

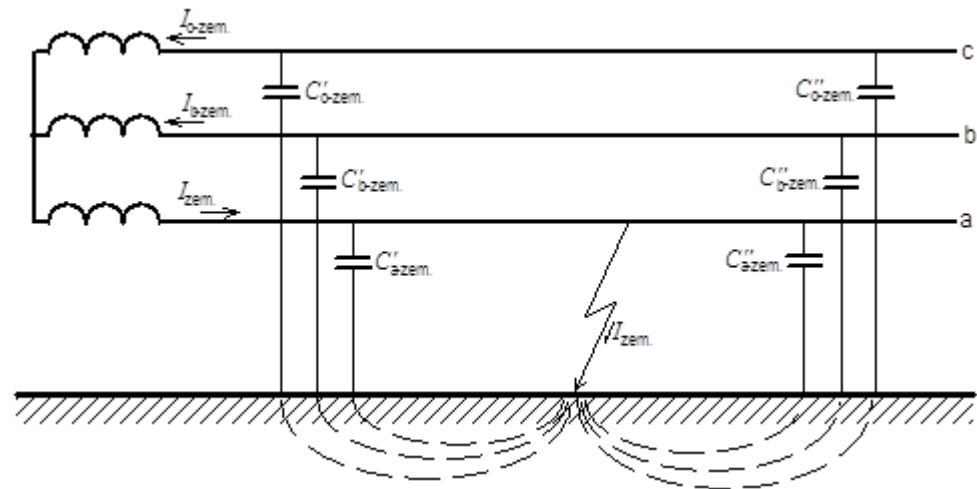
ЗАЗЕМЈУВАЊЕ НА НЕУТРАЛНАТА ТОЧКА ВО СН МРЕЖИ

- Трифазните мрежи можат да работат со четири или со три спроводника
 - три фазни спроводника и неутрален спроводник
 - три фазни спроводника
 - потрошувачите (трансформаторите) се врзани во триаголник
 - земјата се користи како неутрален спроводник (многу ретко) само ако постои ѕвездиште (неутрална точка – НТ) и ако НТ е заземјена
- По правило, НН мрежи се изведуваат со четири спроводника, а СН и ВН мрежи со три спроводника
- Во мрежите со три спроводника, неутралната точка може да биде:
 - незаземјена и
 - заземјена (преку придушница, преку импеданција/отпорник или директно)
- ВН мрежи ($U_n > 35 \text{ kV}$) работат (скоро без исклучок) со заземјена НТ, при што НТ на трансформаторите се директно заземјени
- Во европските земји СН мрежи најчесто не се директно заземјени
 - заземјена НТ, а заземјувањето се изведува со отпорник или придушница
 - незаземјена НТ
- Во САД, Канада СН мрежи најчесто се заземјени директно
- Во зависност од третманот (начинот на заземјување) на НТ во мрежата се јавуваат различни напони и струи во случај на спој на фазен спроводник и земјата (преодни и стационарни режими)

СН МРЕЖА СО НЕЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

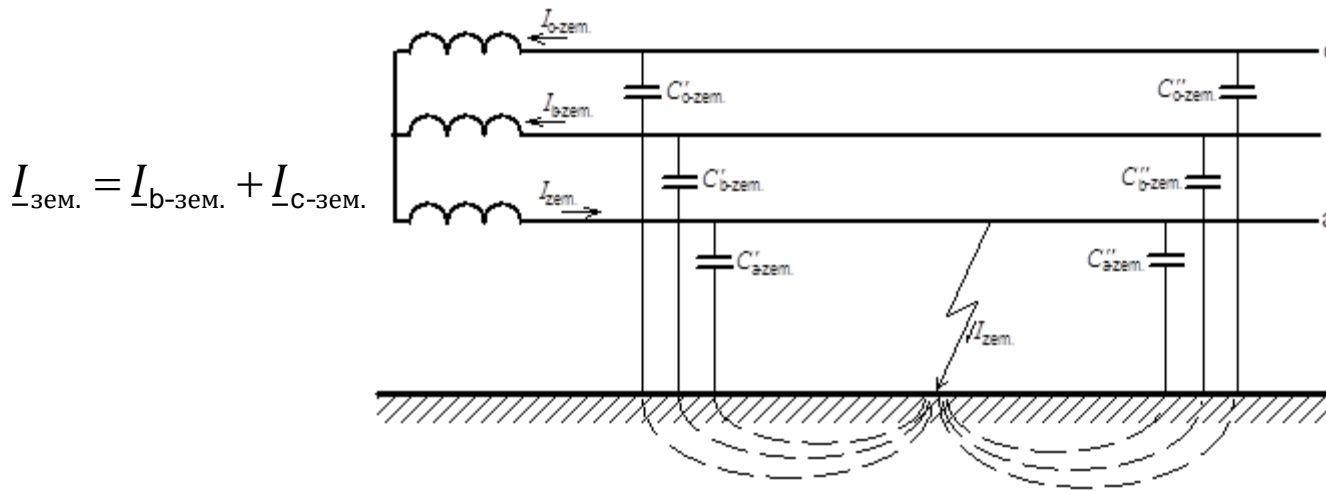
- Трифазна СН мрежа со незаземјена НТ
 - урамнотежени напони, елементи и потрошувачи
 - сумата на струите во фазните спроводници е еднаква на нула
 - ако постоеше неутрален спроводник (поврзан со ѕвездиштето на трансформаторот, струјата низ него ќе беше еднаква на нула)
 - мрежата е радијална изведена со куси кабелски водови со релативно големи пресеци
 - активната отпорност се занемарува, мала реактивна отпорност => мала загуба на напонот и релативно големи капацитети
 - напоните се приближно еднакви на номиналните
 - во случај на спој на фазата со земја (доземен спој) струјата на доземен спој е релативно мала, споредена со погонската струја

$$\underline{U}_{bc} = \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{ab} \quad \underline{U}_{ca} = \underline{a} \cdot \underline{U}_{ab} \quad C_{a\text{-зем.}} = C_{b\text{-зем.}} = C_{c\text{-зем.}} = C_{\phi\text{-зем.}}$$



