

TARTU ÜLIKOOL
TEADUSKOOL

ETTEVALMISTUS FÜÜSIKAOLÜMPIAADIKS

ELEKTER

Koostas Urmo Visk

Õppevahend TK õpilastele

Tartu 2008

Sisukord

Tähised elektriskeemides.....	1
Voolutugevus ja pinge.....	3
Ohmi seadus.....	5
Eritakistus.....	6
Jadaühendus.....	8
Rööpühendus.....	9
Näidisülesanne 1.....	11
Elektriskeemide lihtsustamine.....	13
Näidisülesanne 2.....	14
Näidisülesanne 3.....	16
Ampermeeter.....	18
Voltmeeter.....	19
Näidisülesanne 4.....	21
Näidisülesanne 5.....	23
Oommeeter.....	24
Elektrivoolu töö ja võimsus.....	25
Näidisülesanne 6.....	26

Tähised elektriskeemides



Ampermeeter



Voltmeeter



Oommeeter



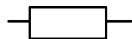
Elektripirn



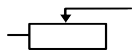
Valgusdiod



Vooluallikas, patarei. Vooluallika plussklemm on pikem ja miinusklemm lühem püstjoon. Vool liigub plussklemmilt läbi vooluahela miinusklemmidele.



Takisti



Reostaat ehk muudetava takistusega takisti. Reostaadi takistus võrdub kahe juhtme vahele jääva osa takistusega, mida saab muuta juhtmeid teineteisele lähemale või kaugemale liigutades.



Lüliti. Vooluringis on vool vaid suletud

lüliti korral.



Juhtmete lõikumispunkt. Kui juhtmete lõikumispunktis pole täppi, siis ei ole juhtmed lõikumispunktis kokku ühendatud.

Voolutugevus ja pinge

Elektrivool on laengukandjate (elektronide või ioonide) suunatud liikumine. Nagu aatomid gaasis, nii osalevad ka elektronid elektrijuhtmes kaootilises soojusliikumises. Elektronide juhuslikule liikumisele lisandub ka imetilluke osa suunatud liikumist ja just see väike osa tekitabki elektrivoolu. On välja arvatud, et elektrivoolu põhjustav suunatud liikumine on 100 miljonit korda nõrgem kui elektronide juhuslik soojusliikmine.

Laengukandjate suunatud liikumise intensiivsust kirjeldab elektrivoolu tugevus. Elektrivool iseloomustab juhtme ristlõiget ühes sekundis läbinud elektrilaengu suurust:

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (1)$$

(I on voolutugevus ja Q on elektrilaeng, mis läbib juhtme ristlõiget aja t vältel). Voolutugevus on üks amper, kui juhet läbib elektrilaeng üks kulon ühe sekundi jooksul. Voolutugevuse ühik on amper ja seda tähistatakse suure A tähega. $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$.

Pinge on töö, mille vooluallikas teeb ühekulonilise laengu liigutamiseks läbi vooluringi. Pinge tähis on U ja ühik

volt, mida märgitakse suure V tähega. Vooluallika pinge on 1 V, kui vooluallikas tegi laengu 1 C (näiteks on 1 s kestel voolutugevus 1 A) liigutamiseks töö 1 J.

$$U = \frac{A}{Q} = \frac{A}{It}, \quad (2)$$

kus A on vooluallika poolt tehtud töö ja Q on vooluallikat läbinud laeng.

Patareidele ja teistele vooluallikatele märgitud pinge näitab töö suurust, mille vooluallikas suudab maksimaalselt teha ühekulonilise laengu liigutamiseks. Samas pinge takistil ei võrdu takisti tehtud tööga, vaid tööga, mille vooluallikas peab tegema, liigutamaks laengut 1 C läbi takisti. Pinged patareil ja takistil on erineva tähendusega, kuna elektronid saavad vooluallikalt liikumiseks energiat juurde, aga takistis kaotavad energiat.

Energia jäävuse seaduse kohaselt saavad elektronid kaotada vaid nii palju energiat kui nad vooluallikast juurde saavad. Järelikult on pingete summa jadamisi ühendatud takistitel võrdne vooluallika enda pingega.

$$U_{\text{vooluallikas}} = U_{\text{takisti 1}} + U_{\text{takisti 2}} + \dots + U_{\text{takisti } n} \quad (3)$$

Ohmi seadus

Ohmi seadus väidab, et takistile rakendatud pinge ja seda läbiva voolutugevuse jagatis on konstant, mida nimetatakse antud takisti takistuseks. Valemina kirjutatakse Ohmi seadus kujul

$$R = \frac{U}{I} \quad (4)$$

(R on takisti takistus, U sellele rakendatud pinge ja I voolutugevus läbi takisti). Takistuse ühik on oom, mida tähistatakse kreeka suurtähe oomegaga: Ω . Takisti takistus on üks oom, kui takistil on pinge 1 V ja voolutugevus läbi takisti on 1 A.

