

Kirchhoffi reeglid võimaldavad n hargnemispunkti omava ning m erinevaks kinniseks kontuuriks jagatava hargneva vooluahela kohta koostada võrrandisüsteemi, mis sisaldab $n - 1$ sõltumatut Kirchhoffi I reegli võrrandit ja $m - 1$ sõltumatut Kirchhoffi II reegli võrrandit. Neist võrranditest on kõiki elektromotoorjõude ja takistusi teades leitavad kõik voolutugevused (või vastupidi).

Kirchhoffi I reegel (current law): Hargneva vooluahela igas hargnemispunktis on voolude algebraline summa võrdne nulliga, s.t. punkti sisenevate (positiivsete) voolutugevuste summa võrdub sellest punktist väljuvate (negatiivsete) voolutugevuste summaga.

Kirchhoffi II reegel (voltage law): Mistahes kinnises kontuuris, mis on välja valitud mistahes hargnevast vooluahelast, on vooluallikate elektromotoorjõudude algebraline summa võrdne ahela takistust omavatel lõikudel (sh. vooluallikate sisetakistused) tekkivate pingete algebralise summaga.

Selgitus: Kontuuris tuleb kõigepealt defineerida positiivne liikumissuund ja teha oletus voolu suuna kohta igas takistis. Mingi vooluallika elektromotoorjõudu loetakse summeerimisel positiivseks, kui see vooluallikas tekitab voolu kontuuris valitud positiivses suunas. Kui allikas tekitab valitud positiivsele suunale vastupidise suunaga voolu, siis loetakse tema elektromotoorjõud summeerimisel negatiivseks. Kui oletuslik voolu suund takistis ühtib kontuuris valitud positiivse liikumissuunaga, siis loetakse pinge sellel takistil summas positiivseks. Kui oletuslik voolu suund takistis on vastupidine kontuuris valitud positiivsele liikumissuunale, siis loetakse pinge sellel takistil negatiivseks. Kui me oleme ülesande lahendanud (kõik voolutugevused leidnud), siis saame teada, kas voolu suuna suhtes tehtud oletus oli õige või mitte. Kui me saame positiivse voolutugevuse, siis oli tehtud oletus õige, kui aga saame negatiivse voolutugevuse, siis kulgeb vool selles takistis tegelikult vastupidises suunas (oletus oli väär).

Superpositsiooniteoreem: Voolutugevust mistahes kinnises kontuuris, mis on välja valitud mistahes hargnevast vooluahelast, võib kogu vooluringi Ohmi seaduse abil leida sõltumatult vooluahela teistes kontuurides analoogiliselt leitavatest voolutugevustest. Reaalne voolutugevus hargneva ahela mingis lõigus on kõigis seda lõiku läbivates kontuurides tekkivate voolutugevuste algebraline summa (superpositsioon).

Thevenin'i teoreem: Iga lineaarne kaksklemm on asendatav Thevenin'i generaatoriga.

See on kõnealuse teoreemi lühim sõnastus, aga teadagi nõuab sõnaseletusi:

Lineaarne kaksklemm - elektriabel, mis sisaldab ainult lineaarseid (pingest mitte sõltuva takistusega, s.t. lineaarse voltamperkarakteristikuga) elemente (vooluallikaid ja takisteid). Näiteks kõik pooljuhtelektroonika detailid (diodid, transistorid jne) - on mittelineaarsed.

Thevenin'i generaator - pingegeneraator, mille elektromotoorjõuks on selline pinge, mis tekib kaksklemmi otstel, kui eeldada lõpmata suurt takistust klemmide vahel. Samas Thevenin'i generaatori sisetakistuseks on kaksklemmi otste vaheline takistus, kui kaksklemmis sisalduvad vooluallikad on asendatud takistitega, mille takistused vastavalt võrduvad vooluallikate sisetakistustega.

Teisisõnu: Thevenin'i generaatoris on **jadamisi** ühendatud ideaalne pingegeneraator (sisetakistus null, emj leitav ülaltoodud viisil) ning takisti (takistus leitav ülaltoodud viisil).

Norton'i teoreem: Iga lineaarne kaksklemm on asendatav Norton'i generaatoriga.

See on kõnealuse teoreemi lühim sõnastus, aga teadagi nõuab sõnaseletusi:

Norton'i generaator - voolugeneraator, mille töövooluks on selline vool, mis kulgeb kaksklemmi otste vahel siis, kui eeldada nulliga võrduvat takistust klemmide vahel (nn. kaksklemmi lühisvool). Ka Norton'i generaatori sisetakistuseks on kaksklemmi otste vaheline takistus, kui kaksklemmis sisalduvad vooluallikad on asendatud takistitega, mille takistused vastavalt võrduvad vooluallikate sisetakistustega.

