

G. HACKER

ELEKTROTEHNIKA ALGÕPETUS

„RAHVAÜLIKOOL“
TALLINNA



Elektrotehnika algõpetus.

Elektrotehnika algõpetus

G. Hacker

Elektri-insener

(E. T. S. Tallinna Tehnikumi lektor)



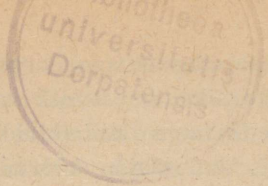
«Rahvaülikool»
Tallinna

Sekv. J. & A. Paalmanni trükikoda,
Tallinnas.

A 3337.

1568

i 14750909



I. ELEKTRIVOOLOU SEADUSED.

1. Elektrivool.

Kui elektri hõõglamp lööb põlema, siis ütleme, et temas voolab elektrivool; käib elektrimootor, siis teame, et tema mähes voolab elektrivool.

Elekter, millega meil siin tegemist, on oma loomu poolest sarnane staatilise ehk hõõrumise elektriga.

Esimesena tähendas greeklane Thales Miletos'i linnast (sünd. 640. a. e. Kr.), et hõõrutud merevaik tõmbab kerged ained oma külge. Greeklased nimetasid merevaiku elektroomiks ja olid arvamisel, et hõõrutud merevaik samasugune magneet on kui see magneediraud, mis nad leidsid Magneesia linna lähedal.

Esimene, kes põhjaliku uurimise järel kindlat vahet tegema hakkas magneedikivi ja hõõrutud merevaigu vahel, oli William Gilbert (sünd. 1540. a. Colchesteris). Oma raamatus

«De Magnete magnetisque corporibus» kirjutab ta, et mitte ükski merevaik vaid ka mitmed teised ained, nagu kalliskivid, klaas, vaik, väävel jne., kui neid hõõruda riidetükiga, tõmbavad oma külge ained, nagu paber, õlg jm. Gilbert oli esimene, kes sõna elekter (vis elektrica) tarvitas ja ütles: hõõrutud klaas või väävel on elektriline.

Kui kaks elektrilist pulka, üks klaasist ja teine vaigust, üksteisele lähendada, siis jookseb ühest otsast teisse prõgisedes hele säde, ja ühes sellega on mõlemad pulgad kaotanud omaduse — kergeid aineid oma külge tõmmata. Sellest peab nüüd järeldama, et klaasi ja vaigu elektriline seisukord ei olnud ühevääriline. Neil oli tung ühineda, et selle läbi kõrvaldada nende seisukorras peituvat loomuvastast olekut. See tasandumine elektrilise klaasi ja vaigu vahel sünnib sarnasel viisil, kui tasandumine soojuse ja külma ehk kõrgema ja madalama rõhumise vahel.

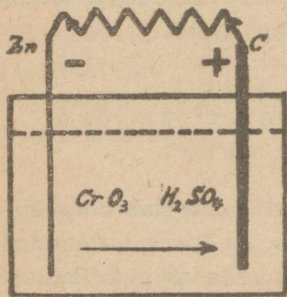
Massi voolamine, missugusse füüsikaalsesse liiki ta ka ei kuuluks, on loomulikult teatud liikumisesihiga seotud. Nii kui vesi kõrgemast tasapinnast madalamasse voolab ehk soojus meie ettekujutuse järel soojast kehast külma kehasse voolab, nii voolab ka elekter kõrgemast ehk positiivsest tasapinnast madalamasse ehk negatiivsesse tasapinda. See tasandumine

kahe isesuguste elektriseisukordade vahel nimetakse elektrivooluks. Siinjuures on täiesti üks kõik, kas see tasandumine sünnib elektrilemendi, dünaamomasina näpitse vahel ehk kahe staatiliselt laetud isenimeliste, see on positiivse ja negatiivse, metallkuulide vahel. Vahe seisab ainult selles, et elektrihulk, mis elektrilisest klaasist sädeme näol vabanes, väga väike on võrdlemisi selle elektrihulgaga, mida annab üks element lühikese aja jooksul. Sealjuures on aga pinge, mille peale meie esialgu kui tasandumise tungi peale vaatame, hõõrumise elektril palju suurem kui elemendil. Seda näeb sellest, et hõõrumiselektri säde kergesti õhust läbi lööb. Peale selle on hõõrumiselektri isenimeliste elektrihulkade tasandumine äkiline, elemendil aga ühetasane, kestev.

2. Elektromootorline jõud ja tema üksus.

Me nägime, et elektrivool voolab kõrgemast tasapinnast madalamasse ja et see tasapindade vahe sünnitakse kas hõõrumise läbi ehk dünaamomasinas või elemendis. Nii siis on vooluallikad nabad isesugustes seisukordades ja nende seisukordade relatiivne vahe on voolu tekkimise põhjus. Sellepärast ütleme, vool tekitab astmevahe tõttu.

Kahe metallkuuli peale kogutud isenime-
 lised elektrihulgad tasandavad end äkki ja
 selle tasandamisega kustub elektri säde ja
 ühes sellega elektrivool. Niisuguseid voolu-
 allikaid ei või aga tehnikas tarvitada, sest
 voolutarvitajad hõõglambid, looklambid ja
 elektrimootorid nõuavad kestvrat voolu. Kestev
 vool sünnitakse dünaamomasinates, kus voolu-
 juhti magneetijõu joontes liigutakse ehk gal-
 vaanilises elementis, mis koos seisab kahest
 keemiliselt isesugustest plaatidest teatud lahus.
 Niisugune galvani element on näituseks
 kroomelement, mille plaatideks tsink (Zn) ja
 süsi (C) ja lahuseks kroomhape (CrO_3) ja väävelhape
 ($\text{N}_2 \text{SO}_4$) (joon. 1). Tsingi ja söe plaatidele,



Joon. 1.

mida edaspidi nime-
 tame elemendi ehk
 vooluallikanabadeks,
 on kogunud isenime-
 lised elektrid, millest
 söeplaat kõrgem (po-
 sitiivne) ja tsinkplaat
 madalam (negatiivne)
 aste on. Söe ja tsink-
 näpitse A ja B va-
 hel on astmevahe,
 ja kui A ja B tra-

diga ühendakse, siis järgneb astmete
 tasandumine ehk elektrivool, sealjuures

voolab positiivne elekter traadi kaudu söest tsinki. Tasandumise peale vaatamata on see vool nüüd kestev, sest kui me A ja B ühendame väikese hõõglambiga, siis näeme, et see põleb kauemat aega. Sellepärast peame oletama, et elekter, mis väljaspool elementi voolab söest tsinki, elemendis jälle voolab vedeliku läbi tsingist söesse tagasi, tähendab tagasi tuuakse madalamast astmest kõrgema astme peale ja sellega alal hoitakse astmete vahe. Umbes sarnasel viisil aurb ära päikese soojuse läbi ka vesi, mis mäest merde voolab, ja tõuseb tagasi kõrgele astmele. Siin on päikese kiirte soojus see jõud, mis alal hoiab tasapindade kõrguste vahe. Et meie element kestvut voolu sünnitada võiks, on vaja jõudu, mis elemendi plaatide astmete vahet võiks alal hoida. Seda jõudu nimetame elektromootorliseks jõuks (emj). Elektromootorlist jõudu võiks veel võrrelda pumbaga, mis tõstab vett madalamast pinnast kõrgemasse; elektromootorlise jõu mõetmiseks ehk mitme emj võrdlemiseks on meil vaja mõedu üksust. Emj mõedetakse vooluga, mida ta sünnitab. Kui näituseks ühendada toruga kaks veenõu, millest üks kõrgem kui teine, siis on ajaüksuse jooksul kõrgemast nõust läbi toru madalamasse voolav veehulk proportsionaalne rõhumisele ehk tasapindade kõrguste

vahele. Mida suurem on see veepindade kõrguste vahe, seda suurem on veehulk, mis voolab läbi veetoru 1 sekundis. Nii on ka lugu elektrivooluga. Kui me ühe ja sellesama voolutarvitaja paneme järgemööda mitme isesuguste emj-dega vooluallikate külge, siis näeme, et suurema emj-ga vooluallikas saadab voolutarvitajast läbi suurema voolu kui samasugune vähema emj-ga. Suurem ehk vähem vool voolutarvitajas on meil suurema ehk vähema elektri rõhumise mõelduks s. o. emj.

