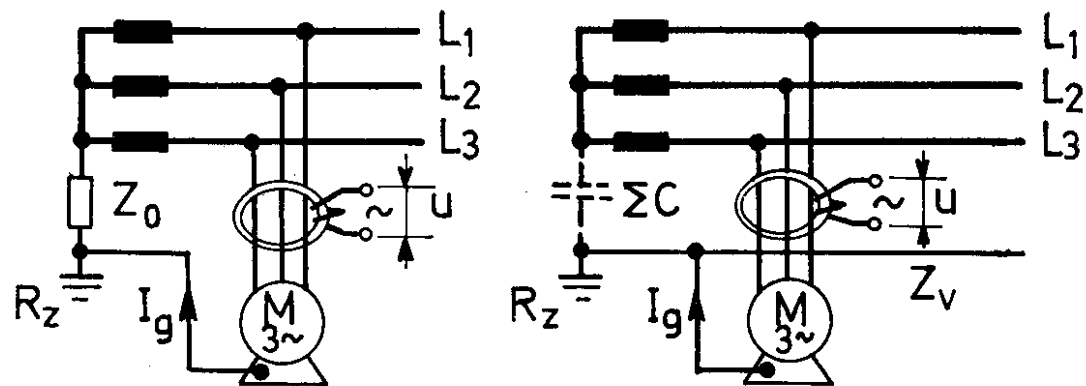
Dvofazni kratki spoj preko dva nezavisna zemljospoja

dvostruki kvar → dvopolni (dvofazni) kratki spoj

- mrežni kontrolnik
- napajan i uz isključen glavni prekidač
 - mjeri izolaciju mreže prije uključjenja mreže
 - trajno mjeri izolaciju nakon uključjenja

uz otpor izolacije $20 \Omega/V$ za 500 V → samosigurni uvjeti
(otvorena iskra ne pali eksplozivnu smjesu metana i zraka)

Izolirani sustav sa strujnom zaštitom (sustav struje greške)



Sustav struje greške kod IT sustava izoliranih mreža

$$I_g \approx \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (Z_u + R_c)}$$

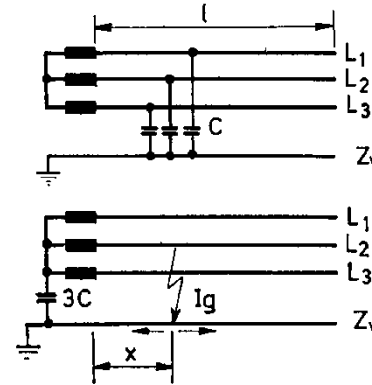
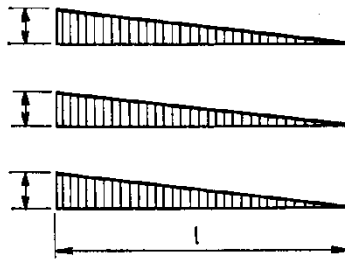
Z_0 za toliku I_g da se aktivira zaštita

kapacitivne struje mreže

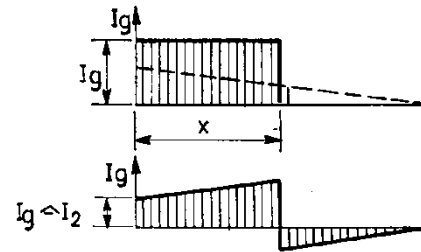
$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C$$

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C$$

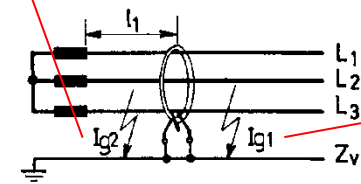
$$I_3 = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C$$