СН МРЕЖА СО НЕЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

- Трифазна СН мрежа со незаземјена НТ



$$\underline{I}_{зем.} = \underline{I}_{b-зем.} + \underline{I}_{c-зем.} = j \cdot \omega \cdot C_{b-зем.} \cdot \underline{U}_{ab} + j \cdot \omega \cdot C_{c-зем.} \cdot \underline{U}_{ac}$$

$$\underline{I}_{зем.} = j \cdot \omega \cdot C_{\phi-зем.} \cdot (\underline{U}_{ab} - \underline{U}_{ca}) = j \cdot (1 - \underline{a}) \cdot \omega \cdot C_{\phi-зем.} \cdot \underline{U}_{ab}$$

$$|(1 - \underline{a})| = \sqrt{3}$$

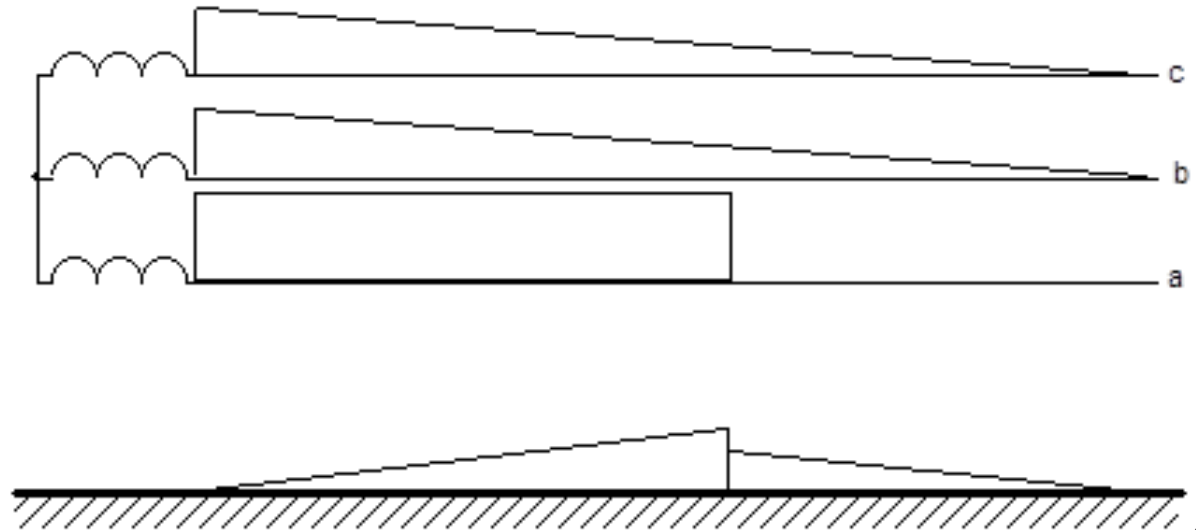
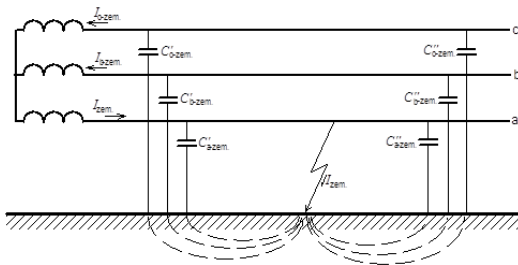
$$I_{зем.} = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_{\phi-зем.} \cdot U_{ab}$$

$$I_{зем.} = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_{\phi-зем.} \cdot U'$$

СН МРЕЖА СО НЕЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

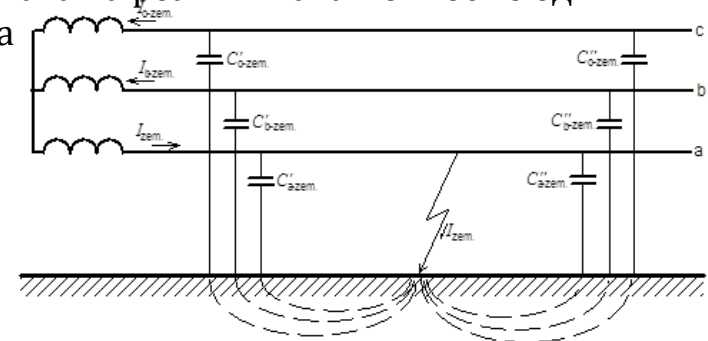
- Струјата на земјоспојот, практично, не зависи од локацијата на грешка
 - зависи од (меѓуфазниот) напон во моментот на настанување на грешката
 - вообичаено U' се зема дека е повисок од номиналниот напон за 5 до 10%
 - зависи од вкупниот капацитет спрема земја на спроводниците
- Потенцијалот на повредената фаза е практично еднаков на нула, додека потенцијалите (во однос на земја) на „здравите“ фази се еднакви на меѓуфазниот напон
 - нема проблем со потрошувачите (меѓуфазните напони не се битно нарушени)
 - проблеми се јавуваат затоа што фазната изолација на каблите е изложена на меѓуфазен напон
 - режимот со земјоспој треба да трае кусо време
 - предност што нема прекин во напојувањето

$$I_{\text{зем.}} = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_{\text{ф-зем.}} \cdot U'$$



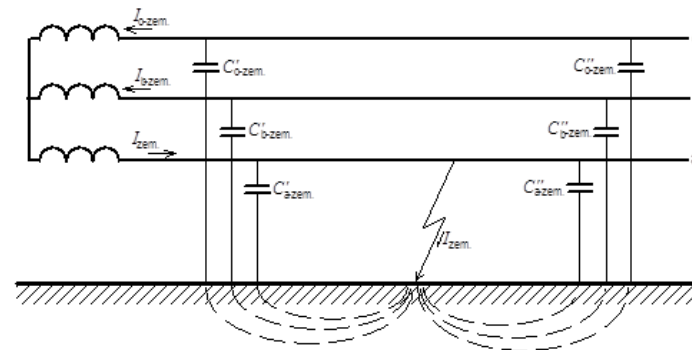
СН МРЕЖА СО НЕЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