Tahketes ainetes tekitab tavaliselt elektrivoolu elektronide liikumine. Kuna elektronid liiguvad paljuski juhuslikult, siis põrkavad need sageli aatomitega. Põrgetel väheneb elektronide kiirus, mistõttu takistavad aatomid elektronide liikumist, põhjustades elektritakistuse tekke. Kirjeldatud mudel seletab ära paljud takistuse omadused, kuid annab ka mõned väga imelikud tulemused. Nimelt peaks elektron kahe järjestikuse põrke vahel mööduma kümnekonnast aatomist. Kuna tahked ained on tihedalt aatomeid täis ja seal on vähe vaba ruumi, siis on väga raske ette kujutada, kuidas peaaegu juhuslikult lii-

kuvad elektronid saavad nii pikalt liikuda aatomitega kokku põrkamata. Seletus on päris keeruline ja appi tuleb võtta kvantfüüsika. Viimase järgi on elektronil samaaegselt nii osakese kui ka laine omadused. Elektron põrkub väheste aatomitega seejärel, et elektron „lainetab“ aatomitest mööda nagu merelaine möödub vees olevast postist: osa lainest läheb vasakult ja osa paremalt ning posti taga laine mõlemad osad ühinevad.

Eritakistus

Kuna aine takistus sõltub sellest, kui palju põrkuvad elektronid aatomitega, siis mõjutab materjali takistust selles olevate aatomite suurus ja paiknemine ehk aine struktuur. Samuti sõltub takistus takisti mõõtmetest: pikema takisti korral põrkuvad elektronid rohkemate aatomitega, mistõttu on ka takistus suurem. Jämedamas takistis liigub seevastu rohkem elektrone ja takistus on väiksem. Teades materjali omadusi ja takisti mõõtmeid saab takistuse arvutada järgmisest valemist:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5)$$

Siin on R takistus, ρ aine eritakistus, l takisti pikkus ja S takisti ristlõikepindala. Eritakistuse ühik on $1 \, \Omega \cdot \text{m} = 100 \, \Omega \cdot \text{cm} =$

$=10^6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Aine eritakistus on $1 \Omega \cdot \text{m}$, kui sellest ainest valmistatud 1 m pikkuse juhtme pindala on 1 m^2 ja elektritakistus on 1Ω . Eritakistus on konkreetset ainet iseloomustav konstant, mis sõltub nii aine keemilisest koostisest kui ka struktuurist. Kui mõnel ainel on sama keemilise koostise juures mitu erinevat struktuuri ehk aatomite paiknemise viisi, siis on igal struktuuril erinev eritakistus.

Materjal	Eritakistus ($\Omega \cdot \text{m}$)	Materjal	Eritakistus ($\Omega \cdot \text{m}$)
Alumiinium	$2,66 \cdot 10^{-8}$	Teras	$16 \cdot 10^{-8}$
Hõbe	$1,59 \cdot 10^{-8}$	Polüeteen	$3 \cdot 10^{15}$
Kuld	$2,35 \cdot 10^{-8}$	Vask	$1,68 \cdot 10^{-8}$
Teflon	10^{13}	Vesi (puhas)	$1,8 \cdot 10^5$

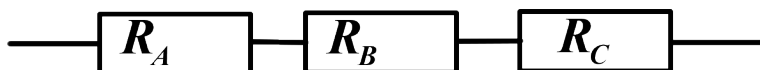
Tabel 1: Mitmesuguste materjalide eritakistusi

Ka materjali struktuuris olevad defektid mõjutavad eritakistust ja seega ka takistust ennast. Defektiks on näiteks see, kui aatomid ei paikne korrapäraselt üksteise järel reas, vaid segiläbi. Defektid tekivad näiteks materjali painutamisel. Kõige paremini ilmneb, et painutamisega saab eritakistust muuta,

etalontermomeetrite juures. Need on väga peenikesest plaatina-
traadist valmistatud takistid, mille takistus kasvab temperatuuri
tõustes. Nii saab plaatinatraadi takistuse järgi arvutada tem-
peratuuri. Juba järsk raputamine painutab etalontermomeetri
plaatinatraati nii palju, et selle eritakistus muutub ja etalonter-
momeeter hakkab valetama.