Teisisõnu: Norton'i generaatoris on **rööbiti** ühendatud ideaalne voolugeneraator (sisetakistus lõpmatu, töövool leitav ülaltoodud viisil) ning takisti (takistus leitav ülaltoodud viisil).

Pinge arvutamine takistil $10\ \Omega$:

a) Kirchhoffi reeglite abil

K I reegel sõlme B kohta: $I_1 + I_2 = I_3$ (1)

K II reegel ABEF kohta: $(9 - 6) = 5 I_1 - 15 I_2$ (2)

K II reegel ACDF kohta: $9 = 5 I_1 + 10 I_3$ (3)

Paneme I_2 seosest (1) sisse seosesse (2): $3 = 5 I_1 - 15 (I_3 - I_1)$ ja saame $3 = (5 + 15) I_1 - 15 I_3 = 20 I_1 - 15 I_3$ (4)

Korrutame seost (3) läbi 4-ga ja saame $36 = 20 I_1 + 40 I_3$ (5)

Lahutame võrrandi 4 võrrandist 5: $36 - 3 = [40 - (-15)] I_3$ ehk $33 = 55 I_3$, millest $I_3 = (33/55) A = 0,6 A$

ja $I_3 R_3 = 0,6 A \cdot 10\ \Omega = 6 V$.

b) Superpositsiooniteoreemi abil - tuleb leida voolud, mida tekitaks kumbki vooluallikas, kui teised allikad on asendatud lühisega.

9 V allika voolu leidmiseks tuleb esmalt arvutada harude BE ja CD rööpühenduse takistus: $\frac{15 \cdot 10}{15 + 10} = \frac{150}{25} = 6\ \Omega$

Nüüd I_1 (9 V allika vool) = $\frac{9 V}{(5 + 6)\ \Omega} = 0,82 A$. Harus CD voolava osa sellest voolust I_{13} saab leida voolujagaja

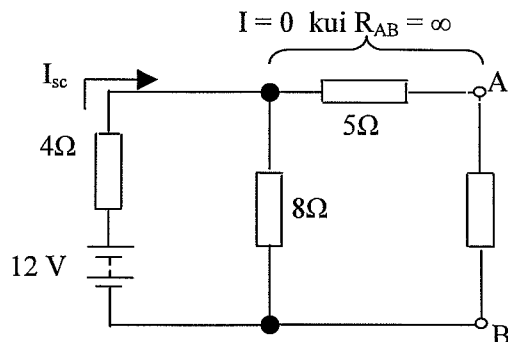
valemist $I_{13} = 0,82 A \cdot \frac{15\ \Omega}{(10 + 15)\ \Omega} = 0,82 \cdot 0,6 = 0,49 A$. AF ja CD rööpühenduse takistus: $\frac{5 \cdot 10}{5 + 10} = \frac{50}{15} = 3,33\ \Omega$

Seega I_2 (6 V allika vool) = $\frac{6 V}{(15 + 3,33)\ \Omega} = 0,327 A$ ja harus CD voolav osa $I_{23} = 0,372 A \cdot \frac{5\ \Omega}{5 + 10\ \Omega} = 0,11 A$.

Kogu vool harus CD: $I_3 = I_{13} + I_{23} = 0,49 A + 0,11 A = 0,6 A$ ja

$I_3 R_3 = 6 V$

Arvutame Thevenin'i generaatori tööpinge ja Norton'i generaatori töövoolu tugevuse ning kummagi generaatori sisetakistuse. Arvutame voolutugevuse koormustakistis klemmide A ja B vahel, kui selle takistus on: 1) $5\ \Omega$, 2) $20\ \Omega$, 3) $1\ k\Omega$.



a) THEVENIN:

$\varepsilon_{TH} = U_{AB}$ (avatud)

$$\varepsilon_{TH} = 12 V \frac{8\ \Omega}{(4 + 8)\ \Omega} = 8 V$$

$$r = (5 + 2,67)\ \Omega = 7,67\ \Omega$$

$$\begin{cases} I_1 = \frac{8V}{(7,67 + 5)\ \Omega} = 0,63 A \\ I_2 = \frac{8V}{(7,67 + 20)\ \Omega} = 0,29 A \\ I_3 = \frac{8V}{(7,67 + 1000)\ \Omega} = 7,9\ mA \end{cases}$$

b) NORTON:

Vool 12 V -allikas lühistatud AB korral (shortcut current):

$$I_{sc} = \frac{12V}{(4 + 3,08)\ \Omega} = 1,695 A$$

Nortoni generaatori töövool (vool A ja B vahel)

$$I_{NO} = 1,695 A \frac{8\ \Omega}{(5 + 8)\ \Omega} = 1,043 A \quad (\text{voolujagaja valemist})$$

$$I_1 = 1,043 \frac{7,67\ \Omega}{(7,67 + 5)\ \Omega} = 0,63 A \quad I_2 = 0,29 A ; I_3 = 7,9\ mA$$