Elemendi emj on pea muutumata suurus ja ei olene elemendi suurusest. Selles mõttes võime võrrelda elementi kõrgel seisva veenõuga. Viimase ülesseadmisega on kõrgus veepinna ja tarvitaja koha vahel tehtud kindlaks, ja hoolimata sellest kas veenõu suur või väike, kui ta aga ikka täis on, oleneb väljavoolav veehulk ainult sellest, kas tarvitaja avab ühe või mitu veekraani. Samuti ei ole alaline suurus mitte elektrivool, vaid elemendi emj. Voolu suurus oleneb meie vabast tahtmisest, nimelt, me avame temale kord halvema, kord parema tee, tähendab lülitame vooluallikaga suurema ehk vähema välise takistuse.

Meil on nüüd vaba valik mingisugust emj üksuseks valida ja sellega võrrelda.

kõiki teisi. Praktikas tarvitata üksus on poole vähem kui tuntud kroomelemendi emj ja nimetakse 1 volt.

3. Elektrivoolu hulk ja elektrivoolu tugevus.

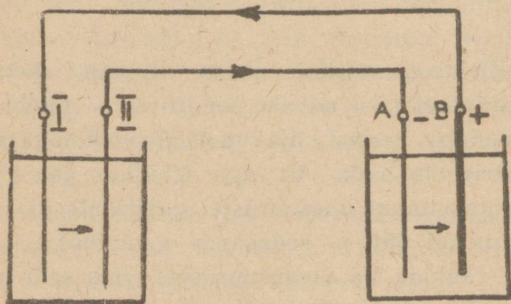
Elektromootorline jõud liigutab elektrit positiivsest (+) nabast negatiivse (—) nabani, tähendab: teatud aja jooksul voolab teatud elektrivoolu hulk. Et aga tehnikas pea kõik voolutarvitajad ühesuuruste ajajärkude jooksul tarvitavad üht ja sedasama vooluhulka, siis võib rääkida ka voolusuurusest, mis selle aja jooksul peab olema jäädav.

Need mõisted — vooluhulk ja voolusuurus — seisavad lähedas ühenduses, ja nimelt:

Vooluhulk on tegur voolu ja aja vahel ja voolusuurus on sekundi jooksul voolav vooluhulk.

Et võimalik oleks mõeta voolusuurust ja mitmesuguseid voole omavahel võrrelda, on meil vaja mõetu, s. o. voolusuuruse üksust. Voolumõju suurus oleneb aga voolu suurusest, sellepärast peame vooluüksuse kindlaks määramiseks tundma õppima tema tegevust. Selleks võtame kaks täiesti ühekaalulist plaatina-

plaati ja paneme nad hõbelahuga täidetud klaaspurki. Nüüd võtame ja ühendame mõlemad plaatinaplaadid kahe traadi abil mõneks ajaks tuntud kroomelemendi näpitsuga (joon. 2), katkestame siis vooluringi ja võtame



Joon. 2.

plaatinaplaadid nõust välja. Värvi ja kaalu poolest on plaat I nii jäänud kui ta oli enne katset. Plaat II on aga oma värvi muutnud ja tumehalliks läinud, ja kui teda kaalume, siis leiame, et ta on läinud ka raskemaks. Sellest võime järeldada, et elektrivool, välja tulles kroomelemendi B nabast, läks platinaplaati I, sealt läbi hõbelahu plaadi II juure minnes, lahutas vedelikust hõbeda, võttis kaasa ja sidus plaadi II külge. See hõbeda hulk, mida elektrivool hõbelahust lahutab, on

proportsionaalne ajale ja voolu suurusele, tähendab: on vool kaks korda nii suur kui enne, siis lahutab ta sama aja jooksul kaks korda rohkem hõbedat lahust; laseme sedasama voolu voolata kaks korda pikemat aega kui enne, siis lahutab ta kaks korda rohkem hõbedat kui enne.

Seadusandliselt on elektrivoolu üksuseks määratud see elektri-vool, mis 1 sekundi jooksul lahutab hõbenitraadi lahust 1,118 mg hõbedat. Seda vooluüksust nimetakse 1 ampeer.

Üsna väikeseid voole mõedetakse milli-ampeerides:

$$1 \text{ milliampeer} = \frac{1 \text{ ampeer}}{1000}$$

Voolusuuruse üksusega on ühtlasi ka vooluhulga üksus äramääratud, sest tema on voolu ja aja kasvatis.

Vooluhulga üksus nimetakse kulomb:

$$1 \text{ kulomb} = 1 \text{ ampeer} \times 1 \text{ sekund.}$$

Tarvitab hõõglamp 0,5 ampeeri, siis voolab 1 sekundis 0,5 kulombi lambiniidist läbi. Ühe tunni jooksul voolab sellesama lambiniidist läbi

$$0,5 \cdot 60 \cdot 60 = 1800 \text{ kulombi.}$$

Tähendavad :

I = voolusuurus ampeerides,

t = aeg sekundides,

Q = vooluhulk kulombides,

siis on $Q = I \cdot t \dots\dots\dots 1.$

ehk $I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots 2.$

Näitused :

1. Mitu milligrammi hõbedat lahutavad 8 ampeeri 2 tunni jooksul, ja kui suur on tarvisminev vooluhulk?

Lahutud hõbeda hulk $G = I \cdot t \cdot 1,118 =$
 $= 8 \cdot 7200 \cdot 1,118 = 64396,8 \text{ mg.}$

Vooluhulk $Q = I \cdot t = 8 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 60 =$
 $= 8 \cdot 7200 = 57600 \text{ kulombi.}$

2. Kui suur vooluhulk võib 20 g hõbedat ära lahutada, ja kui suur oli vool, kui lahutamise kestis 1,5 tundi?

$20 \text{ g} = 20000 \text{ mg}; 1,5 \text{ tundi} = 5400 \text{ sek.}$

$Q = \frac{20000}{1,118} = 18783 \text{ kulombi.}$

$I = \frac{Q}{t} = \frac{18783}{5400} = 3,482 \text{ ampeeri.}$

3. Kui palju vaske lahutavad 15 ampeeri 1,5 tunni jooksul, kui 1 amp. 1 sek. jooksul lahutab 0,328 mg vaske?

Lahutud vasehulk $G = 15 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,328 =$
 $= 26568 \text{ mg} = 26,568 \text{ g.}$

4. Mis aja jooksul lahutavad 32,5 amp. 35 g niklit, kui 1 amp. lahutab 1 sek. 0,304 mg niklit?

$$32,5 \cdot 0,304 \cdot t = 35000$$

$$t = \frac{35000}{32,5 \cdot 0,304} = 3543 \text{ sek.} = 59 \text{ min. } 3 \text{ sek.}$$

4. Oomi seadus ja elektritakistuse üksus.

Kõigil liikuvatel massidel on proportsionaalsus liikumist toime paneva rõhumise, tee, takistuse ja sekundis voolava kogu vahel.

Selle nähtuse alla paenutavad endid ka elektrivoolud.

Me nägime, et voolujuhis, mida järgemööda lülitasime isesuguste emj-dega, ka vool iga kord oli isesuurune, ja ütlesime, et elektrivool on emj-le proportsionaalne.

Kui me nüüd aga ühe ja sellesama elemendiga lülitame järgemööda mitmesuguseid voolujuhte, mille pikkus, läbilõige ja materjal isesugused, siis näeme, et ka vool iga kord isesuurune on, ja järeldame sellest, et iga voolujuht avaldab elektrivoolule isesugust takistust. On voolujuhi takistus suur, siis on vool väike ja ümberpöörduvalt laseb väikese takistusega voolujuht suurema voolu läbi. Seega jõuame järgmisele otsusele:

Voolusuurus on periproportsionaalne elektromootorlise jõule ja vastupidi proportsionaalne takistusele.