Jadaühendus

Takistid on omavahel jadamisi ühendatud, kui need
paiknevad vooluringis ühes reas üksteise järel. Kui vooluringis
pole juhtmete hargnemisi, siis on takistid ühendatud jadamisi.



Joonis 1: Takistite jadaühendus

Kuna jadaühenduse korral juhtmed ei hargne, siis lä-
bib juhtmetes liikuv vool ühtemoodi kõiki vooluringi osasid ja
voolutugevus on kõikides takistites võrdne.

$$I_A = I_B = I_C = I \quad (6)$$

Leiame, kuidas liituvad jadaühenduse korral ta-
kistused. Pinge vooluringis paiknevatel takistitel on Ohmi

seaduse (4) järgi $U_A = I R_A$; $U_B = I R_B$ jne. Liites omavahel pinged kõikidel takistitel, saame vooluallika pinge U (valem (3)). Ohmi seaduse järgi võrdub vooluallika pinge vooluringi kogutakistuse R ja voolutugevuse I korrutisega.

$$U = U_A + U_B + U_C = R I$$

Avaldame sellest valemist vooluringi kogutakistuse R .

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_A + U_B + U_C}{I} \Rightarrow R = R_A + R_B + R_C \quad (7)$$

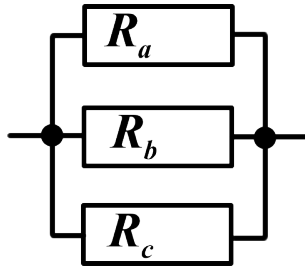
Tulemuseks saame, et vooluringi kogutakistus võrdub takistuste summaga.

Pinge käitub jadaühenduse korral sarnaselt takistusega: kui omavahel on jadamisi ühendatud mitu vooluallikat, siis nende pinged liituvad üksteisega.

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (8)$$

Rööpühendus

Takistid on ühendatud rööbiti ehk paralleelselt, kui takistid paiknevad üksteise suhtes paralleelselt. Kui takisteid ülejäänud vooluringiga ühendav juhe hargneb, siis on takistid omavahel rööbiti ühendatud.



Joonis 2: Takistite rööpühendus. Juhtme hargnemiskohtades on mustad täpid.

Rööpühenduse korral pole voolutugevused kõikides takistites reeglina võrdsed, sest vooluring hargneb. Elektrivool ei saa vooluahelast väljuda, mistõttu võrdub voolutugevuste summa kõikides rööbiti ühendatud takistites vooluringi summaarse voolutugevusega.

$$I = I_a + I_b + I_c \quad (9)$$

Rööpühenduse korral on pinge rööbiti ühendatud takistitel ühesugune.

$$U_a = U_b = U_c = U. \quad (10)$$

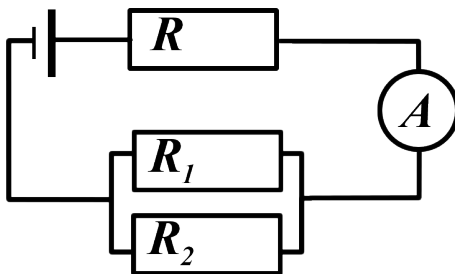
Leidmaks paralleelselt ühendatud takistite kogutakistust, jagame pinge takistitel neid läbiva voolutugevusega.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{U}{I} = \frac{U}{I_a + I_b + I_c} = \left(\frac{I_a + I_b + I_c}{U} \right)^{-1} = \\
 &= \left(\frac{I_a}{U} + \frac{I_b}{U} + \frac{I_c}{U} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \right)^{-1} \Rightarrow \\
 \frac{I}{R} &= \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \quad (11)
 \end{aligned}$$

Seega on rööbiti ühendatud takistite kogutakistuse pöördväärtus võrdne takistuste pöördväärtuste summaga.

Näidisülesanne 1

Joonisel toodud skeemis on pinge patarei klemmidel $U_p = 6 \text{ V}$. Ampermeetri näit on $I = 60 \text{ mA}$. Pinge takistil R mõõdeti $U_R = 2,5 \text{ V}$. Takistite R_1 ja R_2 kohta on teada, et $R_1 = 2R_2$. Kui suur on pinge rööbiti ühendatud takistitel ja kui suur voolutugevus läbib neid? Leia takistite takistused!



