

## 1 Kirchhoffi seadused

**Kirchhoffi I seadus:** vooluahela mistahes sõlmpunkti koonduvate voolude summa on võrdne sellest sõlmest väljuvate voolude summaga.

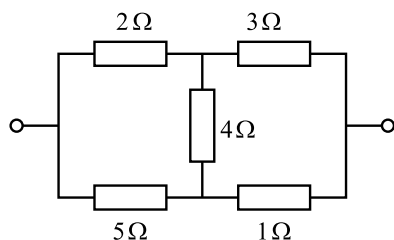
**Kirchhoffi II seadus:** elektromotoorjõudude ja pingelangude algebraline summa piki elektriahela mistahes suletud kontuuri on võrdne nulliga.

Teades kõiki takistusi ja patareide pingeid, ja tahtes leida voole, siis kasutades Kirchhoffi ja Ohm'i seadusi saame lineaarvõrrandite süsteemi, mida saab alati lahendada. Üldjuhul võib olla selle süsteemi lahendamine keeruline ja võrrandite lihtsustamiseks saab kasutada järgnevaid meetodeid.

**Potentsiaalide meetod.** Vaatleme vooluringi sõlmede potentsiaale (mingi vabalt valitava sõlme suhtes) kui otsitavaid tundmatuid suurusi. Sellega on Kirchhoffi II seadus automaatselt täidetud. Nüüd saame iga sõlme jaoks üles kirjutada Kirchhoffi I seaduse, arvutades pinged harudes kui naabersõlmede potentsiaalide vahed.

**Kontuurvoolude meetod.** Selle meetodi puhul võetakse otsitavateks suurusteks kontuurvoolud, st tegelikke voolusid vooluringi harudes, mis on ühised kahele või enamale kontuurile, vaadeldakse kui vastavate kontuurvoolude algebralisi summasid (iga kontuuri jaoks tuleb postuleerida voolu ümberkäigu suund). Sel viisil on Kirchhoffi I seadus automaatselt täidetud. Nüüd saame vooluringi kõikide sõltumatute kontuuride jaoks kirja panna Kirchhoffi II seaduse.

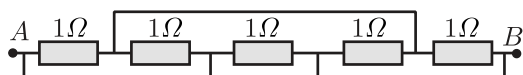
**Ülesanne 1.** Leia ahela klemmide vaheline takistus kasutades potentsiaalide meetodit ja kontuurvoolude meetodit.



## 2 Spetsiaalvõtted

**Skeemi lihtsustamine.** Tihti pole ülesandes antud skeem kõige lihtsamini mõistetav. Sellisel juhul on mõistlik skeem ümber joonistada.

**Ülesanne 2. (IPhO 1996, T1)** Leia joonisel oleva ahela klemmide vaheline takistus.

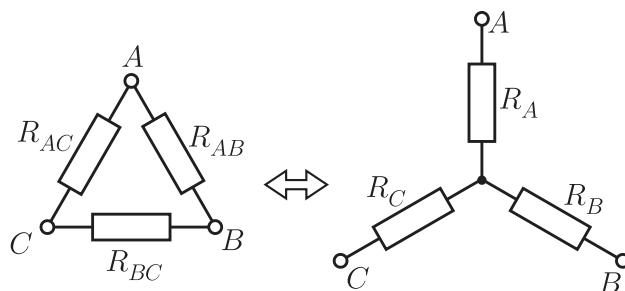


**Täht- ja kolmnurkühendus.** Tähtühenduse saab alati

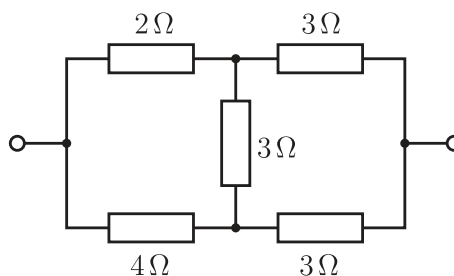
teisendada temaga elektrilise funktsionaalsuse poolest ekvivalentseks kolmnurkühenduseks ja vastupidi. Nimetagem seda  $\Delta$ -Y teisenduseks. Teisendusvalemid on järgmised:

$$R_A = \frac{R_{AB}R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC} + R_{BC}} \text{ jne. tsikliliselt}$$