zemljospoj u fazi L2

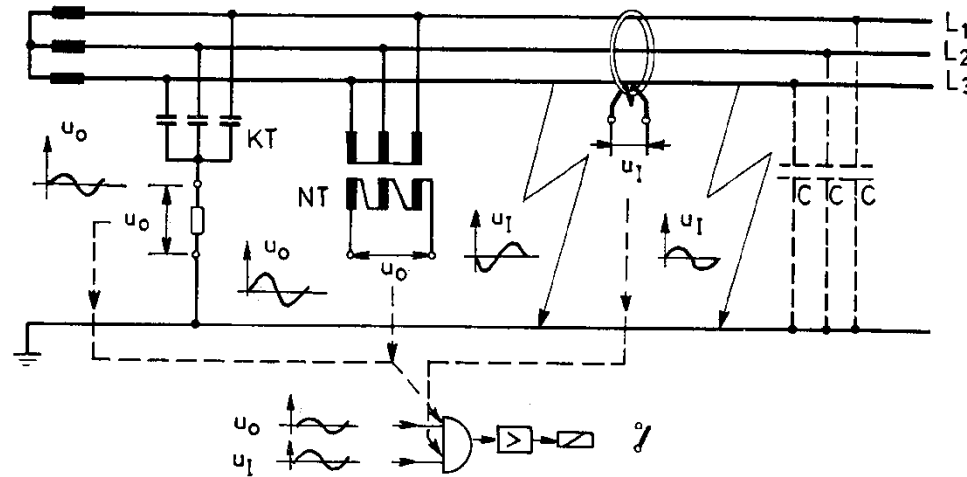


$$\bar{I}_{g2} = |\bar{I}_{g2}|(\varphi + 90) \text{ za } l_1 > X$$



$$\bar{I}_{g1} = |\bar{I}_{g1}|(\varphi - 90) \text{ za } l_1 < X$$

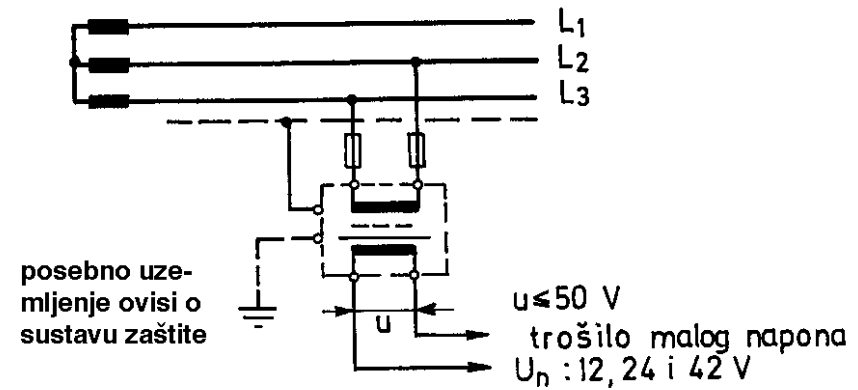
Struja zemljospoja u izoliranom sustavu mreže



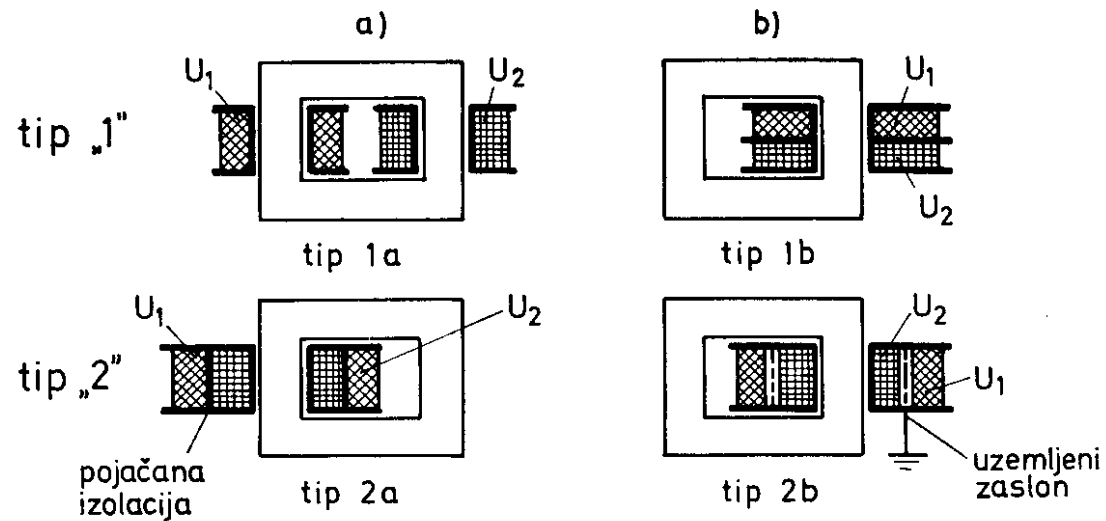
Selektivna zaštita strujom greške kod zemljospoja u IT sustavu mreže

Izolirani sustav sa malim naponima

- sigurnosni transformator
- motor-generator ograničenog U
- elektrokemijski izvori



Shematski prikaz sustava zaštite "mali napon"