Näidisülesanne 1

Lahendus

Valemi (3) järgi võrdub pinge patarei klemmidel elektriahelas olevate jadamisi ühendatud takistite pingete summaga (kuna takistid R_1 ja R_2 on ühendatud rööbiti ja neil on võrdne pinge, siis vaatleme takisteid R_1 ja R_2 ühe takistina R_{12})

$$U_p = U_{R1} + U_{R12}$$

Pinge rööbiti ühendatud takistitel on

$$U_{R12} = U_p - U_{R1} = 6 \text{ V} - 2,5 \text{ V} = 3,5 \text{ V}.$$

Kuna takistid R_1 ja R_2 on ühendatud rööbiti, siis on neil mõlemal pinge U_{R12} . Järelikult on mõlema takisti voolutugevuse ja takistuse korrutised võrdsed (vt Ohmi seadus (4)).

$$U_1 = U_2 \Rightarrow I_{R1} R_1 = I_{R2} R_2$$

Voolutugevuste summa rööbiti ühendatud takistites võrdub ampermeetrit läbiva voolutugevusega (vt valem (9)):

$$I = I_{R1} + I_{R2}.$$

Koostame kahest viimasest valemist võrrandisüsteemi.

$$\begin{cases} I_{R1} R_1 = I_{R2} R_2 \\ I = I_{R1} + I_{R2} \end{cases}$$

Avaldame alumisest võrrandist I_{R1} ja asendame ülemisse võrrandisse:

$$(I - I_{R2}) R_1 = I_{R2} R_2$$

$$I_{R2} = I \frac{R_1}{R_2 + R_1} = I \frac{2 R_2}{R_2 + 2 R_2} = \frac{2}{3} I = 40 \text{ mA}$$

Voolutugevus läbi takisti R_1 on seega

$$I_{R1} = I - I_{R2} = 60 \text{ mA} - 40 \text{ mA} = 20 \text{ mA}.$$

Takisti R takistus on $2,5 \text{ V} / 60 \text{ mA} = 42 \Omega$. Takisti R_1 takistus on $3,5 \text{ V} / 20 \text{ mA} = 175 \Omega$ ja takisti R_2 takistus on $3,5 \text{ V} / 40 \text{ mA} = 88 \Omega$.

Elektriskeemide lihtsustamine

Keeruka vooluahela takistuse leidmisel jagatakse esmalt skeem väiksemateks osadeks, mille takistusi on lihtne leida. Seejärel arvutatakse nende osade takistused. Kui elektriskeem on takistuse leidmiseks ikka liiga keeruline, siis tuleb kogu protseduuri korrata.

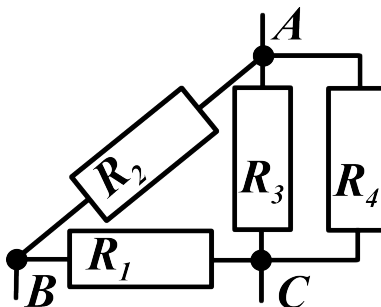
Mõnikord tuleb vooluahela takistuse arvutamiseks muuta seda hoopis keerulisemaks. Näiteks võib olla kasulik ühe takisti asendamine kahe rööbiti ühendatud takistiga. Siis peab uute takistite kogutakistus võrduma algse takisti takistusega.

Vooluahelasse võib juhtmeid ka lisada ja eemaldada.

Nii võib aga teha üksnes siis, kui juhtmes pole elektrivoolu, sest vooluta juhe on samaväärne juhtme puudumisega. Voolutugevus juhtmes on null, kui sellele pole pinget rakendatud (kuna $I = U/R$, siis $I = 0$, kui $U = 0$).

Näidisülesanne 2

Kõikide takistite takistus joonisel olevas elektriskeemis on R . Leidke takistus punktide A ja B vahel!



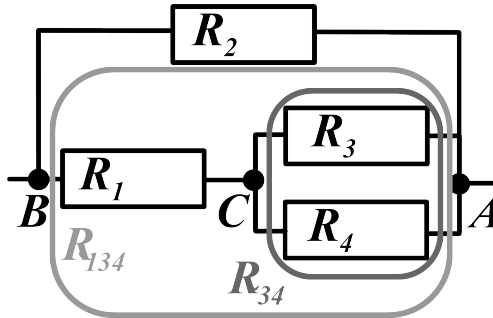
Näidisülesanne 2 : Leidke takistus punktide A ja B vahel!

Lahendus

Teisendame skeemi nii, et kõik takistid asuksid horisontaalselt, sest nii on jada ja rööpühendusi lihtsam eristada. Takistid R_3 ja R_4 on omavahel rööbiti ühendatud. Nende kogu-

takistuse R_{34} leiame valemist (11):

$$R_{34}^{-1} = R_3^{-1} + R_4^{-1} = 2 R^{-1} \text{ ehk } R_{34} = 0,5 R$$



Joonis 3: Algne skeem on ümberpaigutatud, nii et kõik takistid asuvad horisontaalselt. Takisteid R_{34} ja R_{134} ümbritsevad hallid ristkülikud.