- Ако спојот со земја не е преку метал може да се јави електричен лак
 - лакот е нестабилен и резултира појава на ВФ осцилации во L – C колото
 - во мрежата се јавуваат пренапони
 - во повредената фаза факторот на пренапони е околу 2.5
 - во неповредените фази до 3.2
 - долготрајните пренапони можат да предизвикаат пробив на изолацијата на здравите фази и да се јават двофазна или трифазна куса врска
 - прекин во снабдувањето и сериозни оштетувања на опремата, особено во постројките
- Треба да се вгради систем за детектирање на доземни споеви во секој извод
 - прекуструјни релеи што ја регистрираат нултата компонента на струјата
 - нултата компонента во случај на доземен спој е значително поголема отколку во нормален режим на работа
 - релеи што регистрираат насока на течење на реактивната моќност за нултиот редослед
 - во изводот во кој се појавил доземен спој насоката на реактивната моќност е од напојната точка кон „периферијата“ на мрежата
 - во изводите во кои што нема доземен спој насоката на реактивната моќност е од „периферијата“ на мрежата кон напојната точка



СН МРЕЖА СО НЕЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

- Која е граничната струја на земјоспој што не предизвикува проблеми во работата
 - техничко-економски проблем
 - се препорачува струјата да не биде поголема од
 - 20 A за $U_n = 10 \text{ kV}$
 - 15 A за $U_n = 20 \text{ kV}$
 - 10 A за $U_n = 35 \text{ kV}$
 - лакот што се јавува ќе се само изгасне ако струјата е помала од граничната вредност (DIN)
 - 60 A за кабелски мрежи со $U_n < 15 \text{ kV}$
 - 35 A за надземни мрежи со $U_n < 20 \text{ kV}$



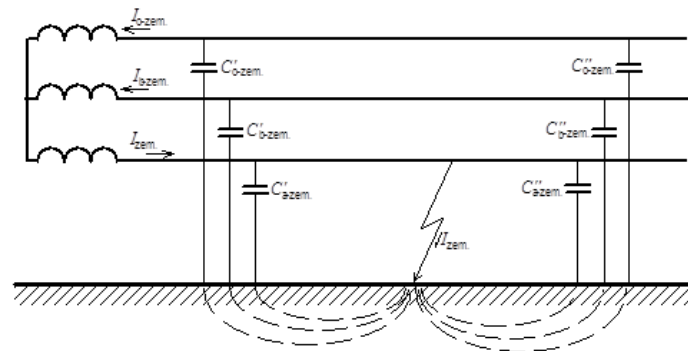
СН МРЕЖА СО НЕЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

- Предности

- Релативно мали струи на доземен спој
 - мали оштетувања на местото на грешка
 - мали влијанија врз телекомуникационите водови
 - нема проблеми со големи напони на допир и чекор
- Факторот на пренапони е помал од 2.6, освен кај долгите водови
- Едноставен погон
 - работата (напојувањето) на повредениот извод не се прекинува
 - постои можност лакот да се самоизгасне (доземен спој од минлив карактер)

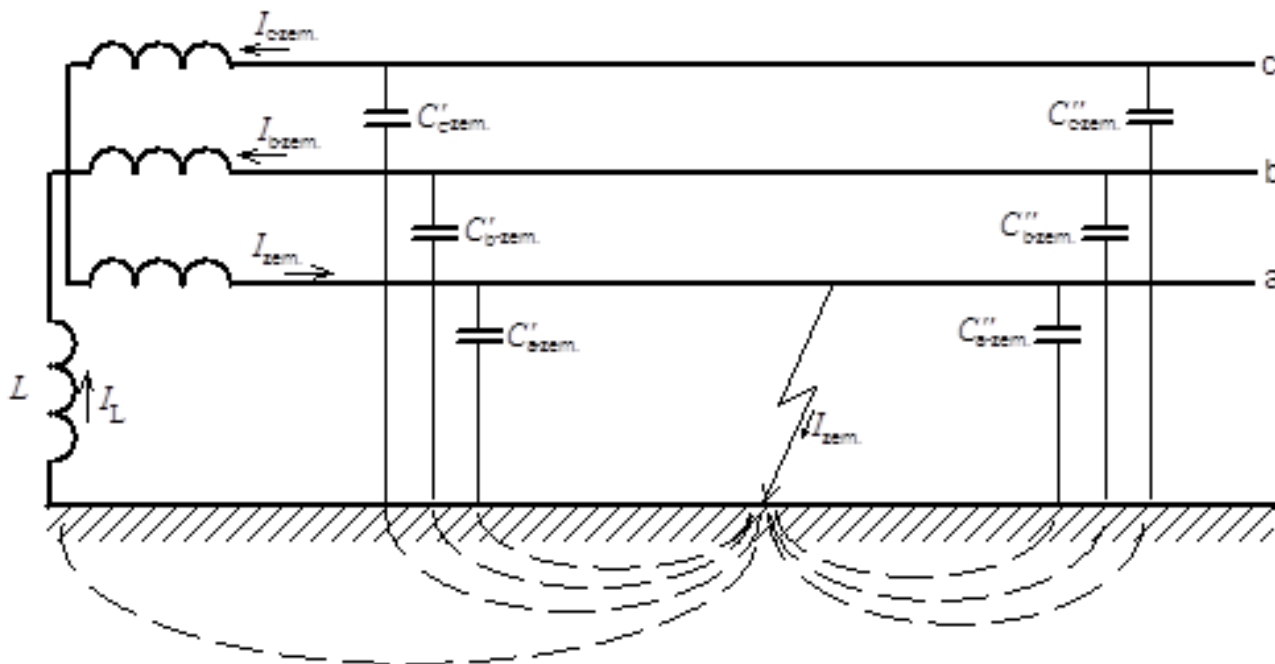
- Недостатоци

- забрзано стареење на изолацијата ако доземните споеви траат многу долго
- појава на двофазна или трифазна куса врска



СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ ПРИДУШНИЦА

- Еден од начините да се ограничи струјата на доземен спој е поврзување на НТ со земја преку индуктивен елемент
 - користени термини: придушница заземјување, компензациона придушница, резонантна придушница, Петерсонов калем
- Индуктивитетот на придушницата L се одбира така што струјата на доземен спој на местото на грешка да биде што е можно поблиску до нула



$$\underline{I}_{\text{зем.}} = \underline{I}_L + \underline{I}_{\text{b-зем.}} + \underline{I}_{\text{c-зем.}}$$

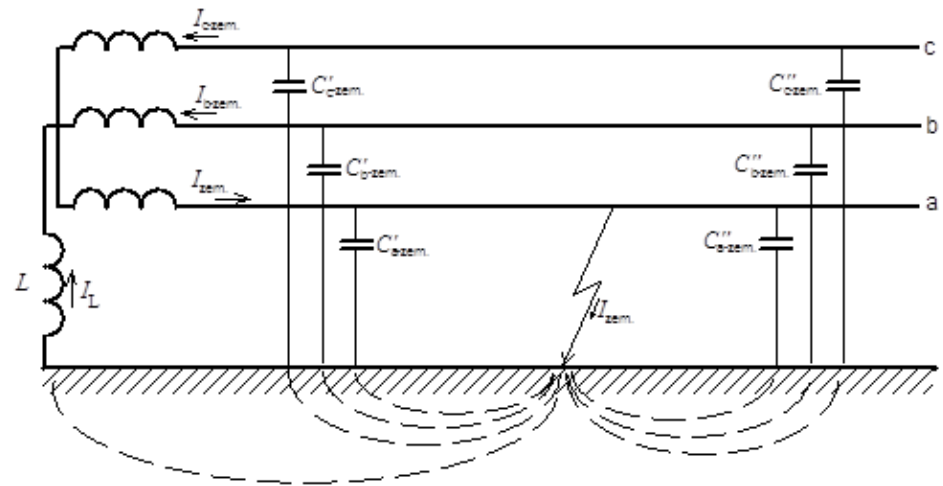
$$\underline{I}_L = \frac{\underline{U}_a}{j \cdot \omega \cdot L}$$

СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ ПРИДУШНИЦА

$$\underline{I}_{\text{зем.}} = \underline{I}_L + \underline{I}_{\text{b-зем.}} + \underline{I}_{\text{c-зем.}} \quad \underline{I}_L = \frac{\underline{U}_a}{j \cdot \omega \cdot L}$$

$$\underline{I}_{\phi\text{-зем.}} = \frac{\underline{U}_a}{j \cdot \omega \cdot L} + j \cdot \omega \cdot C_{\phi\text{-зем.}} \cdot (\underline{U}_{ab} + \underline{U}_{ac})$$

$$1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0 \quad \underline{U}_{bc} = \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{ab} \quad \underline{U}_{ca} = \underline{a} \cdot \underline{U}_{ab}$$



$$\underline{I}_{\phi\text{-зем.}} = j \cdot \underline{U}_a \cdot \left(3 \cdot \omega \cdot C_{\phi\text{-зем.}} - \frac{1}{\omega \cdot L} \right)$$

$$I_{\text{зем.}} = \sqrt{3} \cdot U' \cdot \left(\omega \cdot C_{\phi\text{-зем.}} - \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot L} \right)$$

