



VIKATILANTEET

Kolmivaiheisessa sähköverkossa voi esiintyä monenlaisia vikatapauksia kuten [oikosulkuja](#) ja [maasulkuja](#), ja ne voidaan jaotella seuraavalla tavalla:

SYMMETRISET

- [kolmivaiheinen oikosulku](#)
- kolmivaiheinen vikavirta
- laskenta: [yksivaiheinen sijaiskytkentä](#)

EPÄSYMMETRISET

- kaksivaiheinen oikosulku, yksivaiheinen maasulku, kaksivaiheinen maasulku sekä näiden erilaiset yhdistelmät
 - yksi- tai kaksivaiheinen vikavirta
 - laskenta: [symmetriset komponentit](#)
-

Vikoja aiheuttavat ilmastolliset ylijännitteet, laitteiden toimintahäiriöt tai virhetoiminnot, inhimilliset erehdykset tai ylikuormitukset. Vika saattaa johtaa häiriöön joka ilmenee sähkön jakelun joko täydellisenä tai osittaisena katkeamisena.

[Sähkölaitostekniikan perusteet, Elovaara Jarmo ja Laiho Yrjö, Otakustantamo 1990]

● [Etusivulle](#) ● [Hakemistoon](#)

OIKOSULKU



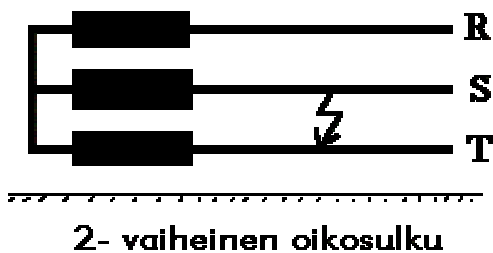
Oikosulku tarkoittaa jännitteellisten osien välistä johtavaa yhteyttä muun kuin sähkölähteen tai kuormituksen kautta.

Seuraavassa erilaisia oikosulkutapauksia:



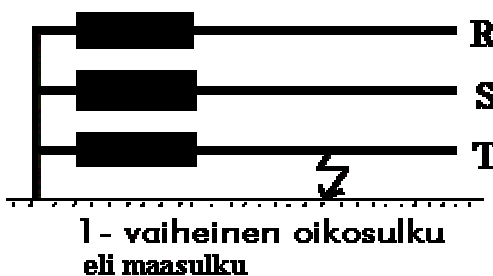
3- vaiheinen oikosulku

Vastukseton [kolmivaiheinen oikosulku](#) on suurivirtaisin kolmivaihejärjestelmän vika. Kolmivaiheisen oikosulun vikavirta on suuruudeltaan usein 10...40 -kertainen nimelliseen kuormitusvirtaan verrattuna.



2- vaiheinen oikosulku

Tavallisimmat epäsymmetriset viat ovat yksivaiheinen oikosulku eli maasulku sekä kaksivaiheinen oikosulku. Jälkimmäiseen saattaa liittyä myös kosketus maahan. Tällaisten vikojen aikana eri vaiheiden jännitteet ja virrat eivät ole symmetrisiä.



1- vaiheinen oikosulku
eli maasulku

Oikosulun aiheuttamiin haittoihin kuuluvat mm. käyttökeskeytykset, laitteiden lämpeneminen, voimat, valokaari (palovammat), vaarajännitteet, paine ja kaasut.

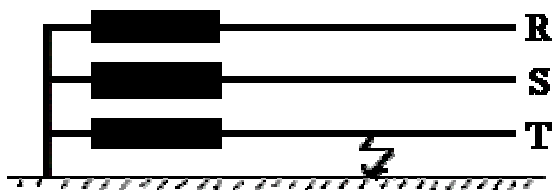
MAASULKU



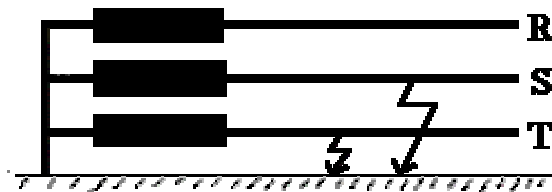
Sähköturvallisuusmääräyksissä maasulku on määritelty käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan väliseksi eristysviaksi.