Takistid R_1 ja R_{34} on ühendatud jadamisi. Nende kogutakistus on $R_{134} = R_1 + R_{34} = R + 0,5 R = 1,5 R$.

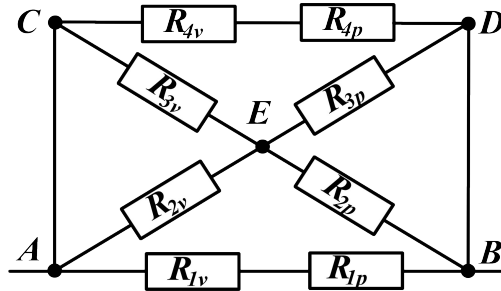
Takisti R_2 paikneb rööbiti takistiga R_{134} . Takistuse R_{AB} punktide A ja B vahel on seega:

$$R_{AB}^{-1} = R_2^{-1} + R_{134}^{-1} = R^{-1} + (1,5 R)^{-1} = \frac{5}{3} R^{-1}$$

$$R_{AB} = \frac{3}{5} R$$

Näidisülesanne 3

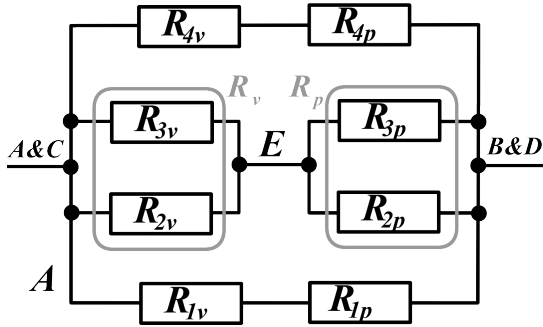
Leidke punktide A ja B vaheline takistus, kui kõigi takistite takistus on R_0 .



Näidisülesanne 3

Lahendus

Kuna punktide A ja C vahel pole takisteid, siis on ka pinge punktide A ja C vahel null (kui $R = 0$, siis ka $U = 0$, sest $U = I R$). Elektriskeemides võib punktid, mille vahel pinget pole, kokku ühendada. Sarnaselt võib kokku ühendada ka punktid B ja D . Joonistame skeemi nii ümber, et punktid A ja C ning B ja D on kokku ühendatud.



Joonis 4: Elektriskeem pärast punktide B ja D ning A ja C ühendamist. Uued takistid R_v ja R_p on ümbritsetud halli joonega.

Lihtsustamisel saadud skeemi kujutatakse joonisel 4. Algselt diagonaalidel asunud takistid R_{2v} , R_{2p} , R_{3v} ja R_{3p} moodustavad kaks ühesugust rööpühendust. Tähistame neid kui R_v ja R_p .

$$R_v^{-1} = R_{2v}^{-1} + R_{3v}^{-1} = R_0^{-1} + R_0^{-1} = 2 R_0^{-1}$$

$$R_v = R_p = R_0/2$$

Nüüd on jadamisi ühendatud järgmised takistite paarid: R_{4v} ja R_{4p} , R_v ja R_p , R_{1v} ja R_{1p} . Paaride takistused on vastavalt:

$$R_4 = R_{4v} + R_{4p} = 2 R_0;$$

$$R_{23} = R_v + R_p = 2 \cdot R_0/2 = R_0;$$

$$R_1 = R_{1v} + R_{1p} = 2 R_0.$$

Takistid R_4 , R_{23} ja R_1 on ühendatud rööbiti ning nende kogutakistuse R_{kogu} leiame valemist (11).

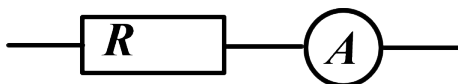
$$R_{kogu}^{-1} = R_4^{-1} + R_{23}^{-1} + R_1^{-1} = \frac{1}{2 R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{2 R_0} = \frac{2}{R_0}$$

$$R_{kogu} = \frac{R_0}{2}$$

Takistus punktide A ja B vahel on $0,5R_0$.

Ampermeeter

Ampermeeter on mõõteriist, mis mõõdab seda läbiva elektrivoolu tugevust. Ampermeetrit tähistatakse elektriskeemides sümboliga $\text{---}(\text{A})\text{---}$. Mõõtmaks voolutugevust mingis seadmes, tuleb ampermeeter ühendada sellega jadamisi. Siis läbib võrdse tugevusega elektrivool nii ampermeetrit kui ka uuritavat seadet. Sel viisil saab ampermeetriga mõõta näiteks takisteid läbiva elektrivoolu tugevust, kuigi tegelikult mõõdab



Joonis 5: Ampermeeter ühendatakse takistiga jadamisi.

ampermeeter vaid seda ennast läbiva voolu tugevust.

