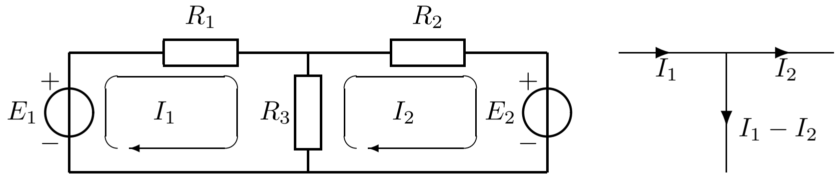
Kirjaa täydentävää materiaalia, versio 24.9.2003

Matriisiyhtälön kirjoitussäännöt silmukkamenetelmässä

1. Yhdistä rinnankytketyt resistanssit (impedanssit). Sarjaankytkettyjä osia on turha yhdistää.

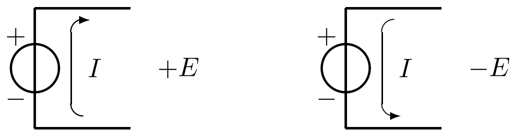
2. Muunna riippumattomat virtalähteet jännitelähteiksi sekä kaikki ohjatut lähteet virtaohjatuiksi jännitelähteiksi.

3. Valitse silmukoiden kulkureitit ja kiertosuunnat (vapaa valinta, kuva 1). Numeroi ne ykkösestä alkaen I_i tai nimeä ne muuten. Silmukoiden lukumäärän on oltava oikea (sama kuin 'ikkunoiden' määrä). Jokaisen haaran on oltava mukana vähintään yhdessä silmukassa, mutta se saa olla mukana monessakin. Silmukan ei kannata ristetä eli mennä ristiin itsensä kanssa.



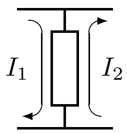
Kuva 1. Silmukoiden kulkureitit ja kiertosuunnat valittiin vapaasti. Keskimmäisen haaran kautta kulkee kaksi silmukkaa eri suuntiin; haaravirta on silmukkavirtojen erotus.

4. Matriisiin $\underline{E}$ riville i tulee silmukan i jännitelähteiden summa; indeksi i on siis silmukan järjestysnumero. Lähde summataan positiivisena, jos se pyrkii syöttämään virtaa silmukan kiertosuuntaan — muuten negatiivisena (kuva 2).



Kuva 2. Jännitelähteen etumerkin määrääminen.

5. Kerroinmatriisi $\underline{\underline{Z}}$ on aina neliömatriisi. **Päälävistäjällä** eli **diagonaalilla** on sama rivija sarakenumero; kohtaan (i, i) tulee silmukan i resistanssien (impedanssien) summa aina positiivisena. Päälävistäjän ulkopuolelle kohtiin (i, j) ja (j, i) tulevat silmukoille i ja j yhteiset resistanssit (impedanssit) positiivisina, jos silmukkavirrat menevät komponentin läpi samaan suuntaan, muuten negatiivisina (kuva 3). **Kerroinmatriisi** on päälävistäjän suhteen **symmetrinen**, jos piirissä ei ole ohjattuja lähteitä.



Kuva 3. Kuvan impedanssi tulee päälävistäjän ulkopuolelle negatiivisena, mutta päälävistäjälle virtojen suunnista riippumatta positiivisena.

6. Virtavektorin $\underline{I}$ riville i tulee tuntemattoman silmukkavirran i nimi.

7. Siirretään mahdolliset ohjatut lähteet vektorista $\underline{E}$ matriisiin $\underline{\underline{Z}}$. Keksit menetelmän helposti, kun kirjoitat matriisiyhtälön "auki" ja otat muuttujat yhteisiksi tekijöiksi.

8. Ratkaistaan tuntemattomat silmukkavirrat.

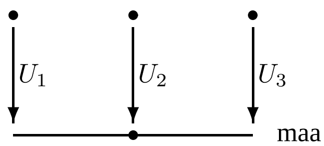
9. Lasketaan tarvittaessa muut virrat, jännitteet, tehot ym. Haarojen virrat ovat edellä mainittuja silmukkavirtoja tai niiden summia ja erotuksia (kuva 1).

Matriisiyhtälön kirjoitussäännöt solmumenetelmässä

1. Yhdistä sarjaan kytketyt resistanssit (impedanssit). Rinnankytketyille osille ei tarvitse tehdä mitään.

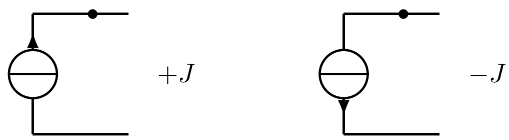
2. Muunna riippumattomat jännitelähteet virtalähteiksi sekä ohjatut lähteet jänniteohjatuiksi virtalähteiksi.