$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_AR_B}{R_C} \text{ jne. tsikliliselt.}$$

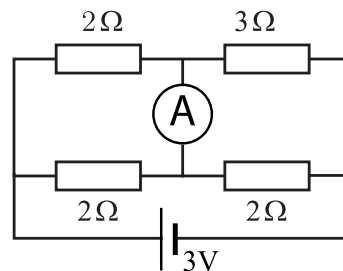


**Ülesanne 3.** Leia joonisel kujutatud ahela takistus.



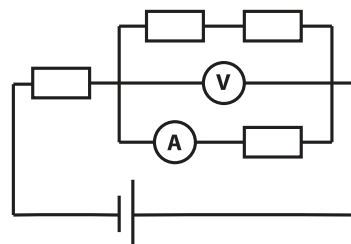
**Ideaalne ampermeeter ja voltmeeter.** Ideaalse ampermeetri sisetakistus on null ja ideaalse voltmeetri sisetakistus on lõpmatu.

**Ülesanne 4.** Leia joonisel oleva ampermeetri näit.



**Ülesanne 5. (Lahtine 2015, N5)** Neli ühesugust takistit takistusega  $R$  ning mõõteriistad on ühendatud nii nagu joonisel näidatud. Vooluallika pinge on  $U$ .

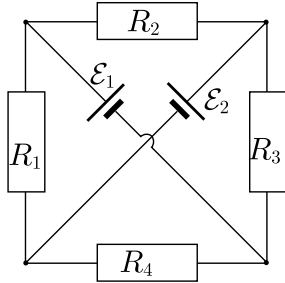
- Leia mõõteriistade näidud.
- Leia mõõteriistade näidud, kui vahetatakse ampermeetri ja voltmeetri asukohad.



**Superpositsiooniprintsiip.** Ohmi seadus ning Kirchhoffi seadused on lineaarsed, seetõttu vaid oomilisi takisteid ja elektromotoorjõu allikaid sisaldavas elektriahelas toimib *superpositsiooniprintsiip* järgmisel kujul: resultatiivne voo-

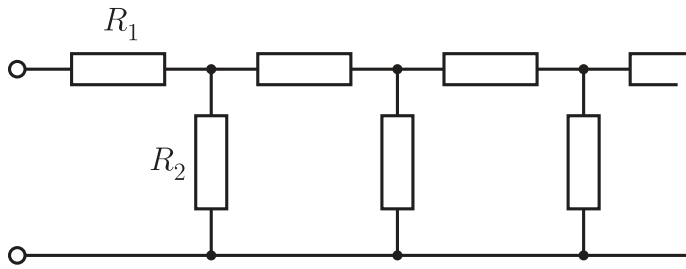
lutugevus läbi antud takisti on võrdne kõigi nende voolutugevuste algebralise summaga, mida indutseerisid läbi selle takist kõik elektromotoorjõu allikad eraldi (st kõik teised elektromotoorjõu allikad lühistatakse).

**Ülesanne 6.** Joonisel toodud skeemis on tegemist ühesuguste takistitega takistustega  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  ning ühesuguste ideaalsete patareidega elektromotoorjõududega  $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}$ . Leidke voolutugevused takistites (st  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  ja  $I_4$  avaldised suuruste  $R$  ja  $\mathcal{E}$  kaudu).



**Lõpmatud perioodilised ahelad.** Lõpmatutele perioodilistele ahelate uurimisel on kasulik ahela sarnasus iseendaga: esimese lüli eemaldamine ei muuda selle omadusi.

**Ülesanne 7.** Leia joonisel oleva ahela takistus.



**Lõpmatu perioodiline võre.** Superpositsiooniprintsiipi kasutades võib olla võimalik mittesümmeetriline probleem muuta sümmeetriliseks.