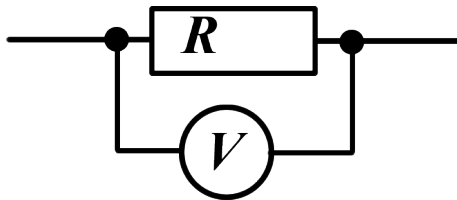
Ideaalse ampermeetri takistus on null. Kui ühendada selline ampermeeter vooluringi, siis elektriahela kogutakistus ei muutu ja ahelat läbiv voolutugevus on samasugune kui ampermeetri puudumisel. Reaalsel ampermeetril on alati olemas mingi nullist suurem takistus (sageli võib selle küll lugeda tähtsusetult väikeseks), mistõttu suureneb ampermeetri lisamisel vooluringi elektriahela kogutakistus ja voolutugevus väheneb. Reaalne ampermeeter mõõdab voolutugevust, mis on väiksem ampermeetriga elektriahelas olevast voolutugevusest.

Voltmeeter

Voltmeeter on mõõteriist, mis mõõdab pinget iseenda klemmidel. Voltmeetrit märgitakse elektriskeemides sümboliga $\text{---}(\text{V})\text{---}$. Mõõtmaks voltmeetriga pinget teistel seadmetel, tuleb voltmeeter ühendada nendega rööbiti. Siis ühtivad pinged voltmeetril ja uuritaval seadmel, sest rööpühenduse korral on pinge skeemi eri harudes ühesugune.

Ideaalse voltmeetri enda takistus on lõpmatult suur. Pinge mõõtmisel on siis voolutugevus läbi voltmeetri null ja elektrivool voltmeetrit ei läbi. Järelikult on voolutugevus ja

pinge uuritaval seadmel samasugused kui voltmeetri puudumisel. Reaalsete voltmeetrite takistused on tavaliselt väga suured, kuid mitte lõpmatud. Tüüpiline voltmeetri takistus on suurem kui $5\text{ M}\Omega$.



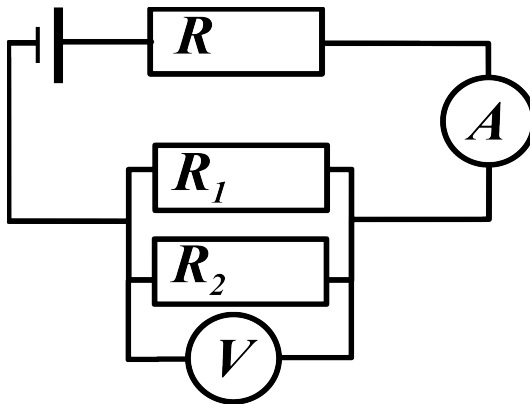
Joonis 6: Voltmeeter ühendatakse takistiga rööbiti.

Kuna reaalsed amper- ja voltmeetrid muudavad uuritava vooluringi omadusi, siis arvestatakse täpsemate mõõtmiste tegemisel mõõteseadmete mitteideaalsusega ja arvutatakse volt- ja ampermeetri näidud ümber olukorra jaoks, kus mõõteriistad on ideaalsed. Praktikas võib ampermeetri takistuse lugeda nulliks, kui see on üle saja korra väiksem vooluahela kogutakistusest. Voltmeetri takistuse võib võtta lõpmatuks, kui see on üle saja korra suurem uuritava seadme takistusest. Kuna voltmeetri takistus on väga suur ja ampermeetril väga väike, siis võib alati lugeda voltmeetri takistuse ampermeetri ta-

kistusega võrreldes lõpmatult suureks.

Näidisülesanne 4

Elektriskeem ja takistite väärtused on samasugused kui näidisülesandes 1: $R = 42\ \Omega$, $R_1 = 175\ \Omega$, $R_2 = 88\ \Omega$ (lisatud on vaid voltmeeter). Ampermeetri takistus on $R_A = 1\ \Omega$. Takistitega R_1 ja R_2 rööbiti ühendatud voltmeetri sisetakistus on $R_V = 5\ \text{k}\Omega$. Millised on mõõteriistade näidud? Pinge patarei klemmidel on $U_p = 6\ \text{V}$.