Maasulkuilmiö poikkeaa olennaisesti oikosulusta silloin, kun verkon tähtipistettä ei ole maadoitettu. Verkkoon tulee tällöin haitallinen epäsymmetria, mutta ei kovin suurta vikavirtaa.

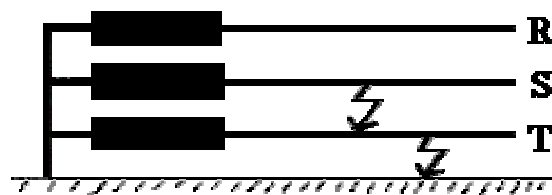
Seuraavassa erilaisia maasulku tapauksia:



Yksivaiheinen maasulku
eli yksivaiheinen oikosulku



Kaksoismaasulku



Kaksivaiheinen maa-oikosulku
eli yhdistetty oikosulku

Käyttömaadoitetussa verkossa maasulku on luonteeltaan yksivaiheisen oikosulun kaltainen ja vikavirran suuruus voidaan laskea, kun tunnetaan verkon impedanssit.

Kaksoismaasulku on kyseessä silloin kun verkon kahdessa eri vaiheessa ja eri kohdissa verkkoa esiintyy samanaikaisesti eristysvika.

Verkon (generaattorit, muuntajat) tähtipisteiden [maadoitustapa](#) vaikuttaa maasulussa syntyvien ylijännitteiden suuruuteen.

Maasulkuvirran suuruus riippuu yhtenäisen verkon johtopituudesta, johtolajin maakapasitanssista ja vikavastuksesta.

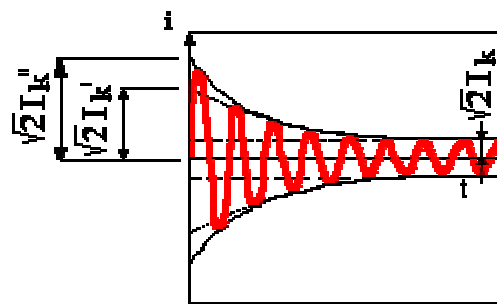
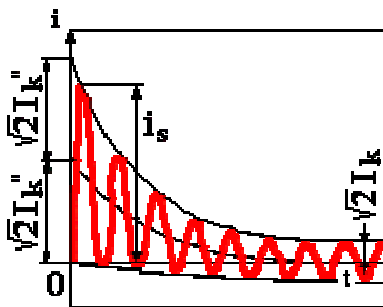
[Elovaara, Jarmo ja Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otakustantamo 1990]

[🟢Vikatilanteisiin](#) [🟡Etusivulle](#) [🟢Hakemistoon](#)

KOLMIVAIHEINEN OIKOSULKU



Allaolevista kuvista vasemmanpuoleisessa on esitetty epäsymmetrinen oikosulkuvirta, kun oikosulku tapahtuu epäedullisimmalla hetkellä. Oikosulkuvirta sisältää vaihto- ja tasavirtakomponentit. Tasavirtakomponentti I_g vaimenee verkon rakenteesta riippuvan aikavakion mukaan ja sen suuruus riippuu jännitteen hetkellisarvosta oikosulun syntymishetkellä. Mikäli $I_g = 0$, puhutaan symmetrisestä oikosulkuvirrasta (oikeanpuoleinen kuva).