Tähendavad:

E = elektromootorline jõud voltides,

I = elektrivool ampeerides,

R = vooluringi takistus,

$$\text{siis on } I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots 3.$$

$$\text{ehk } E = I \cdot R, \text{ ehk } R = \frac{E}{I}.$$

Seda arvlauset nimetakse oomi seaduseks. Üleminek ühtivuse peale proportsionaalsuse tegurita oli võimalik, sest kui me I ja E asemele paneme nende meile tuntud üksused, voolule 1 amp. ja emj-le 1 volt, siis saame:

$$1 = \frac{1}{R}$$

$$\text{ehk } R = 1.$$

Tähendab, takistuse üksus on sellel takistusel, milles emj 1 volt sünnitab elektrivoolu 1 amp. See takistuseüksus nimetakse 1 oom (1 Ω).

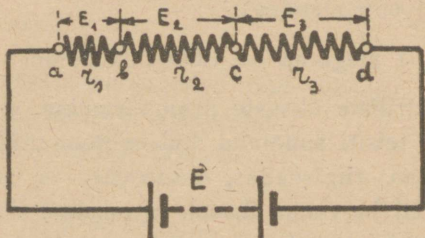
Katse abil on kindlaks tehtud, et 106,3 sm pikk ja 1 mm² läbilõikes elavhõbeda niidi takistus on 1 oom. Väga suuri takistusi, mis isolatsioonil mõetmisel tihti ette tuleb, mõeldakse megoomides:

$$1 \text{ megoom} = 1.000.000 \text{ oomi.}$$

Elektriliste üksuste äramääramine seaduse teel on teisiti sündinud kui eelpool tähendud. Saksamaa riigiseadus, näituseks, ei valinud mitte emj ja voolu üksusi, et nendest siis tuleb takistust. Enne valiti vooluüksus, mis nii suur on, et ta 1,118 mg hõbedat 1 sek. ära lahutada võib, ja takistuse üksuseks 106,3 sm pikk elavhõbeda niit, mille läbilõige 1 mm². Sellest järelitati siis, et 1 volt on see emj, mis 1 oomi suuruses takistuses 1 amp. voolu sünnitab.

Oomi seadus ei sisalda eneses mitte üksi tervet vooluühenduse ringi, tema on maksev ka vooluringi üksikute osade kohta. Näituseks võib takistuse otsade vahel oleva «pinge» tema abil ära määrata. Meie jõuame nüüd ühe teise emj avaldusele, mida vooluringi osade ja võrguga ühendud aparaatide kohta tarvitakse. Võrgu ehk elektrivoolu tarvivate aparaatide emj tarvidust nimetame pingeks, emj tunneme aga kui voolu tekitajat. Pinget tähendame edaspidi tähega e.

Joonistuses 3 olgu vooluallika emj 60 volti. Need 60 volti tarvitakse ära vooluläbikäimisega takistustest a—b—c—d kolmes astmes: 18, 25 ja 17 volti. Takistus R, mis 30 oomi



Joonistus 3.

suur, seisab koos kolmest osast: $r_1 = 9$ oomi, $r_2 = 12,5$ oomi ja $r_3 = 8,5$ oomi. Kõigist osadest voolab ühesugune vool läbi, nimelt

$$J = \frac{E}{R} = \frac{60}{30} = 2 \text{ amp.}$$

Punktide a ja b vahel

mõjub pinge, mis $e_1 = J \cdot r_1 = 2 \cdot 9 = 18$ volti, b ja c vahel pinge $e_2 = J \cdot r_2 = 2 \cdot 12,5 = 25$ volti ja c ja d vahel pinge $e_3 = J \cdot r_3 = 2 \cdot 8,5 = 17$ volti.

$$60 \text{ volti} = 18 \text{ v} + 25 \text{ v} + 17 \text{ v.}$$

Näitused.

1. Elemendi emj on 1,4 volti, vooluringi takistus 0,9 oomi. Kui suur on vool?

$$E = 1,4 \text{ volti}; \quad R = 0,9 \text{ oomi};$$

$$J = \frac{E}{R} = \frac{1,4}{0,9} = 1,55 \text{ amp.}$$

2. Dünaamomasina ankru takistust proovitakse, proovimise vool on 12 amp, voltmõõter näitab 2,1 volti. Kui suur on ankru takistus?

$$E = 2,1 \text{ volti}; \quad J = 12 \text{ amp.}$$

$$R = \frac{E}{J} = \frac{2,1}{12} = 0,175 \text{ oomi.}$$

5. Takistuse ärarippuvus voolujuhi materjalist, läbilõikest, pikkusest ja temperatuurist.

Veehulk, mis voolab sekundi jooksul kõrgemast tasapinnast alamasse, ei olene mitte üksi nende veepindade vahe kõrgusest, vaid ka veetoru läbimõedust, milles vesi voolab, ja tema seinte omadustest: kas toru jäme või peenike, kas ta seinad sirged ja siledad või kõverad ja karedad on. Nii ei olene elektrivoolu suurus mitte üksi emj-st, vaid ka tema teest, see on traadi pikkusest ja läbilõikest. Kui alalise emj-ga vooluallikat järgimööda mitme voolujuhiga ühendame, mille pikkused ja läbilõiked isesugused, siis näeme, et ka voolusuurus iga kord on isesugune, tähendab, iga voolujuht avaldab elektrivoolule isesugust takistust.

See takistus on seda suurem, mida pikem voolujuht on, ja seda väikesem, mida suurem voolujuhi läbilõige, see on:

takistus on periproportsionaalne voolujuhi pikkusele ja vastu-

pidi proportsionaalne tema läbi-
lõikele

$$r \equiv \frac{1}{q}$$

$$r = \text{voolujuhi takistus,}$$

1 = voolujuhi pikkus meetrites,

q — voolujuhi läbilõige mm^2 .

Tahame ühtivuse peale üle minna ja r oomides saada, siis peame sellele lausele veel ühe teguri juure lisama, mis näitaks, kui suur on materjali takistus oomides, kui tema pikkus näituseks 1 meeter ja tema läbilõige 1 mm^2 on. On see takistus c oomi, siis on traadi takistus, mille läbilõige mitte 1 mm^2 , vaid $q \text{ mm}^2$ on, q korda vähem, see on

$$\frac{c}{q},$$

ja kui see traat mitte 1 m, vaid 1 m pikk on, siis on tema takistus ka 1 korda suurem. Nii saame siis

$r = c. \frac{1}{q}$ oomi 4

Üksikute ainete takistused on aga väga isesugused. Nii on, näituseks, elavhõbeda niidi takistus, mille pikkus 106,3 sm ja läbilõige 1 mm², suurem kui sama suure vasktraadi takistus.

Kui nüüd iga tehnikas tarvitava materjali jaoks takistuse kindlaks teeme, eelpool tähen-

dud mõetudega, siis saame võrdlusnumbri, mis näitab, kui mitu korda mõedetava materjali takistus suurem või vähem on elavahõbeda niidist. Et väljaarvamist lihtsamaks teha, ei ole võrdlusnumber mitte 106,3 sm pikkusele, vaid $100 \text{ sm} = 1 \text{ m}$ pikkusele kindlaks tehtud. See võrdlusnumber c nimetakse eritakistuseks. Elavhõbeda paela eritakistus

$$c = \frac{1}{1,063} = 0,9407 \quad (0^\circ \text{ C temperat.})$$

$$\text{Mõiste voolujuhtivus} = \frac{1}{\text{takistus}},$$

$$\text{erivoolujuhtivus} = \rho = \frac{1}{c}.$$

Eritakistus on materjali füüsikaline omadus, niisama kui erikaal, erisoojus jne., ta ei ole aga jäädav ja oleneb temperatuurist. Metallidel kasvab eritakistus soojusega, söel ja vedelikkudel kahaneb ta.

Eritakistuse kasvamine ja kahanemine soojuse tõttu sünnib proportsionaalselt soojusega ja võib teda teguriga äratähendada.

Soojusetegur näitab, kui palju suureneb takistus 1 oom 1 kraadi temperatuuri tõusmisega.

On α takistuse juurekasv 1 oomile 1 kraadi temperatuuri tõusmise juures, siis on takistusekasvamine r oomile ja t kraadi temperatuuri kasvamise juures

$$r. \alpha. t.$$

Üleüldine takistus on r. a. t. võrra suurem:

$$r_t = r + r. a. t = r (1 + a. t)$$

ehk

$$r_t = c. \frac{1}{q} (1 + a. t) 5$$

Tabelis - I, mis Dr. Streckeri järele kokku seatud, on tehnikas kõige tarvilikumate ainete jaoks eritakistus c, erivoolujuhtivus p ja temperatuuri tegur a üles tähendud.