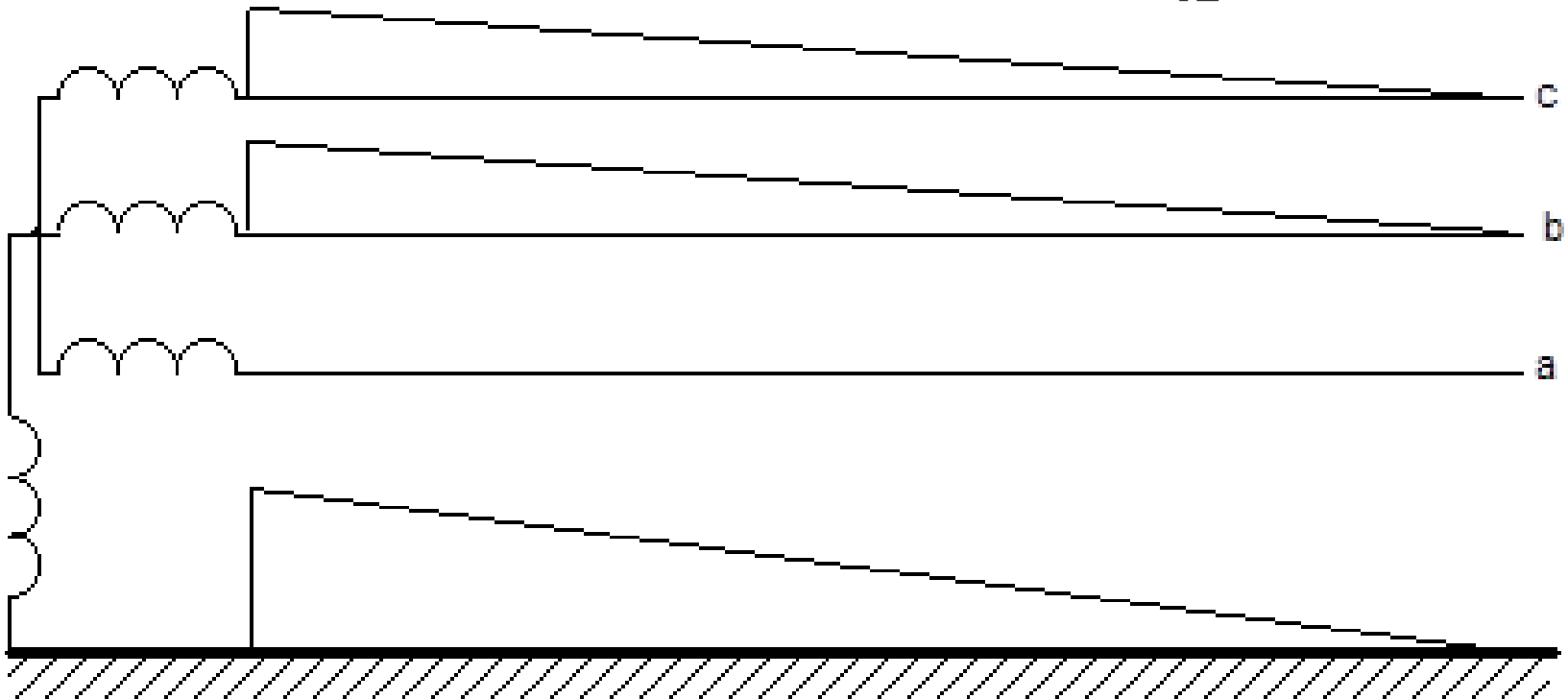
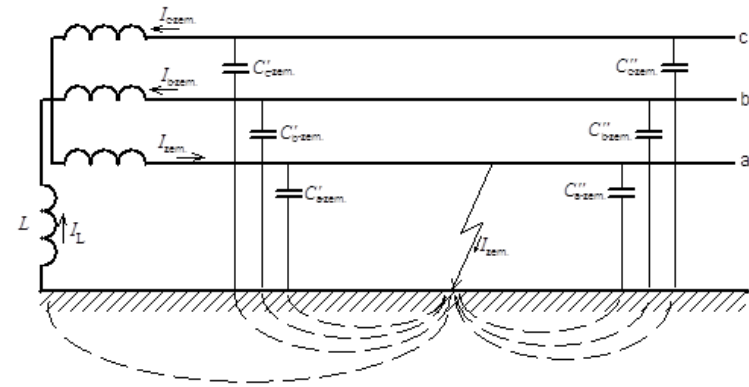
$$I_{\text{зем.}} = 0 \Rightarrow \omega \cdot C_{\phi\text{-зем.}} = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot L}$$

$$\omega \cdot C_{\phi\text{-зем.}} = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot L}$$

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C_{\phi\text{-зем.}}}$$

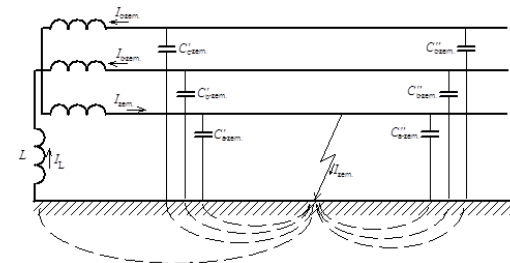
СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ ПРИДУШНИЦА

- Распределба на струите долж фазните спроводници
 - струите во сите три фази се еднакви



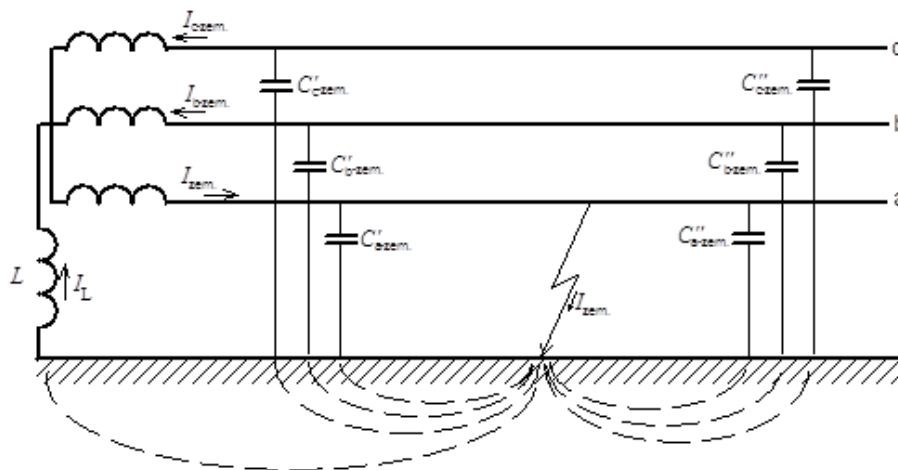
СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ ПРИДУШНИЦА

- Ако струјата на доземен спој е еднаква на нула или блиску до нула
 - нема или се мали условите за појава на електричен лак
 - нема негативни последици предизвикани од лакот
 - факторот на пренапони е $<$ од 2.5
 - ако отстапувањето од потполна компензација е поголемо од $\pm 5\%$ факторот на пренапони е еднаков како и кај незаземјената мрежа (3.2)
- Ако не може да се постигне потполна компензација
 - се препорачува прекомпензација $\omega \cdot L > \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_{\phi\text{-зем.}}}$
 - ако се случи грешка при релативно голема несиметрија и е направена подкомпензација пренапоните ќе бидат повисоки од случајот со незаземјена неутрална точка
- При исклучувања на двојни земјосповеи или други сложени споеви можат да се јават високи пренапони
 - овие пренапони се ограничуваат со одводници на пренапони, најчесто поставени паралелно со придушницата или
 - со специјални прекинувачи при што редоследот на исклучувања е зависи од грешките



СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ ПРИДУШНИЦА

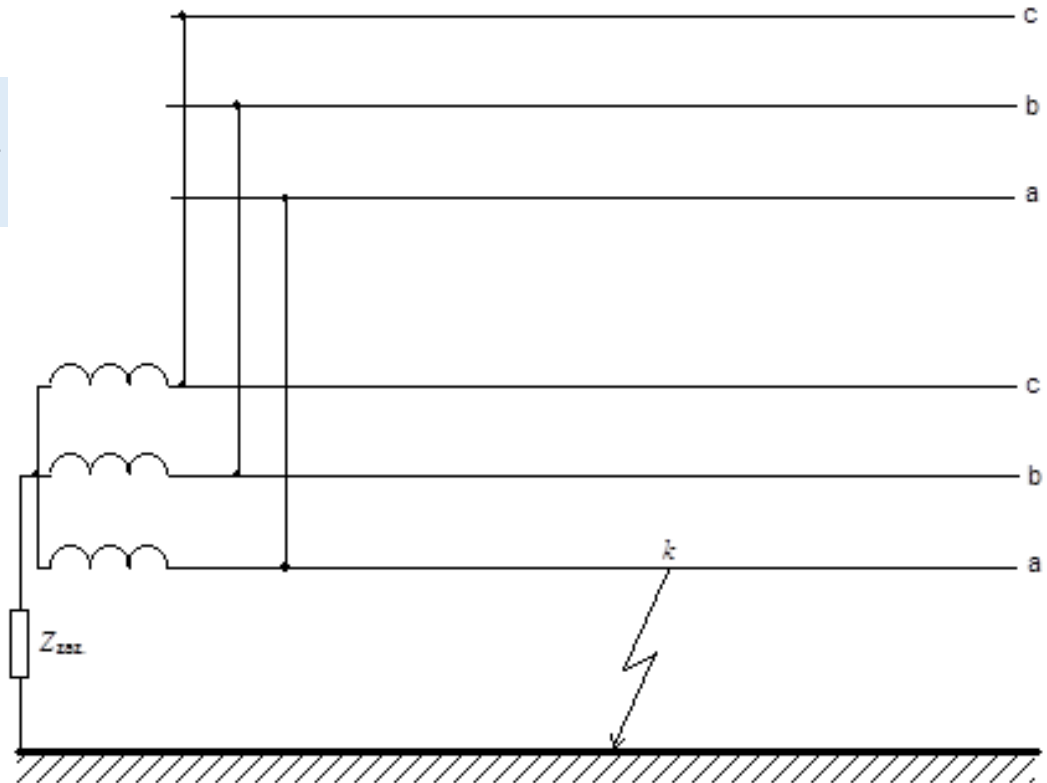
- Недостатоци
 - зголемени инвестициони трошоци поради повисоко ниво на изолација
 - посложена експлоатација поради неопходноста од постојан надзор на компензацијата и тешкотиите при откривање на местото на спојот со земјата
 - можност напоните на неповредените фази во однос на земјата да ја надминат вредноста на меѓуфазниот напон и појава на поголеми пренапони во случаите кога степенот на компензација е релативно низок (лакот е стабилен)
 - покачување на напоните во системот при нормален и хавариски режим доколку системот има макар и мала несиметрија
 - зголемени инвестициони и експлоатациони трошоци поради постоење на една или повеќе придушници и придружна опрема за правилно користење на придушниците



СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

- НТ е заземјена преку мала импеданција
 - земјоспојот се претставува со импеданција $\underline{Z}_{гр.}$
 - струјата на грешка може да се пресмета ако трифазниот систем се претстави со симетрични компоненти
 - струјата на грешка не е занемарлива и зависи од вредноста на импеданцијата на грешка и импеданцијата на заземјувачот
 - струја на куса врска

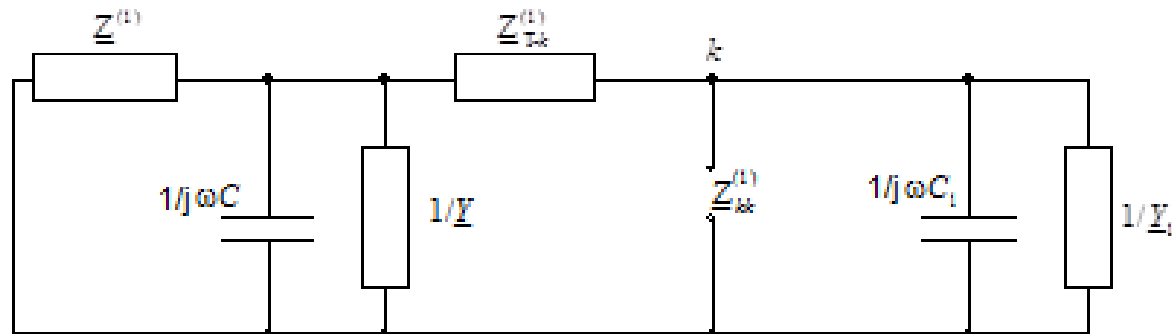
$$\underline{I}_{k-зем.} = \underline{I}_k = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}'}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 2 \cdot \underline{Z}_{kk}^{(1)} + 3 \cdot \underline{Z}_{гр.}}$$



СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

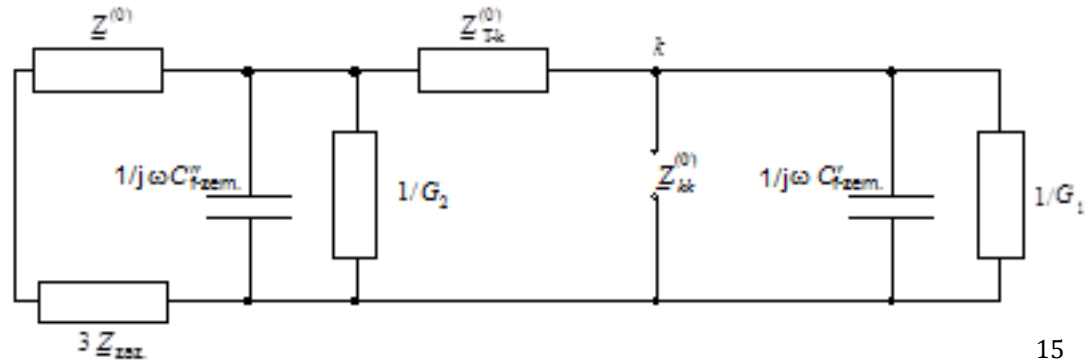
- Заменска шема за директен редослед
 - Z импеданција со која се претставува напојниот трансформатор и мрежата од која тој се напојува (целиот ЕЕС)
 - Z_{T-k} редна импеданција на повредениот вод од напојниот трансформатор до местото на грешка
 - C_1 капацитет спрема земја за повредениот извод од местото на грешка до крајот на изводот
 - C капацитет спрема земја на сите изводи, не вклучувајќи водовите за кои се пресметува C_1
 - Y_1 сума на адмитанциите на потрошувачите приклучени на повредениот извод од местото на грешка до крајот на изводот
 - Y сума на адмитанциите на сите останати потрошувачи во мрежата