Sigurnosni transformator

Dodatno izoliranje

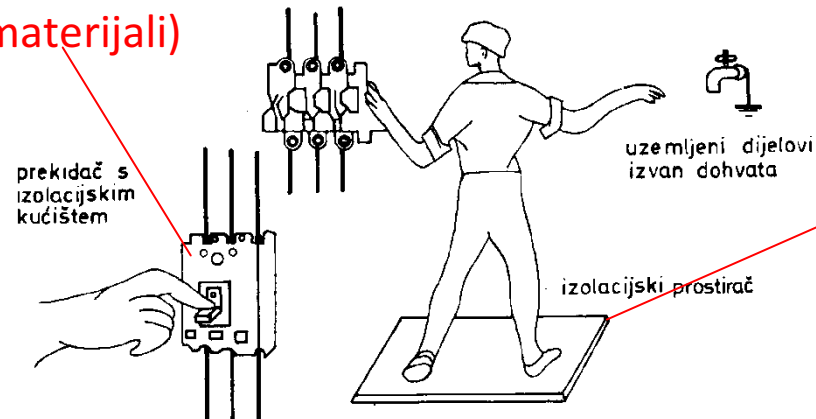
djelova koje dodiruje čovjek

izolacijska motka

izolacijska podloga

Primjer dodatnog izoliranja u rasklopnim postrojenjima

uređaji
(izolacijski materijali)