Näitused.

1. Kui suur on vasktraadi takistus, mille pikkus $l = 40$ m ja läbilõige $q = 2$ mm²?

$$r = c. \frac{1}{q} = 0,0175. \frac{40}{2} = 0,35 \text{ oomi.}$$

2. Raudtraadi takistus, mille läbilõige 6 mm², on 0,557 oomi. Kui pikk on traat, kui eritakistus $c = 0,105$?

$$l = \frac{r. q}{c} = \frac{0,557. 6}{0,105} = 31,8 \text{ m.}$$

3. Pooli takistus, millel 580 keeru, on 15 oomi suur, keskmine keeru pikkus on 0,6 m. Kui suur on traadi läbilõige, kui tema eritakistus $c = 0,0175$?

$$q = c. \frac{1}{r} = 0,0175. \frac{580. 0,6}{15} = 0,406 \text{ mm}^2.$$

4. Kui suur on elavhõbeda niidi takistus, mille pikkus 0,5 m ja läbilõige 15 mm²?

$$r = \frac{c. l}{q} = 0,954. \frac{0,5}{15} = 0,032 \text{ oomi.}$$

5. Kui suur on vasktraadist pooli takistus 50°C juures, kui traadi pikkus 200 m ja läbilõige $1,5\text{ mm}^2$ on?

Temperatuuri kasvamine $= 50^{\circ} - 15^{\circ} = 35^{\circ}\text{C} = t$.

$$r_t = c \cdot \frac{l}{q} \cdot (1 + \alpha \cdot t) = 0,0175 \cdot \frac{200}{1,5} (1 + 0,0037 \cdot 35) = 2,66 \text{ oomi.}$$

6. Pooli takistus külmas olekus (15°C) on 3,5 oomi, kauema töö järele tõusis ta 4,2 oomi peale. Kui suur oli mõedetud temperatuur?

$$r_t = r (1 + \alpha t)$$

$$t = \frac{r_t - r}{r \cdot \alpha} = \frac{4,2 - 3,5}{3,5 \cdot 0,0037} = 50^{\circ}\text{C}.$$

Termomeeter näitas $50 + 15 = 65^{\circ}\text{C}$.

6. Näpitsepinge ja pingekaotus.

Oletame, et kahe punkti A ja B vahel pingeastme vahe on 1,2 volti, mida sellel kõrgusel hoitakse emj abil. Kui voolujuht punkti A-ga ühendada, siis seisab iga koht voolujuhis punkti A-ga ühel astmel. Ühendame aga voolujuhi vaba otsa punktiga B, siis tasandavad ennast A ja B ja voolujuhist voolab vool A-st B-sse ja mida ligemale (A-st tulles) B-le jõuame, seda vähemaks läheb astmevahe, vastavast seisukohast B-ni mõedetud. Oli tema A ja B vahel 1,2 volti, siis on tema voolujuhi-

Tabel I.

Aine	Eritakistus (15° C) c	Erivoolujuhtivus ρ	Temperatuuritegur α
Alumiinium	0,03—0,05	33,4—20	+ 0,0039
Alumiiniumi pronks .	0,12	8,34	+ 0,001
Elavhõbe	0,954	1,06	+ 0,00091
Hõbe	0,016	62,5	+ 0,0036
Kuld	0,2	5	+ 0,0038
Nikkel	0,10	10	+ 0,0042
Nikkeliin	0,436	2,3	+ 0,000076
Osmium	0,251	4	
Plaatina	0,12—0,16	8,34—6,25	+ 0,0024

Tabel I. (järg).

A i n e	Eritakistus (15° C) c	Erivoolujuhti- vus ρ	Temperaatuuri tegur α
Raud	0,10—0,12	10—8,34	+ 0,0045
Süsi	100—1000	0,01—0,001	— 0,003 kuni — 0,0008
Tantaal	0,165	6,06	+ 0,003
Tina	0,22	4,55	+ 0,0038
Teras	0,10—0,25	10—4	+ 0,005
Tsink	0,06	16,7	+ 0,0042
Vask	0,0175	57	+ 0,0037
Vismut.	1,2	0,834	+ 0,0037

- i = elektrivool ampeerides,
 r_s = vooluallika sisemine takistus oomides,
 E = vooluallika emj voltides,
 e = näpitsepinge voltides,
 e_r = pingekaotus voltides.

N ä i t u s e d.

1. Elemendi emj $E = 1,06$ v, tema sisemine takistus $r_s = 2,4$ oomi. Kui suur on vool i ja näpitsepinge e , kui element on ühendatud välise takistusega $r_v = 18,8$ oomi?

$$\text{Üleüldine takistus } r = r_s + r_v = 2,4 + 18,8 = 21,2 \text{ oomi.}$$

$$i = \frac{E}{r} = \frac{1,06}{21,2} = 0,05 \text{ amp.}$$

Pingelangemine elemendi sees

$$e_r = i \cdot r_s = 0,05 \cdot 2,4 = 0,12 \text{ v}$$

$$e = E - e_r = 1,06 - 0,12 = 0,94 \text{ v.}$$

2. Elemendi emj $E = 1,45$ volti, tema sisemine takistus $r_s = 2,9$ oomi. Kui suur on näpitsepinge e , kui vool $i = 0,2$ amp?

$$e = E - i \cdot r_s = 1,45 - 0,2 \cdot 2,9 = 0,87 \text{ volti}$$

On i nii suur, et $i \cdot r_s = E$, siis on $e = 0$, see tähendab, väline takistus on väga väike ja element on lühidalt ühendatud.

3. Kui suur on pingekaotus vasktraadist õhuvõrgus, kui traadi läbilõige $q = 50 \text{ mm}^2$, võrgu pikkus 400 m ja võrgu $i = 60$ amp?

Üleüldine traadi pikkus (vooluringi pikkus)

$$l = 2 \cdot 400 = 800 \text{ m.}$$

Võrgu takistus

$$r = c. \frac{1}{q} = 0,0175. \frac{800}{50} = 0,28 \text{ oomi.}$$

Pingekaotus

$$e_r = i. r = 60. 0,28 = 16,8 \text{ volti}$$

4. Kui suur on hõõglambi takistus, mis 0,8 amp-ga põleb ja 65 volti sealjuures hävitab?

$$r = \frac{e}{i} = \frac{65}{0,8} = 81,25 \text{ oomi.}$$

5. Tarvitaja on 220 v elektriijaamaga ühendatud ja tarvitab 150 a. Vooluvõrgu takistus $r = 0,1$ oomi. Kui suur on pinge tarvitaja juures?

$$e = 220 - 150. 0,1 = 220 - 15 = 205 \text{ volti.}$$

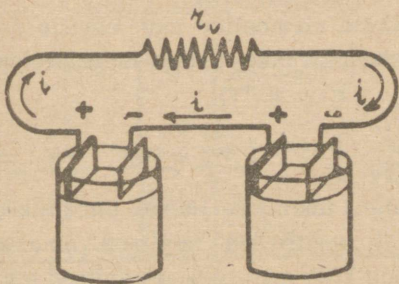
6. Dünaamomasina $E = 440$ volti. Kui suur on masina näpitsepinge e , kui ta 300 amp sünnitab ja masina sisemine takistus $r_s = 0,04$ oomi?

$$e = E - i. r_s = 440 - 300. 0,04 = \\ = 430 - 12 = 428 \text{ volti.}$$

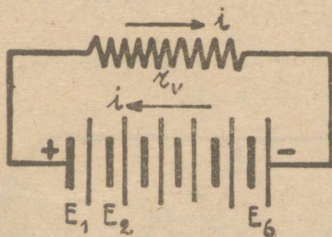
7. Elementide järjestikku ja paralleel ühendamine.

Elektrielementisid võib ühendada järjestikku ja paralleel. Järjestikku ühendamise juures ühendakse elemendi positiivne näpits teise elemendi negatiivse näpitsega. Elektromootorilised jõud mõjuvad kõik ühtepidi ja koondavad ennast kui ka elementide sisemised takistused. Üks ja seesama vool voolab järke-

mööda läbi kõigist elementidest (joonistused 4 ja 5). Järjestikku ühendamist tarvitakse,



Joonistus 4.