$$|\underline{Z}^{(1)}| \ll \left| \frac{1}{\underline{Y} + j \cdot \omega \cdot C} \right| \Rightarrow \underline{Z}_{\text{лево}} = \underline{Z}^{(1)} + \underline{Z}_{T-k} \quad |\underline{Z}_{\text{лево}}| \ll \left| \frac{1}{\underline{Y}_1 + j \cdot \omega \cdot C} \right| \Rightarrow \underline{Z}_{kk}^{(1)} = \underline{Z}^{(1)} + \underline{Z}_{T-k}$$



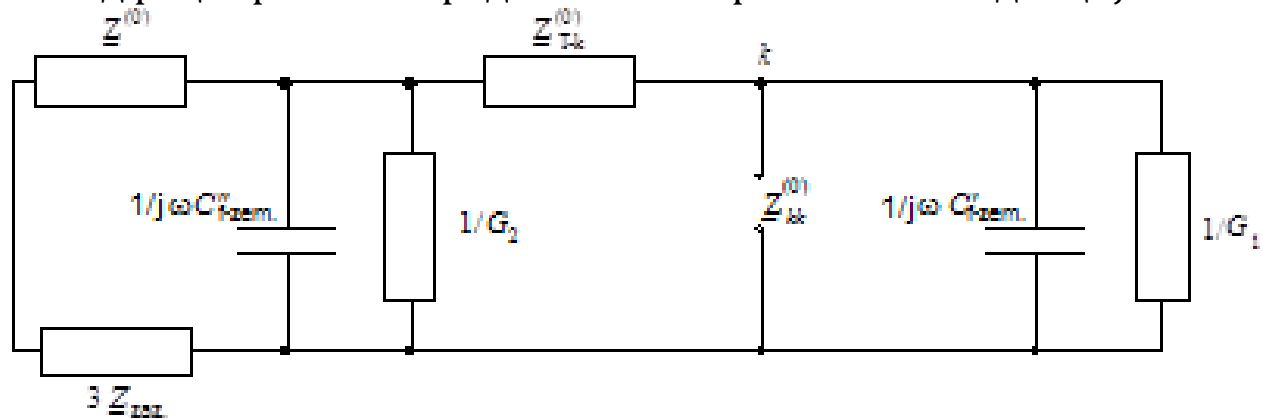
СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

- Заменска шема за нулти редослед
 - Z импеданција со која се претставува напојниот трансформатор и мрежата од која тој се напојува (целиот ЕЕС)
 - Z_{T-k} редна импеданција на повредениот вод од напојниот трансформатор до местото на грешка
 - $Z_{\text{заз.}}$ импеданција преку која е заземјена НТ
 - C', C'' капацитет спрема земја на фазните спроводници во повредениот извод од местото на грешка до крајот на изводот и на фазните спроводници во останатиот дел од мрежата, соодветно
 - G_1, G_2 активна одводност на дефектниот извод од местото на грешка до крајот на изводот и на останатата мрежа, соодветно
 - потрошувачите не се земаат предвид затоа што импеданциите на потрошувачите и/или трансформаторите СН/НН за нултиот редослед се бесконечно големи
 - оптоварувањата на трансформаторите се урамнотежени
 - трансформаторите СН/НН се со спрега триаголник/свезда или триаголник свезда/искршена свезда

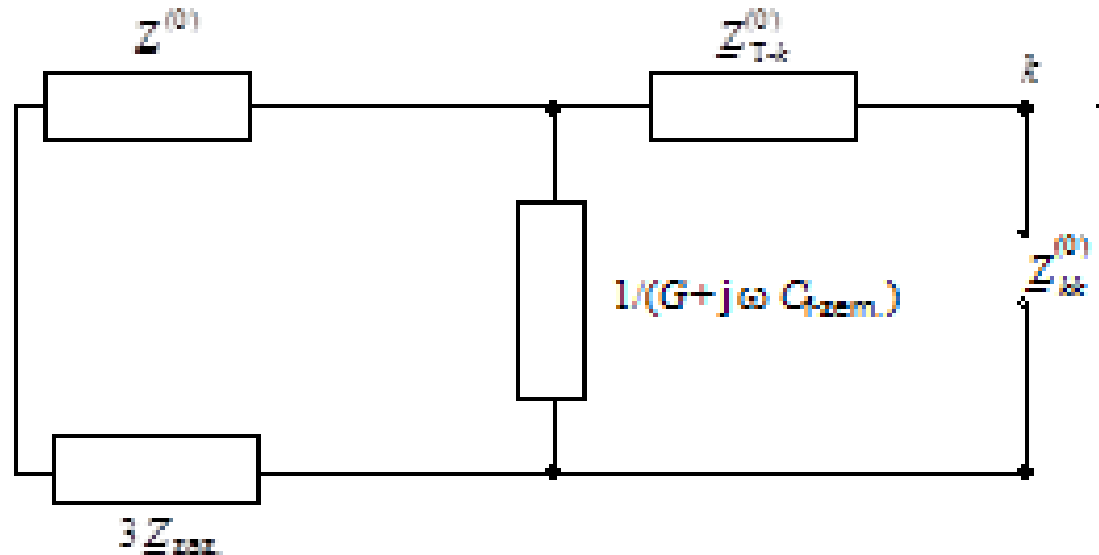


СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

- Заменска шема за нулти редослед
 - редната импеданција на водовите (не е прикажана на сликата) е многу пати помала од реципрочната вредност на напречната импеданција