Näidisülesanne 4

Lahendus

Leiame esmalt vooluringi kogutakistuse ja selle järgi

voolutugevuse. Rööbiti on ühendatud takistid R_1 , R_2 ja voltmeeter. Leiame nende kogutakistuse R_{12V} valemist (11).

$$R_{12V}^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_V^{-1} = 0,0173 \Omega^{-1}$$

$$R_{12V} = 58 \Omega$$

Ülejäänud takistid on ühendatud jadamisi, mistõttu võrdub vooluahela kogutakistus nende takistuste summaga (valem (7)).

$$R_{kogu} = R + R_{12V} + R_A = 100,9 \Omega$$

Voolutugevus elektrialhas on $I = U_p / R_{kogu} = 59,5 \text{ mA}$, mis on ühtlasi ka ampermeetri näit.

Leiame voltmeetri pinge, korrutades voolutugevuse rööbiti ühendatud takistite kogutakistusega.

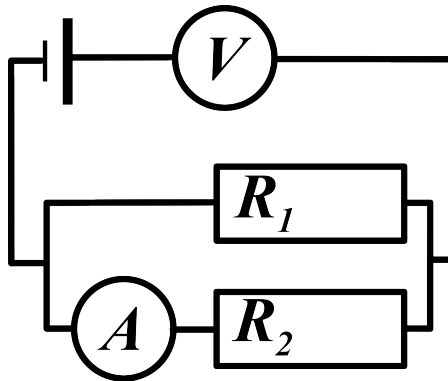
$$U_V = I \cdot R_{12V} = 3,44 \text{ V}$$

Ideaalsete mõõteriistade korral oleks ampermeetri näit 60 mA ja voltmeetri näit 3,5 V.

Selles ülesandes kasutatud voltmeetri takistus on väike, rõhutamaks mõõteriistade kasutamisest tingitud muutusi elektrialhas. Nii väikese takistusega on mõned õppeotstarbelised voltmeetrid.

Näidisülesanne 5

Leidke voltmeetri näit ja pinge patarei klemmidel!
Voltmeetri sisetakistus on $R_V = 10 \text{ k}\Omega$, ampermeetri sisetakistus on $R_A = 10 \text{ }\Omega$, $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ ja $R_2 = 7,5 \text{ k}\Omega$. Ampermeetri näit on $I_2 = 0,2 \text{ mA}$.



Näidisülesanne 5

Lahendus

Kuna ampermeetri takistus on väga väike võrreldes sellega jadamisi ühendatud takisti R_2 takistusega, võime ampermeetri takistuse lugeda nulliks. Takistil R_2 on pinge $U_{R_2} = I_2 R_2 = 1,5 \text{ V}$. Samasugune pinge on ka takistiga R_2 rööbiti ühendatud takistil R_1 . Voolutugevus takistis R_1 on järelikult

$I_1 = U_{R2} / R_1 = 0,3 \text{ mA}$. Voolutugevuse kahes rööbiti ühendatud harus kokku võrdub patareid ja voltmeetrit läbiva voolutugevusega. Neid läbib vool $I = I_1 + I_2 = 0,5 \text{ mA}$.

Voltmeeter mõõdab pinget iseendal. Seega tuleb voltmeetri näidu leidmiseks arvutada Ohmi seaduse (4) järgi pinget voltmeetril.

$$U_V = I R_V = 5 \text{ V}$$

Voltmeetri näit on 5 V.

Pinge patarei klemmidel võrdub pingete summaga jadamisi ühendatud takisteil (valem (8)). Seega on pinge patarei klemmidel $U_V + U_{R2} = 6,5 \text{ V}$.

Oommeeter

Oommeeter mõõdab elektritakistust. Oommeeter ühendatakse uuritava seadmega jadamisi. Oommeeter ei mõõda takistust otse, vaid arvutab selle voolutugevuse ja pinget põhjal. Nimelt rakendab oommeeter uuritavale takistile mingi pinget, mõõdab seejärel takistit läbiva voolutugevuse ja arvutab Ohmi seadusest (4) takistuse.

Oommeetriga ei saa mõõta patareide ja teiste pinget

tekitavate seadmete takistust. Kui oommeeter ühendatakse patareiga jadamisi, siis liituvad oommeetri ja patarei pinged. Voolutugevus patareis võrdub siis pingete summa ja patarei takistuse suhtega. See pole aga võrdne oommeetri tekitatud pinge ja patarei takistuse jagatisega, mistõttu ongi oommeetri näit vale.