Joonistus 5.

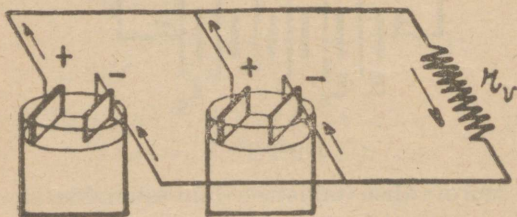
kui suure välise takistuse läbi tahetakse saata suurt voolu.

- On E_1, E_2, E_3 jne = elementide emj,
 n = elementide arv,
 r_v = väline takistus,
 i_1 = ühe elemendi vool,
 r_1 = elemendi sisemine takistus,

siis on $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$
 kui elementide emj isesugused on,
 ehk $E = n \cdot E_1$,
 kui üksikute elementide emj ühesuurused on.
 Batarei sisemine takistus (ühesugused elemendid)
 on $r = n \cdot r_1$
 ja $i = \frac{n \cdot E_1}{r_v + n \cdot r_1} \dots \dots \dots 7.$

Paralleel ühenduse juures ühendakse ühelt-poolt kõik positiivsed näpitsed omavahel ja teiselt poolt kõik negatiivsed näpitsed omavahel. Batarei emj on ühe elemendi emj, kuna kõik voolud ennast koondavad (joonistus 6 ja 7).

$E = E_1$
 $i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$
 ehk $i = n \cdot i_1$,

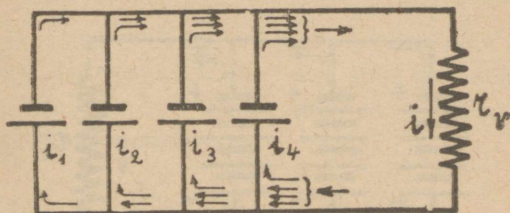


Joonistus 6.

kui üksikud elemendid ühesugused on.
 Batarei sisemine takistus on

$$r_s = \frac{r_1}{n},$$

sest n elementide paralleelne ühendamine on ühevääriline ühe elemendi vooluläbilaskmise võimaluse n korda suurendamisega.



Joonistus 7.

Üleüldine vooluringi takistus

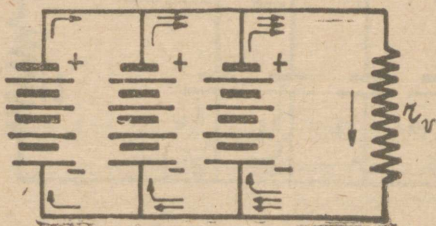
$$r = r_v + \frac{r_1}{n}$$

$$i = \frac{E}{r_v + \frac{r_1}{n}} \dots \dots \dots 8.$$

On väline takistus väike, siis ühendakse elemendid paralleel.

Kolmas lülituse viis tarvitab järjestikku ja paralleel ühendusi koos. Me nägime, et järjestikku ühendust siis tarvitakse, kui suurt pinget tarvis on, ja paralleel ühendust siis, kui suurt voolu vaja on. Juhtumistel aga, kus suurt voolu ja kõrgemat pinget vaja, tarvitakse nn segaühendust (joonistus 8.) Igas salgas peab muidugi ühesugune emj olema.

On $m =$ paralleel ühendud salkade arv, siis on igas salgas $\frac{n}{m}$ elemendid järjestikku ühendud.



Joonistus 8.

Ühe salga takistus on

$$r_1 \cdot \frac{n}{m}$$

ja m paralleel ühendud salkade takistus ehk batarei takistus

$$r_s = \frac{r_1 \cdot \frac{n}{m}}{m} = \frac{r_1 \cdot n}{m^2}$$

Batarei emj on ühe salga emj ja vool

$$i = \frac{E^1 \cdot \frac{n}{m}}{r_v + \frac{r_1 \cdot n}{m^2}} \dots \dots \dots 9.$$

Näitused:

1. Elemendi emj on 1,45 volti, tema sise- mine takistus 2 oomi. Kui suur on vool i ,

kui 12 elementi järjestikku ühendakse ja väline takistus 250 oomi on?

$$i = \frac{12 \cdot 1,45}{250 + 12 \cdot 2} = \frac{17,4}{274} = 0,0635 \text{ amp}$$

2. Elemendi emj on 1,068 volti, tema sisemine takistus 2 oomi. Kui suur on väline takistus, kui $i = 0,267$ amp ja 6 elementi järjestikku ühendud on?

$$0,267 = \frac{6 \cdot 1,068}{r_v + 6 \cdot 2};$$

$$0,267 (r_v + 12) = 6,408$$

$$0,267 \cdot r_v = 6,408 - 0,267 \cdot 12$$

$$r_v = \frac{3,204}{0,267} = 12 \text{ oomi.}$$

3. Elemendi emj on 1,44 volti ja tema sisemine takistus $r_i = 2,8$ oomi. Kui suur on vool i , kui 10 elementi paralleel ühendakse ja väline takistus $r_v = 0,2$ oomi?

$$i = \frac{1,44}{0,2 + \frac{2,8}{10}} = \frac{1,44}{0,48} = 3 \text{ amp.}$$

4. 30 elementi on 6 salgas paralleel ühendud, elemendi emj on 1,8 volti, sisemine takistus 0,7 oomi, väline takistus 4 oomi. Kui suur on batarei emj, tema sisemine takistus, vool ja näpitsepinge?

$$E = E_1 \cdot \frac{n}{m} = 1,8 \cdot \frac{30}{6} = 9 \text{ volti}$$

$$r_s = \frac{r_1 \cdot n}{m^2} = \frac{0,7 \cdot 30}{6^2} = 0,583 \text{ oomi}$$

$$i = \frac{E_1 \cdot \frac{n}{m}}{r_v + \frac{r_1 \cdot n}{m^2}} = \frac{9}{4 + 0,583} = 1,95 \text{ amp}$$

$$e = E - i r_s = 9 - 1,95 \cdot 0,583 = 7,869 \text{ volti}$$

8. Kirchhoffi seadused.

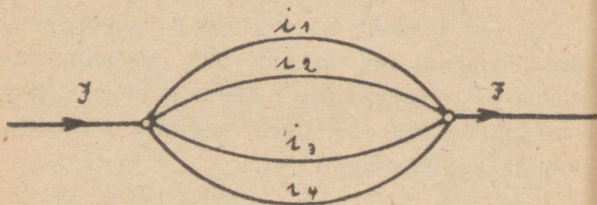
I seadus.

Vool, mis välja voolab vooluallika ühest näpitsest, läheb teisse näpitsesse tagasi. Elektrimasside laiumine on võimata, vooluhulk, mis positiivsest nabast tuleb, läheb tervelt negatiivsesse nabasse tagasi.

Sellest järel das Kirchhoff oma esimese seaduse:

Igas haruühendusepunktis on juurevoolavate voolude summa ühtiv äravoolavate voolude summale (joon. 9).

$$J = i_1 + i_2 + i_3 + i_4$$



Joonistus 9.

Kui juurevoolavad voolud nimetada positiivseteks ja äravoolavad voolud negatiivseteks, siis on ühe haruühenduse punkti voolude summa null.

$$J - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4) = 0,$$

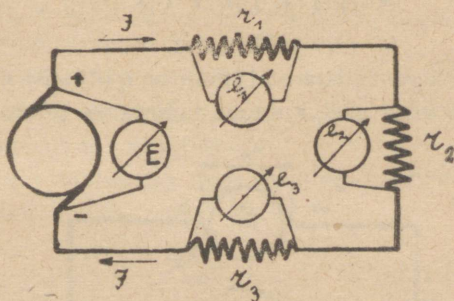
ehk $\sum J = 0.$

II seadus.

Igas vooluringis on kasvatiste summa, mille kaasteguriteks kõik vooluringi voolud ja takistused, ühtiv elektromootorliste jõudude summale selles vooluringis (joon.10)

$$E = e_1 + e_2 + e_3 = J \cdot r_1 + J \cdot r_2 + J \cdot r_3$$

ehk $\sum J \cdot r = \sum e$



Joonistus 10.