$I_k'' =$ alkuoikosulkuvirta
 $I_k' =$ muutosoikosulkuvirta
 $I_k =$ pysyvän tilan oikosulkuvirta
 $i_s =$ sysäysoikosulkuvirta

Oikosulkuvirran suurin hetkellisarvo on sysäysoikosulkuvirta i_s , ja se määrää laitteiden mekaanisten rakenteiden mitoituksen. Suurin mahdollinen sysäysoikosulkuvirta on

$$i_s = \chi \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad , \text{ jossa } \chi \text{ on sysäyskerroin.}$$

Yleensä suurjänniteverkossa voidaan käyttää $\chi = 1,8$ eli $i_s = 2,5 * I_k''$

Oikosulkuvirta-arvojen laskeminen tehdään yleensä verkostolaskentaohjelmilla. Komponenttien impedanssiarvoiksi sijoitetaan tällöin eri muutosiloja vastaavat arvot. Suurusluokka arviointiin voidaan käyttää [Thevenin'in teoremaa](#):

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}_v}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_f}$$

$\underline{I} =$ vikavirta, $\underline{U}_v =$ vikapaikan jännite ennen vikaa, $\underline{Z}_i =$ verkon impedanssi vikapaikasta nähtynä, $\underline{Z}_f =$ vikaimpedanssi

Vaihtovirtakomponentin I_k amplitudissa on eroteltavissa alkuoikosulkuvirta

$I_k'' = \frac{U_\varphi}{Z_k'' + Z_f}$ ja muutosoikosulkuvirta $I_k' = \frac{U_\varphi}{Z_k' + Z_f}$, jotka vaimenevat omien aikavakioittensa mukaisesti.

Oikosulkuvirtojen lisäksi tärkeä käsite on oikosulkuteho, joka on ennen oikosulkua vallinneen jännitteen (tavallisesti nimellisjännite) ja oikosulkuvirran tulo (kolmivaihesuureena laskettuna).

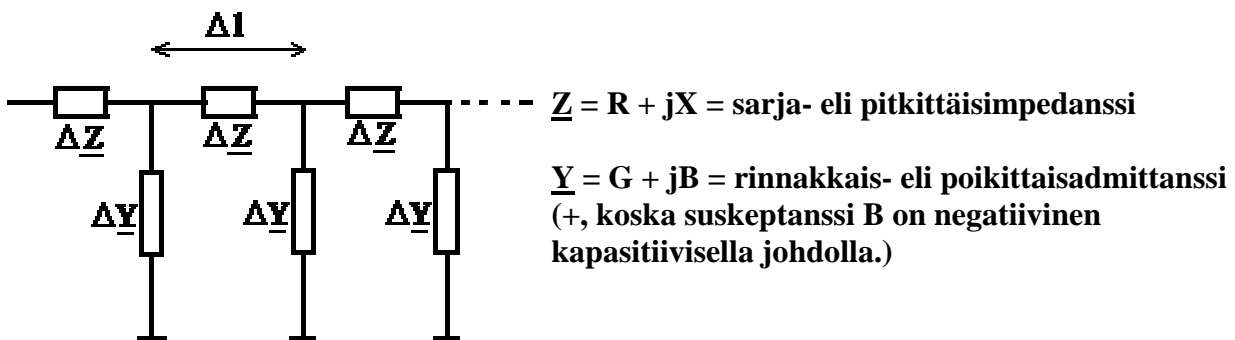
Elovaara, Jarmo ja Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otakustantamo, 1990]

[🟢Vikatilanteisiin](#) [🟡Etusivulle](#) [🟢Hakemistoon](#)

YKSIVAIHEINEN SIAISKYTKENTÄ

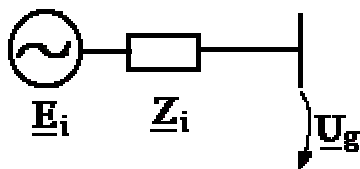
Sähköverkko voidaan kuvata yksivaiheisella sijaiskytkennällä. Symmetristen kolmivaiheverkkojen laskennassa keskeisiä rakennneosia kuormien lisäksi ovat johdot, generaattorit ja muuntajat.