3. Valitse maa- eli kantasolmu (vapaa valinta). Numeroi kaikki muut solmut ykkösestä alkaen tai nimeä ne muuten. Solmut eivät saa olla toisiinsa yhteydessä johdolla. Muuttujiksi U_i valitaan solmujen potentiaalit eli jännitteet kantasolmuun nähden; nuolen suunta valitaan aina kantasolmua kohti! (kuva 4).



Kuva 4. Solmunumerointi ja solmujännitteiden valinta.

4. Matriisiin $\underline{J}$ riville i tulee solmuun i tulevien lähdevirtojen summa. Virtalähde otetaan positiivisena, jos se tuo virtaa solmuun — muuten negatiivisena (kuva 5).



Kuva 5. Virtalähteen etumerkin määrääminen ylhäällä olevan solmun kannalta.

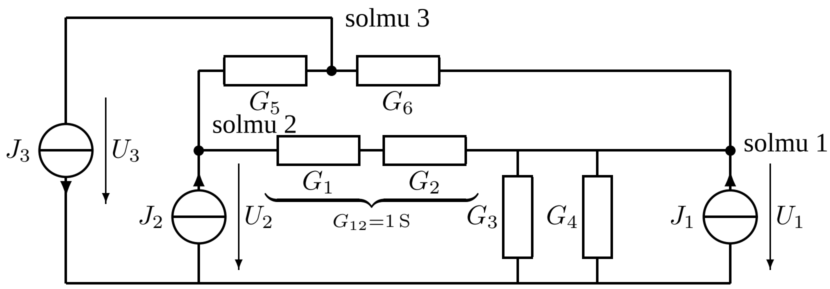
5. Kerroinmatriisi $\underline{\underline{Y}}$ on aina neliömatriisi. **Päälävistäjälle** (diagonaali) kohtaan (i, i) tulee solmuun i liittyvien konduktanssien (admittanssien) summa aina positiivisina. Nollasolmulle ei tule omaa riviä eikä saraketta. Päälävistäjän ulkopuolelle kohtiin (i, j) ja (j, i) kootaan solmujen i ja j väliset konduktanssit (admittanssit) aina negatiivisina! Tämä on yksi solmumenetelmän eduista: etumerkkiongelmia ei juuri ole. Kun katsotaan solmujen välisiä konduktansseja, mukaan kelpuutetaan vain **suoraan** solmusta toiseen kytketyt osat — ei toisen solmun kautta kulkevia vastusketjuja. **Kerroinmatriisi** on päälävistäjän suhteen **symmetrinen**, jos piirissä ei ole ohjattuja lähteitä.

6. Jännitevektoriin $\underline{U}$ riville i tulee tuntemattoman solmujännitteen U_i nimi.

7. Siirretään mahdolliset ohjatut lähteet vektorista $\underline{J}$ matriisiin $\underline{\underline{Y}}$. Lähde pysyy siirrettäessä samalla rivillä, sarake määräytyy ohjausjännitteen mukaan. Etumerkki vaihtuu tietysti, kun termi viedään yhtälön toiselle puolelle. Kerroinmatriisiin tulee vain ohjatun lähteen kerroin g — jännitteethän ovat yhteisinä tekijöinä omassa lokerossaan.

8. Ratkaistaan tuntemattomat solmujännitteet ja tarvittaessa muut jännitteet, virrat, tehot, ym. Solmujen väliset jännitteet lasketaan solmujännitteiden erotuksena — aivan samoin menetellään APLACissa.

Esim. 1. Lasketaan jännite U_2 solmumenetelmällä kuvan 6 piiristä. $J_1 = 1$ A, $J_2 = 2$ A, $J_3 = 3$ A, $G_1 = G_3 = G_3 = G_4 = G_5 = G_6 = 2$ S.



Kuva 6. Melko monimutkaisenkin piirin jännitteet saadaan laskettua täysin mekaanisesti solmumenetelmällä.

$$\begin{bmatrix} G_{12}+G_3+G_4+G_6 & -G_{12} & -G_6 \\ -G_{12} & G_{12}+G_5 & -G_5 \\ -G_6 & -G_5 & G_5+G_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ -J_3 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$U_2 = \frac{\begin{vmatrix} G_{12}+G_3+G_4+G_6 & J_1 & -G_6 \\ -G_{12} & J_2 & -G_5 \\ -G_6 & -J_3 & G_5+G_6 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} G_{12}+G_3+G_4+G_6 & -G_{12} & -G_6 \\ -G_{12} & G_{12}+G_5 & -G_5 \\ -G_6 & -G_5 & G_5+G_6 \end{vmatrix}} = 0{,}25 \text{ V} \tag{2}$$

Matriisiyhtälön käsittelyä on selitetty tarkemmin kirjassa.