Elektrivoolu töö ja võimsus

Elektrivool teeb mingis aparaadis seda enam tööd, mida suurem voolutugevus masinat läbib ja mida suurem on pinge seadme klemmidel. Elektrivoolu töö arvutatakse valemist

$$A = U I t . \quad (12)$$

(siin on t aeg, mille vältel tehakse töö A). Kui asendada valemisse (12) voolutugevus Ohmi seadusest (4), siis saame töö valemiks

$$A = U \left(\frac{U}{R} \right) t = \frac{U^2}{R} t . \quad (13)$$

Voolutugevuse asemel võime Ohmi seadusest (4) valemisse (12) asendada ka pinge. Siis arvutatakse voolu töö valemiga

$$A = (I R) I t = I^2 R t . \quad (14)$$

Valemites (13) ja (14) olev takistus R pole mitte tööd tegeva aparaadi takistus, vaid vooluringi kogutakistus (voolutugevuse elektriskeemis sõltub ju kõikidest skeemi osadest, mitte ainult meie heaks töötavast seadmest).

Leidmaks elektrivoolu võimsust, jagame voolu poolt tehtud töö selle tegemiseks kulunud ajaga. Elektrivoolu võimsuse saame leida valemitega:

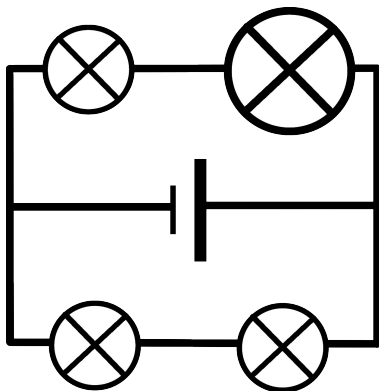
$$P = \frac{U I t}{t} = U I = I^2 R = U^2 / R \quad (15)$$

Nagu mehaanikas, nii on ka elektris olemas kasulik ehk mehaaniline töö. Kasulik töö on kehade liigutamiseks kulutatud energia. Kõik seadmed tarbivad alati rohkem energiat, kui kulub kasuliku töö tegemiseks. Masina poolt tarvitatud energia ja kasuliku töö vahe muutub soojuseks. Valemitega (12) kuni (14) saab leida nii elektrivoolu poolt tehtud kasulikku tööd, kui ka soojuseks muutunud energiahulka, kuid see, kas töö oli kasulik või mitte, tuleb ise välja mõelda.

Näidisülesanne 6

Jukul on öövalgusti, milles on neli pirni ühendatud paarikaupa rööbiti. Iga pirni takistus on $R=5\ \Omega$ ja pirnid töö-

tavad võimsusega $P = 5 \text{ W}$. Üks pirn põles läbi. Juku asendas selle pirniga, mille takistus oli $R_2 = 6 \Omega$ ja nimipinge oli $U_2 = 5 \text{ V}$. Kui suure võimsusega põlevad nüüd pirnid?



Näidisülesanne 6: Juku öövalgusti elektriskeem.

Suurema takistusega pirn on ülemise haru parempoolne pirn.

Lahendus

Leiame esmalt pinge ühel pirnil enne pirni väljavahetamist. Pinge arvutame võimsuse kaudu valemist (15).

$$P = \frac{U^2}{R} \rightarrow U = \sqrt{PR} = 5 \text{ V}$$

Kuna elektriskeemi ühes harus on kaks pirni, siis on pinge ühes

harus kaks korda suurem ehk $U_{haru} = 10 \text{ V}$. Kuna rööpühenduse korral on pinged kõigis rööbiti ühendatud harudes võrdsed, siis on ka pinge vooluallika klemmidel U_{haru} .

Pärast pirni väljavahetamist suurenes ülemise haru takistus, kuid alumise haru takistus ei muutunud. Mõlema haru pinge võrdub endiselt pingega vooluallika klemmidel. Kuna alumise haru takistus ja pinge ei muutunud, siis ka voolutugevus ning pirnide võimsus ei muutunud. Alumises harus põlevad mõlemad pirnid võimsusega 5 W .

Leiame voolutugevuse ülemises harus. Ülemise haru kogutakistus on $R_{\bar{u}} = R + R_2 = 11 \Omega$ ja pinge on $U_{haru} = 10 \text{ V}$. Ülemist haru läbib vool tugevusega $I = U_{haru} / R_{\bar{u}} = 0,91 \text{ A}$. Lamp, mille takistus on 5Ω , põleb nüüd võimsusega $P_{5\Omega} = I^2 R = 4,1 \text{ W}$ (algne võimsus oli 5 W). Lamp takistusega 6Ω põleb võimsusega $P_{6\Omega} = I^2 R_2 = 5,0 \text{ W}$. Selle lambi nimivõimsus oli $P_{6\Omega}^{nimi} = U_2^2 / R_2 = 4,2 \text{ W}$. Järelikult põleb viieoomine pirn alavõimusega ja kuueoomine pirn ülevõimsusega.