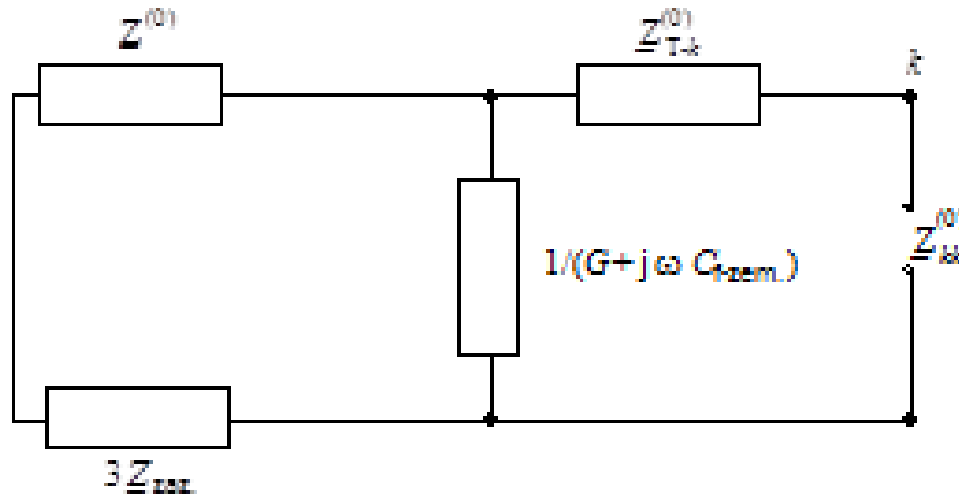


$$\left| Z_{\text{вод}}^{(0)} \right| \ll \left| \frac{1}{(G_1 + j \cdot \omega \cdot C')_{\text{вод}}^{(0)}} \right|$$



СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

- Упростена заменска шема за нулти редослед



$$\underline{Z}_{kk}^{(0)} = \underline{Z}_{T-k}^{(0)} + \frac{\underline{Z}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}}}{1 + (\underline{Z}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}}) \cdot (G + j \cdot \omega \cdot C_{\phi\text{-заз.}})}$$

$$(\underline{Z}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}}) \cdot (G + j \cdot \omega \cdot C_{\phi\text{-заз.}}) \ll 1$$

$$\underline{Z}_{kk}^{(0)} = \underline{Z}_{T-k}^{(0)} + \underline{Z}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}}$$

$$\underline{I}_{k\text{-зем.}} = \underline{I}_k = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}'}{\underline{Z}_{kk}^{(0)} + 2 \cdot \underline{Z}_{kk}^{(1)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{гр.}}}$$

$$\underline{I}_k = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}'}{\underline{Z}^{(0)} + \underline{Z}_{T-k}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}} + 2 \cdot (\underline{Z}^{(1)} + \underline{Z}_{T-k}^{(1)}) + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{гр.}}}$$

СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

- Критериум за избор на видот и големината на импеданцијата се пренапоните што се јавуваат при земјоспој (куса врска)
- Многу често наместо импеданција се користи отпорник
- Два вида отпорници
 - метален отпорник кој е поскап но поедноставен за одржување
 - електролитски отпорник кој бара надзор и има поголеми барања во поглед на одржувањето
- Во Република Македонија само мал дел од дистрибутивните мрежи се заземјени
 - тие се заземјени со отпорници што ја ограничуваат струјата на доземен спој (еднофазна куса врска) на 300 А
 - струјата на еднофазна куса врска треба да биде доволно голема за да се разликува од струите на оптоварувањата но во исто време да не биде многу голема затоа што ја поскапува опремата

$$\underline{Z}_{kk}^{(0)} = \underline{Z}_{T-k}^{(0)} + \underline{Z}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}}$$

$$\underline{I}_{-k} = \frac{\sqrt{3} \cdot \underline{U}'}{\underline{Z}^{(0)} + \underline{Z}_{T-k}^{(0)} + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{заз.}} + 2 \cdot \left(\underline{Z}^{(1)} + \underline{Z}_{T-k}^{(1)} \right) + 3 \cdot \underline{Z}_{\text{гр.}}}$$

СН МРЕЖА ЗАЗЕМЈЕНА ПРЕКУ МАЛА ИМПЕДАНЦИЈА

- Споредба со СН со незаземјена НТ
 - помали преодни пренапони
 - струите на местото на спојот со земјата се поголеми, поради што лакот не се гаси но е стабилен и нема појава на интермитентни пренапони
 - полесно е да се открие постоење на таков вид грешка (односно откривањето е можно со поедноставни технички средства)
 - поголемите струи можат да ја оштетат опремата, поради што е потребно да се исклучи изводот на кој дошло до појава на спој со земјата
 - неминовен прекин на напојувањето на потрошувачите што се снабдувале преку изводот на кој дошло до појава на спој со земјата
 - поголемите струи во спојот со земјата ги заоструваат барањата што се однесуваат на заземјувачите, во поглед на обезбедувањето напоните на допир и чекор да бидат во дозволените граници
 - поизразено е влијанието на енергетските водови врз паралелно водените телекомуникациски водови
 - нема проблем со оптички телекомуникациски водови

ЗАЗЕМЈУВАЊЕ НА НТ ПРЕКУ ТРАНСФОРМАТОР

- Ако СН намотките на трансформаторите ВН/СН не се врзани во ѕвезда туку во триаголник, заземјувањето на НТ (на било кој од претходно наведените начини) треба да се изведе преку (помошен) трансформатор за заземјување за да се добие (изведе) неутрална точка