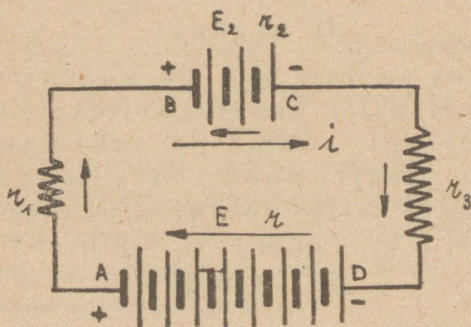
Selle seaduse tarvitamisel käime vooluringi kaudu vabas valitud sihis ja anname nende em jõududele negatiivse märgi, mis valitud sihile vastu töötavad (joon. 11)

Joonistuses 11 on kaks vooluallikat nii ühendud, et üksteisele vastu töötavad

$$E - E_2 = i \cdot r_1 + i \cdot r_3$$

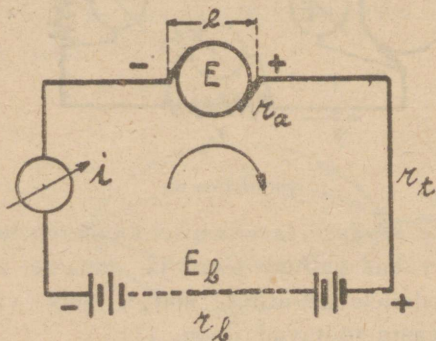
ehk

$$i = \frac{E - E_2}{r_1 + r_3} \dots \dots \dots 10.$$



Joonistus 11.

Niisugust vastu-emj sünnitab näituseks akkumulaatori batarei, kui teda täidetakse (joon. 12).



Joonistus 12.

Dünaamomasin, mille emj $E = 116$ volti ja sisemine takistus $r_a = 0,1$ oomi, täidab akkumulaatori batareid, mis koos seisab 50 järjestikku ühendud elemendist à 2 volti.

Batarei takistus $r_b = 0,18$ oomi ja ühendustraate takistus $r_t = 0,12$ oomi. Kui suur on batarei vastu-emj, tema näpitsepinge ja täitmisevool?

Batarei vastu-emj on

$$E_b = 50 \cdot 2 = 100 \text{ volti.}$$

Liigume vooluringis kellaseieri sihi mööda edasi, siis saame II Kirchhoffi seaduse järele:

$$i \cdot r_a + i \cdot r_t + i \cdot r_b = E - E_b,$$

ehk

$$i = \frac{E - E_b}{r_a + r_t + r_b} = \frac{116 - 100}{0,1 + 0,12 + 0,18} = 40 \text{ amp.}$$

Dünaamomasina näpitsepinge on

$$e = E - i \cdot r_a = 116 - 40 \cdot 0,1 = 112 \text{ volti}$$

Vastupidi on olud batarei juures. Siin peab pealerõhnutud näpitsepinge e_b batarei vastu-emj ära võitma ja sisemist pingekaotust $i \cdot r_b$ asemele andma.

Me saame sellepärast

$$e_b = E_b + i \cdot r_b = 100 + 7,2 = 107,2 \text{ volti.}$$

Üksikud pingekaotused kokkuvõetud on

$$i \cdot r_a = 40 \cdot 0,1 = 4,0 \text{ volti}$$

$$i \cdot r_t = 40 \cdot 0,12 = 4,8 \text{ „}$$

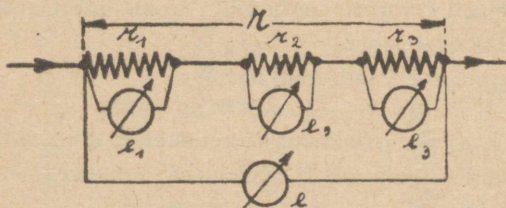
$$i \cdot r_b = 40 \cdot 0,18 = 7,2 \text{ „}$$

$$\text{Vastu-emj } E_b = \quad \quad \quad = 100,0 \text{ „}$$

$$\text{kokku} \quad \quad \quad 116,0 \text{ volti.}$$

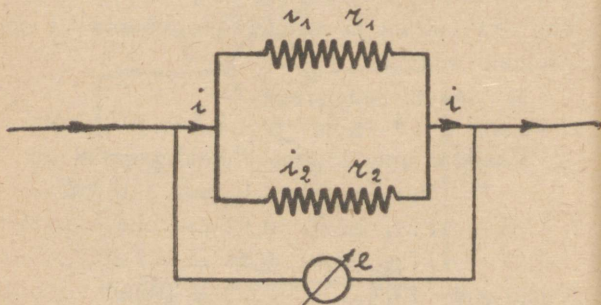
9 Takistuste järjestikku ja paralleelühendamine.

Lülitame mitu takistust järjestikku, siis on üleüldine takistus ühtiv üksikute takistuste summale (joon. 13). Ühendame aga kaks



Joonistus 13.

takistust paralleel, siis ei ole üleüldine takistus, võrreldes üksiku takistusega, mitte suurenenud, sest voolutee on paralleelühendamise läbi lahedamaks läinud. Joonistus 14 järele



Joonistus 14.

on takistused r_1 ja r_2 paralleel ühendud, nende üleüldine takistus olgu r .

$$i = \frac{e}{r}; i_1 = \frac{e}{r_1}; i_2 = \frac{e}{r_2};$$

$$\frac{e}{r} = \frac{e}{r_1} + \frac{e}{r_2}$$

ehk
$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$

ja
$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \dots \dots \dots 11.$$

On rohkem kui kaks takistust paralleel ühendud, siis on üleüldine takistus

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \dots \dots 12.$$

On n ühesugust takistust paralleel ühendud, siis on üleüldine takistus

$$r = \frac{r_1}{n} \dots \dots \dots 13.$$

Näitused:

1. Kaks takistust $r_1 = 14,4$ oomi ja $r_2 = 3,6$ oomi on paralleel ühendud. Kui suur on nende üleüldine takistus r ?

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{14,4 \cdot 3,6}{14,4 + 3,6} = 2,88 \text{ oomi.}$$

Takistuste paralleel lülitamine võimaldab väga hõlpsasti, valmistada üsna väikseid takistusi. Esiteks valmistakse takistus, mis nõuetavast vähe suurem on, ja sellele lülitakse pa-

ralleel teine takistus, mis kindlaks tehakse formeli 11 abil.

2. Vaja valmistada takistus $r = 0,1$ oomi. Selleks valmistame takistuse $r_1 = 0,102$ oomi ja lülitame selle paralleel takistusega r_2 , mille suuruse järgmiselt välja arvame

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2};$$

$$0,1 = \frac{0,102 \cdot r_2}{0,102 + r_2}; 0,1 (0,102 + r_2) = 0,102 \cdot r_2$$

$$0,0102 + 0,1 r_2 = 0,102 \cdot r_2$$

$$r_2 = 5,1 \text{ oomi}$$

3. Kaks takistust $r_1 = 12$ ja $r_2 = 10$ oomi on ühendud järjestikku. Kui suur peab pinge olema, mis võiks läbi saata nendest takistustest 10 amp., ja kui suured on üksikute takistuste näpitste vahel mõedetud pinged?

$$\text{Üleüldine takistus } r = r_1 + r_2 = 12 + 10 = 22 \text{ oomi}$$

$$\text{Pinge } e = i \cdot r = 10 \cdot 22 = 220 \text{ volti}$$

$$e_1 = i \cdot r_1 = 10 \cdot 12 = 120 \text{ volti}$$

$$e_2 = i \cdot r_2 = 10 \cdot 10 = 100 \text{ volti}$$

$$e = e_1 + e_2 = 120 + 100 = 220 \text{ volti.}$$

4. Kaks takistust $r_1 = 12$ oomi ja $r_2 = 8$ oomi on paralleel ühendud. Pinge $e = 110$ volti. Kui suur on üleüldine takistus r , vooli i ja haruvoolud i_1 ja i_2 ?