• **Johdon sijaiskytkentä:**



Sijaiskytkentä voidaan yksinkertaistaa johdon pituuden mukaan.

• **Generaattorin sijaiskytkentä:** \underline{E}_i on generaattorin smv ja \underline{U}_g on napajännite



$\underline{Z}_i = R + jX_d$ on generaattorin sisäinen impedanssi, tavallisesti $R \approx 0$

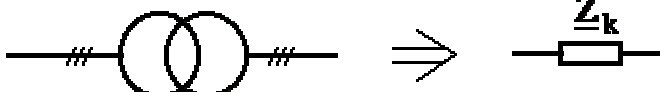
x_d on suhteellinen tahtireaktanssi, joka yleensä tunnetaan

Tahtireaktanssi X_d saadaan kaavasta

$$X_d = x_d \frac{U_N^2}{S_N}$$

• **Muuntajan sijaiskytkentä:**

Muuntajaa kuvataan verkostolaskennassa oikosulkuimpedanssilla



$$\underline{Z}_k = R_k + jX_k$$

Kun tunnetaan suhteellinen oikosulkuresistanssi u_r ja suhteellinen oikosulkureaktanssi u_x saadaan

$$R_k = u_r \frac{U_N^2}{S_N}$$

$$X_k = u_x \frac{U_N^2}{S_N}$$

Voimansiirtoverkoissa on useita muuntajilla erotettuja eri jännitteisiä portaita peräkkäin. Laskennassa onkin ensin päätettävä minkä jänniteportaan jännitteitä laskussa käytetään, jonka jälkeen muiden jänniteportaiden suuret [redusoidaan](#) valittuun jänniteportaaseen. Kun laskut on suoritettu redusoiduilla arvoilla, muunnetaan verkon osat takaisin alkuperäisiin jännitteisiin.

[Elovaara, Jarmo ja Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otakustantamo 1990]

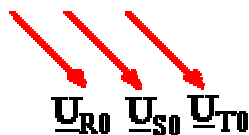
[🟢Sähköverkkoon](#) [🟡Etusivulle](#) [🟢Hakemistoon](#)

SYMMETRISET KOMPONENTIT



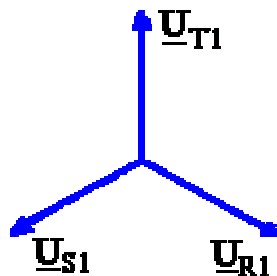
Kun kolmivaihejärjestelmää ei voida olettaa symmetriseksi (eli laskea yksivaiheisella sijaiskytkennällä), käytetään symmetrisiä komponentteja, joiden avulla saadaan epäsymmetrinen järjestelmä kuvatuksi yksivaihejärjestelmällä. Tässä tilanteessa epäsymmetrisen kolmivaihesuureen (esim. \underline{U}_R) ilmaisemiseen tarvitaan kolme symmetristä komponenttia (\underline{U}_{R0} , \underline{U}_{R1} , \underline{U}_{R2}), eli yksi osoitin kustakin järjestelmästä alla olevien kuvien mukaisesti.

Nollajärjestelmässä (yksivaiheinen) kaikki vaihesuureet ovat yhtä suuret ja samanvaiheiset.



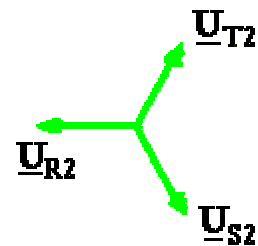
$$\begin{aligned}U_{R0} &= U_0 \\U_{S0} &= U_0 \\U_{T0} &= U_0\end{aligned}$$

Myötäjärjestelmä on symmetrinen kolmivaihejärjestelmä vaihejärjestyksellä R-S-T.



$$\begin{aligned}U_{R1} &= U_1 \\U_{S1} &= a^2 U_1 \\U_{T1} &= a U_1\end{aligned}$$