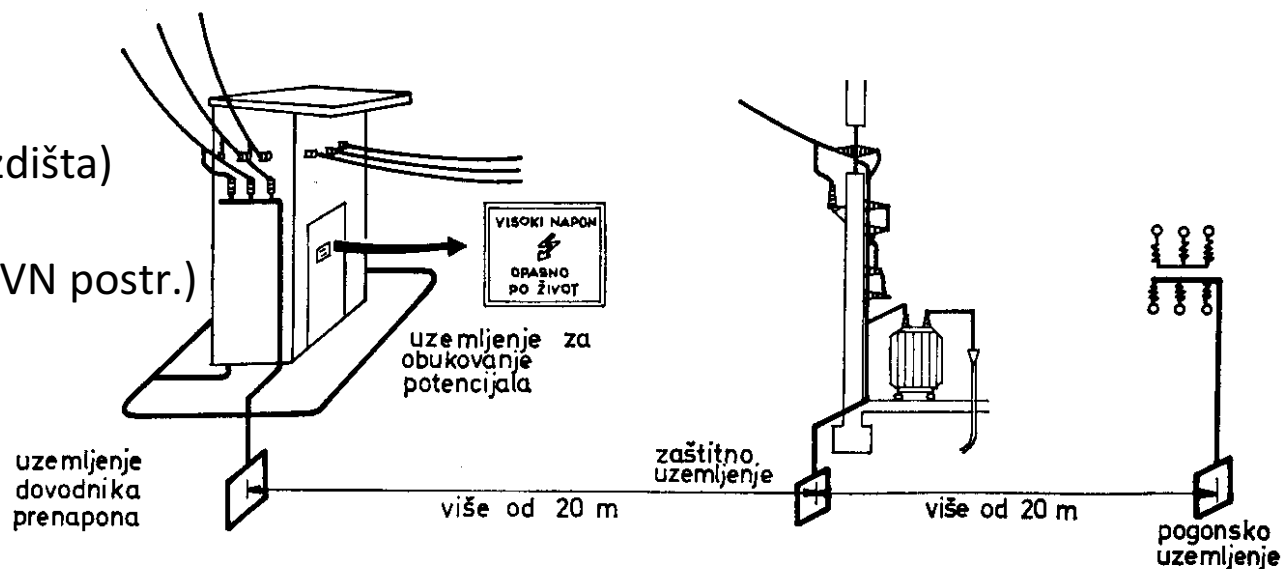
podovi

Dodatno izoliranje kućišta električnih uređaja i dodira s uzemljenim dijelovima

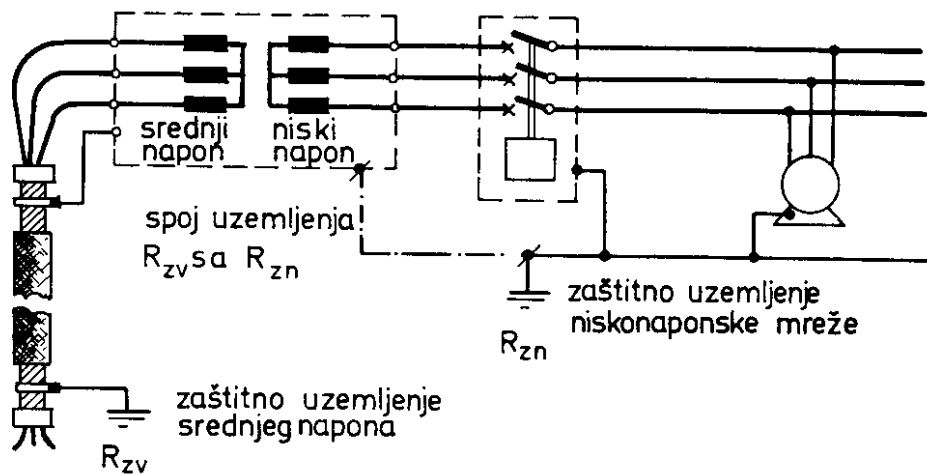
uređaja transformatorom
(kao mali naponi)

Vrste uzemljenja

- pogonsko (uzemljenje zvjezdišta)
- zaštitno (dodirni napon)
- za oblikovanje potencijala (VN postr.)
- gromobransko (prenaponi)



Uzemljenja standardne trafostanice



$$R_{ZV} < R_{ZN}$$

Shematski prikaz uzemljenja jamske trafostanice

Uzemljivači

- elementi mreže uzemljenja
- uzemljivač
 - uzemni vod
 - mreža uzemljenja sa sabirnicama

UZEMLJIVAČI

Vrsta uzemljivača	Materijal	
	pocinčani čelik	bakar
1. Trakasti	traka, minimalni presjek 100 mm ² , minimalna debljina 3,5 mm	tračni bakar, minimalna debljina 2,5 mm
2. Šipkasti (sonde)	čelična cijev 2 Ø ne tanja od 3 mm, kutni čelik L 65 × 65 × 7 U-čelik 6 1/2 T-čelik T6 okrugli čelik Ø 8 mm	bakrena cijev 50/44 mm
3. Pločasti	čelični lim od 3 mm	bakreni lim od 1 mm

$$l = k \cdot 10 \frac{R_{10}}{R_z} \quad (\text{m})$$

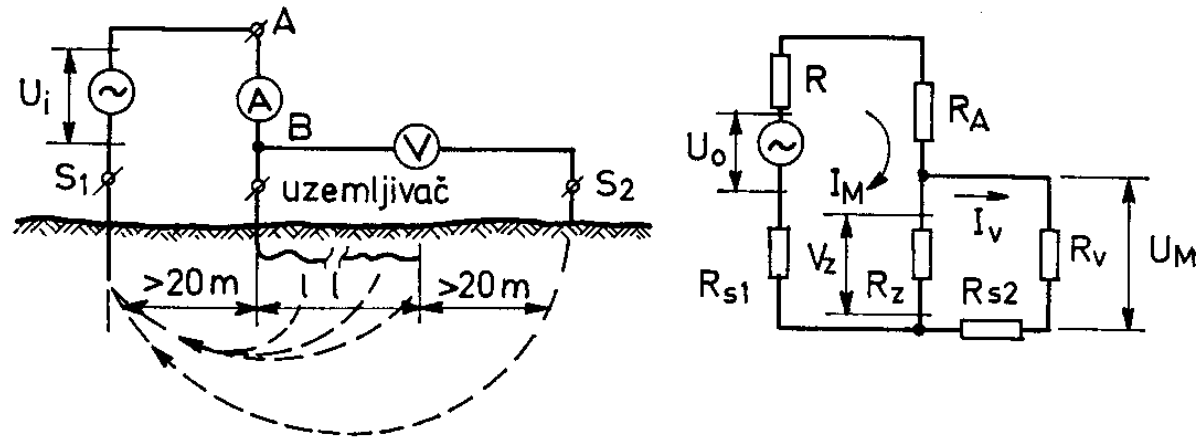
k - koeficijent nejednolikosti tla uzima se od 1,2 do 1,5

R_{10} - otpor rasprostiranja 10 m dugoga trakastog uzemljivača

R_z - potreban i traženi otpor rasprostiranja uzemljivača

Mjerenje otpora rasprostranja uzemljivača

mjerenje UI metodom ili mostom



Mjerenje otpora uzemljivača U-I-metodom

$$I_M = \frac{U}{\sum R} = \frac{U}{R_i + R_A + R_Z + R_{s1}}$$

$$i \quad R_{s2} \ll R_v \rightarrow U_Z = U_M$$

$$R_Z = \frac{U_M}{I_M}$$