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{12 \cdot 8}{12 + 8} = \frac{96}{20} = 4,8 \text{ oomi}$$

$$i = \frac{e}{r} = \frac{110}{4,8} = 22,9 \text{ amp.}$$

$$i_1 = \frac{e}{r_1} = \frac{110}{12} = 9,15 \text{ amp.}$$

$$i_2 = \frac{e}{r_2} = \frac{110}{8} = 13,75$$

$$i = i_1 + i_2 = 9,15 + 13,75 = 22,9 \text{ amp.}$$

10. Elektritöö, elektrivõime ja Dshaul'i seadus.

Voolab traadis elektrivool, siis läheb traat soojaks. Katsete abil on kindlaks tehtud, et arenenud soojus pingele, ajale ja voolule proportsionaalne on. Et aga soojus tööga ühevääriline on, siis esitab kasvatis $e \cdot i \cdot t$ elektritööd.

Tähendame A-ga elektritööd, siis on

$$A = e \cdot i \cdot t$$

On $e = 1$ volt, $i = 1$ amper ja $t = 1$ sekund, siis on $A = 1$, see on tööüksus on siis tehtud, kui 1 amp 1 voldiga 1 sekund mõjub, seda nimetakse 1 dshaul.

$$1 \text{ dshaul} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampeer} \times 1 \text{ sekund}$$

$$A = e \cdot i \cdot t \text{ dshauli} \dots \dots \dots 14.$$

Tunneme me tööüksust, siis võime kergesti sellest võimeüksust järeldada, see on ajaüksuse jooksul tehtud töö.

On kasvatis e . i . t elektritöö dshaul'is, siis on e.i elektrivõime dshaulis sekundi jooksul.

Elektrivõime

$$W = \frac{1 \text{ dshaul}}{1 \text{ sek}} = \frac{A}{t} = \frac{e.i.t}{t} = e.i.$$

Elektrivõime üksus on olemas, kui juhis 1 voldiga 1 ampeer voolab, ja nimetakse watt.

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampeer},$$

$$W = e.i \text{ watt} 15.$$

Nüüd võime ka öelda, et üks watt, mis sekundi jooksul mõjub, elektritöö üksus on.

Elektritöö üksus

$$A = e.i.t = 1 \text{ dshaul} = 1 \text{ watt} \times 1 \text{ sekund} = 1 \text{ wattsekund}.$$

Üksused watt ja dshaul on liig väikesed ja sellepärast tarvitakse praktikas kilowatt ja kilowatttund.

$$1 \text{ kilowatt} = 1000 \text{ watti},$$

$$1 \text{ kilowatttund} = 1000 \text{ wattundi} = 3,6 . 10^6 \text{ wattsekundi ehk dshauli}.$$

$$A = \frac{e.i.t}{1000} \text{ kilowatttundi},$$

kui t mitte sekundisi, vaid tunda tähendab.

Mehaanikas ja elektrotehnikas tarvitavate üksuste vahel on ühendus olemas, mida kergesti järgmiselt lahendada võib.

Teaduses tarvitav jõuüksus on düün: 1 düün on jõud, mis massi üksusele, see on 1 sm^3 veele, ühes sekundis 1 sm kiiruse annab. Mõjub see jõud 1 sm tee pikkusel, siis on tööüksus korda saadetud. Tööüksuseks nimetakse üks sentimeeterdüün ehk erg . 10^7 erg 'i on 1 dshaul, see on aga elektritöö üksus:

$$1 \text{ dshaul} = 10^7 \text{ erg}.$$

1000 sm^3 vett kaaluvad 1 kg , 1 kg on aga jõud, mis 1000 sm^3 vee massile 981 sm/sek kiirust annab, sellepärast on

$$1 \text{ kg} = 1000 \cdot 981 \text{ düün},$$

$1 \text{ meeterkilogramm} = 981000 \text{ meeterdüün} = 9,81 \cdot 10^7 \text{ sm düün}$, 10^7 sm düün ehk erg on üks dshaul, seega on

$$1 \text{ mkg} = 9,81 \text{ dshaul}$$

ehk

$$1 \text{ dshaul} = \frac{1}{9,81} = 0,102 \text{ mkg}$$

Nüüd on võimalus antud soojust Q , mida elektrivool edendab, grammkalooriates välja arvata. Teatavasti on 1 grammkalooria soojusehulk, mille abil 1 g vett 1 kraadi võrra soeneb. See soojusehulk on mehaanilise soojuse samaväärsuse järele $0,427 \text{ mkg}$. Seega on $1 \text{ gkal} = 0,427 \text{ mkg} = 0,427 \cdot 981 \text{ dshaul}$ ehk

$$1 \text{ dshaul} = \frac{1}{0,427 \cdot 9,81} = 0,24 \text{ gkal.}$$

On meil aga e . i . t dshaul'i, siis on elektrivooluga edenenud soojus (voolusoojus)

$$Q = 0,24 \cdot e . i . t, \text{ ehk}$$

e asemele i . r pandud, on

$$Q = 0,24 \cdot i^2 \cdot r \cdot t \text{ grammkalooriat} \quad . \quad . \quad 16.$$

Seda formelit nimetakse Dshauli seaduseks, ta ütleb:

Voolujuhis elektrivoolu tõttu arenenud soojusehulk on ühtiv kasvatisele, mis koos seisab voolust teisel astmel, juhi takistusest ja ajast korda 0,24.

$$1 \text{ mkg} = 9,81 \text{ dshaul},$$

sellest järeldame, et

$$1 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}} = 9,81 \frac{\text{dshaul}}{\text{sek}} = 9,81 \text{ watti}$$

$$1 \text{ HP} = 75 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}} = 75 \cdot 9,81 = 736 \text{ watti.}$$

Näitused:

1. Tarvitaja ampeermeeter näitab 80 amp, voltmeeter 110 volti. Kui suur on võime ja 10 tunni jooksul korda saadetud töö, kui vool ja pinge selle aja jooksul muutmatad olid?

$$W = e \cdot i = 110 \cdot 80 = 8800 \text{ watti ehk } 8,8 \text{ kw}$$

$$A = e \cdot i \cdot t = W \cdot t = 8,8 \cdot 10 = 88 \text{ kwtd.}$$

2. Juhis, mille takistus 5 oomi, voolab 4 amp. Kui suur on traadis hävitud võime ja 1 minuti jooksul arenenud soojusehulk?

$$W = i^2 \cdot r = 16 \cdot 5 = 80 \text{ watti.}$$

$$Q = 0,24 \cdot i^2 \cdot r \cdot t = 0,24 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 560 = 1152 \text{ grammkalooriat.}$$

3. Elektri ahju näpitse vahel mõedetakse 110 volti. Ahju takistus on 20 oomi. Kui suur on ahju võime?

$$W = e \cdot i = e \cdot \frac{e}{r} = \frac{e^2}{r} = \frac{110^2}{20} = 600 \text{ watti.}$$

4. Dünaamomasin töötas 10 tundi. Elektrilugeja näitas töö lõpul 2400 kw-tundi. Kui suur oli võime ja vool, kui dünaamomasina näpitsepinge $e = 220$ volti?

$$W = \frac{A}{t} = \frac{2400}{10} = 240 \text{ kw}$$

$$i = \frac{240 \cdot 1000}{220} = 1900 \text{ amp.}$$

5. Takistus, mille $r = 10$ oomi, peab 1 liitri vett 15 kraadist 100^0 soendama. Kui suur on soojusehulk, elektritöö ja vool, kui soendamine 10 minuti jooksul sündima peab?

$$Q = 0,24 \cdot i^2 \cdot r \cdot t = G (t_2 - t_1) *) = \\ = 1000 \cdot (100 - 15) = 85000 \text{ grammkal.}$$

Elektritöö on

$$A = e \cdot i \cdot t = i^2 \cdot r \cdot t = \frac{Q}{0,24} = \frac{85000}{0,24} = \\ = 354500 \text{ wattsekundi} = \frac{354500}{3600} = 98,5 \\ \text{wattundi.}$$

$$i = \sqrt{\frac{A}{r \cdot t}} = \sqrt{\frac{354500}{10 (60 \cdot 10)}} = 7,7 \text{ amp.}$$

6. Elektrikeedunõus tuleb 1,5 liitrit vett 18 minuti jooksul keema ajada (100°C). Vee algtemperatuur on 15°C . Kui suur on nõuetav soojusehulk, töö ja võime, ja kui suur on vool, kui pinge $e = 220$ volti?