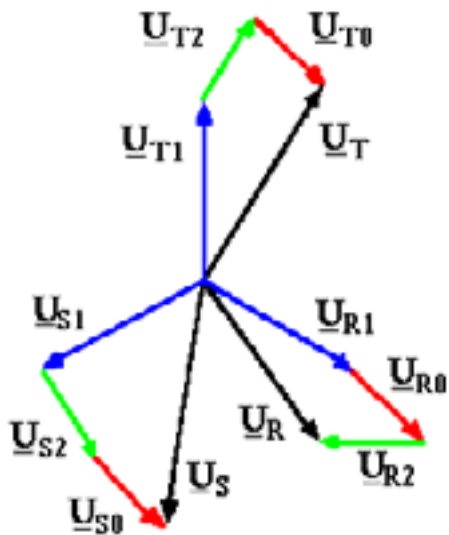
Vastajärjestelmä on symmetrinen kolmivaihejärjestelmä vaihejärjestyksellä R-T-S.



$$\begin{aligned}U_{R2} &= U_2 \\U_{S2} &= a U_2 \\U_{T2} &= a^2 U_2\end{aligned}$$

missä a on [vaiheenkääntöoperaattori](#)

Epäsymmetriset vaihesuureet saadaan summaamalla kunkin osajärjestelmän asianomaisen vaiheen komponentit. Alla olevassa kuvassa on esitetty epäsymmetristen vaihesuureiden muodostuminen symmetrisistä komponenteista.



Epäsymmetriset jännitteet

$$U_R = U_{R0} + U_{R1} + U_{R2}$$

$$U_S = U_{S0} + U_{S1} + U_{S2}$$

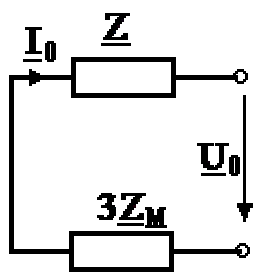
$$U_T = U_{T0} + U_{T1} + U_{T2}$$

Jännitteet ja virrat symmetristen komponenttien avulla ilmaistuna esitetään usein matriisimuodossa

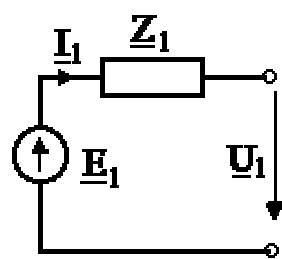
$$\begin{bmatrix} \underline{U}_R \\ \underline{U}_S \\ \underline{U}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_0 \\ \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_R \\ \underline{U}_S \\ \underline{U}_T \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_R \\ \underline{I}_S \\ \underline{I}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_0 \\ \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_R \\ \underline{I}_S \\ \underline{I}_T \end{bmatrix}$$

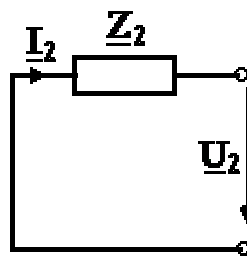
Kukin virtakomponentti kohtaa verkossaan omat impedanssinsa: nollakomponentti nollaimpedanssit, myötäkomponentti myötäimpedanssit ja vastakomponentti vastaimpedanssit, ks. ao. kuva. Impedanssien perusteella puhutaan nolla-, myötä-, ja vastaverkosta.



Nollaverkko



Myötäverkko



Vastaverkko

$$\underline{U}_0 = -(\underline{Z} + 3\underline{Z}_M)\underline{I}_0 = -\underline{Z}_0\underline{I}_0$$

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 - \underline{Z}_1\underline{I}_1$$

$$\underline{U}_2 = -\underline{Z}_2\underline{I}_2$$

[Elovaara, Jarmo ja Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, Otakustantamo 1990]

[Sähköverkkoon](#)
[Vikatilanteisiin](#)
[Etusivulle](#)
[Hakemistoon](#)