**Ülesanne 8.** Leia kahe naabersõlme A ja B vaheline takistus ruutvõres. Naabersõlmed on ühendatud traadijuppidega, mille takistus on  $R$ .

**Negatiivne takistus.** Mõnikord on võimalik muuta probleem sümmeetriliseks kasutades fiktiivseid negatiivseid takistusi.  $R$  ja  $-R$  jadaühendus vastab null takistusele, rööpühenduses lõpmatule takistusele.

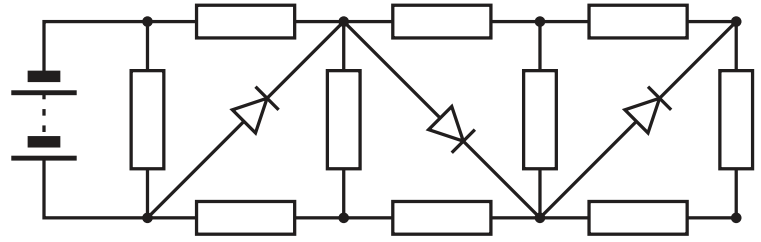
**Ülesanne 9.** Lahendage ülesanne 8 juhul, kui A ja B vaheline traadijupp on eemaldatud.

### 3 Mittelineaarsed elemendid

**Ideaalne diood.** Diod on pooljuhtseadis, mis ühes suunas juhib voolu võrdlemisi hästi, vastassuunas peaaegu mitte. Diodi nimetatakse ideaalseks, kui päripinge korral on selle takistus null ja vastupinge korral lõpmata suur. Veidi realistlikum (aga siiski idealiseeritud) diodi tunnusjoone mudel on, kus diood avaneb täielikult teatud positiivse pin-ge  $U_d$  juures ja sellest madalamatel pingetel on täielikult

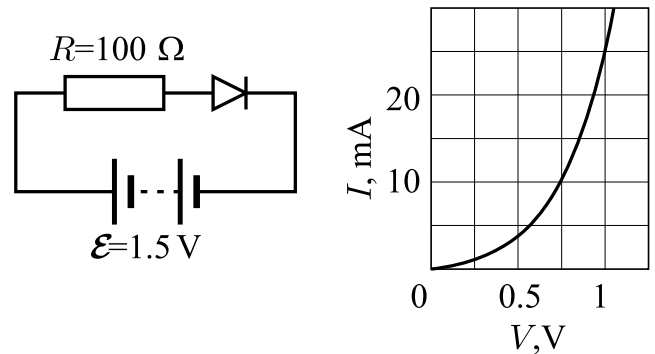
suletud.

**Ülesanne 10.** Mitu korda muutub joonisel toodud skeemis voolutugevus läbi pingallika, kui viimase polaarsus muuta vastupidiseks? Kõik takistid on võrdsed, diodid ja elektromotoorjõuallikas on ideaalsed.



**Graafiline meetod.** Kui elektriahelas on elemente, mille voltamperkarakteristika  $I(U)$  pole lineaarne, siis on võimalik leida elemendist läbi mineva voolu graafiliselt.  $I(U)$ -sõltuvuse on võimalik ka avaldada Kirchhoffi seadustest, lihtsamatel juhtudel on see lineaarne seos  $U = U_0 - IR$ . Lahend(id) on kahe leitud joone,  $U_0 - IR$  ja  $I(U)$ , lõikepunkt(id).

**Ülesanne 11.** Kui suur on voolutugevus joonisel toodud ahelas? Diodi voltamperkarakteristik on toodud juuresoleval graafikul.



**Ülesanne 12. (E-S 2003, P4)** Tunneldiod on harilik diodi sarnane pooljuhtseade, mida kirjeldagem pin-ge ja voolu vahelise tunnusjoone abil, vt graafikut. Skeemil on toodud lihtsaim tunneldiodil baseeruv võimendi. Leidke, mitu korda võimendatakse sisendisse antavat väikese amplituudiga signaale.  $R = 10 \Omega$ ,  $\mathcal{E} = 0,25 \text{ V}$ .