Soojusehulk on

$$Q = G (t_2 - t_1) = 1500 (100 - 15) = 127500 \text{ gkal.}$$

Elektritöö

$$A = i^2 \cdot r \cdot t = \frac{Q}{0,24} = \frac{127500}{0,24} = 532500 \text{ wattsek.}$$

Elektrivõime

$$W = \frac{A}{t} = \frac{532500}{60 \cdot 18} = 492,5 \text{ watti}$$

*) Vaata soojuse õpetus.

$$W = i^2 \cdot r = e \cdot i; i = \frac{W}{e} = \frac{492,5}{220} = 2,23 \text{ amp.}$$

See oleks teoreetiliselt nõuetav soojusehulk, tõepoolest tarvitab keedunõu aga rohkem voolu, sest esiteks kaob nõu enese soendamise peale osa soojusest ära, teiseks annavad soojuse kiired soojust ümbritsevale õhule ära. Nõnda siis ei nõua keedunõu mitte 2,23 amp, vaid umbes 2,48 amp.

Tema kasulikkuse tegur on

$$\eta = \frac{\text{teoreetiline töö}}{\text{tarvitud töö}} = \frac{0,24 \cdot e \cdot i \cdot t}{0,24 e \cdot i_1 \cdot t} = \frac{i}{i_1} = \frac{2,23}{2,48} = 0,90.$$

Tarvitud tööst läheb 10% kaduma, veekeetmiseks kasutakse 90%.

11. Elektriline aste (Potentsiaal).

Eelmistes jagudes oleme tihtipeale elektrivoolu veevooluga võrrelnud. See võrdlus on ka elektritöö kohta õige. Töö meeterkilogrammides, mis kosk teatud aja jooksul korda saadab, saame, kui kukkuv veehulga kaalu kilogrammides kukkumise kõrgusega meetrites kasvatame. Samuti talitame elektritöö väljaarvamise juures ja ütleme, et elektritöö on

e . i . t . Kasvatis i . t on elektri hulk, mis t jooksul kõrgemast pinnast madalamasse voolab, kuna e on pinge ehk pindade vahe kõrgus.

Paneme arvlauses $A = e . i . t$ kasvatis $i . t = 1$, see on 1 kulomb, siis on $A = e$, ehk sõnades:

pinge e voltides on töö mõedetud dshaulides, mis korda saadetakse, kui üks kulomb kõrgemast tasapinnast madalamasse voolab. Sellega, et üks kulomb kõrgemas pinnas on, on temas töövõime olemas, ta on seda suurem, mida suurem pindade vahe on. Eelpool tarvitasime sellepärast ka sõna aste ja astmevahe, ja ütleme nüüd, et elektriline astmete vahe on töö, mis korda saadetakse, kui positiivne elektriüksus kõrgemast astmest madalamasse voolab.

Me võime seda ka järgmiselt defineerida:

elektriline astmete vahe on töö dshaulides, mis korda saatma peame, et juhtida 1 kulomb positiivset elektrit kõrgemast astmest madalamasse. 2. jaos nägime, et elektri juhtimine madalamast astmest kõrgemasse elektromootorlise jõu ülesanne on. Elektromootorline jõud ja astmete vahe ehk pinge on teatud mõttes üks ja seesama ja mõedetakse ühe mõeduga.

Wattkaotused voolujuhis ja selle läbilõike väljaarvamine.

Voolujuht võib vooluläbiminemisega tuliseks minna, kui voolusuurus üle teatud normi kasvab. Niisugune voolusoojus võib teatud juhtumistel õige kardetavaks ja isegi tuleõnnetuste tekitajaks saada. Sellepärast on traadi koormamine seaduse teel piiratud (Saksamaal «Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker» poolt, vaata tabel II).

Vooluliini väljaarvamisel võiks nüüd arvata, et tabeli II järele, kui tarvitaja voolusuurus tuntud, tarvitada võiks sellele voolule vastavat läbilõiget. Tegelikult võib aga seda põiklõiget väga harva ja siis ainult lühikeste maade peal tarvitada. Suuremalt jaolt peab põiklõige hulga suurem olema.

Oletame, et tarvitaja 200 meetrit elektri- jaamast eemal asub ja 25 ampeeri 110 voldiga tarvitab. Tabel II järele vastab 25 ampeerile vasktraat 4 mm² läbilõikega. Pinge-kaotus selles traadis on:

$$\begin{aligned} e_r &= i \cdot r = i \cdot c \cdot \frac{l}{q} = \\ &= 25 \cdot 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 200}{4} = 43,75 \text{ volti.} \end{aligned}$$

Kui elektrijaamas pinge 115 volti on, siis jääks tarvitajal ainult

$$115 - 43,75 = 71,25 \text{ volti}$$

Tabel II.

Läbilõige mm ²	Vask	Alumiinium	Tsink	Raud
	Võib koormata kuni amp.	Võib koormata kuni amp.	Võib koormata kuni amp.	Võib koormata kuni amp.
1,0	11	8	—	—
1,5	14	11	9	—
2,5	20	16	11	8
4	25	20	13	10
6	31	24	16	12
10	43	34	23	17
16	75	60	40	30
25	100	80	52	43
35	125	100	65	50
50	160	125	83	61
70	200	155	105	75
95	240	190	125	100
120	260	220	145	110
150	325	255	170	125

üle, mis muidugi lubamata oleks, sest tema lambid ja mootorid võiksid korralikult töötada ainult 110 voldiga. 43,75 volti hävineb traadis, see on

$$\frac{43,75 \cdot 100}{115} = 38\% \text{ pingekaotust,}$$

ehk 38% wattkaotust, sest elektrijaam sünnitab

$$W = 115 \cdot 25 = 2880 \text{ watti,}$$

tarvitajani jõuavad aga ainult

$$W_1 = 71,25 \cdot 25 = 1780 \text{ watti,}$$

traadis hävinesid (voolusoojuseks)

$$W_r = W - W_1 = 2880 - 1780 = 1100 \text{ watti,}$$

see on

$$\frac{1100 \cdot 100}{2880} = 38\% \text{ wattkaotust.}$$

Sellepärast peab vooluvõrgu traadi läbilõike välja arvama pingekaotuse peale. Pingekaotus tähendakse harilikult protsentides jaa-
mapingest ära; ta on umbes 2%—5% harudele ja kuni 10% pealiinidele.

Vooluvõrgu takistus on:

$$r = c \cdot \frac{1}{q},$$

ehk tema läbilõige

$$q = c \cdot \frac{1}{r}.$$

Võrgu takistuse r võib aga pingekaotuse e_r ja voolu i abil ära tähendada, sest

$$e_r = i \cdot r,$$

ehk

$$r = \frac{e_r}{i}.$$

Läbilõike formelis r asemele $\frac{e_r}{i}$ sisse pandud saame:

$$q = c \cdot \frac{1 \cdot i}{e_r} \text{ mm}^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 17.$$

c = materjali eritakistus ;

e_r = pingekaotus voltides ;

i = vool ampeerides ;

q = traadi läbilõige mm^2 ;

l = üldine traadi pikkus meetrites (kahekordne maapikkus jaama ja tarvitaja vahel).

Näitus:

Tarvitaja, kes 150 meetrit elektriyaamast eemal, tarvitab 60 kw. Kui suur peab vooluliini vasktraadi läbilõige olema, kui jaama pinge 115 volti on ja pingekaotus võrgus 4% olla võib?

$$\text{Pingekaotus } e_r = \frac{115 \cdot 4}{100} = 4,6 \text{ volti.}$$

$$\text{Tarvitaja vool } i = \frac{60000}{(115-4,6)} = 544 \text{ amp.}$$

$$q = c \cdot \frac{l \cdot i}{e_r} = 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot 544}{4,6} = 624 \text{ mm}^2.$$

Wattkaotused on

$W_r = e_r \cdot i = 4,6 \cdot 544 = 2500$ watti, ehk 4% sünnitud võimest (sünnitud võime $W = 115 \cdot 544 = 62500$ watti.) Kui sedasama võimet kaks korda suurema pingega sünnitakse ja tarvitakse, siis oleks vahekorrad järgmised:

$$e_{r2} = 4\% = \frac{230 \cdot 4}{100} = 9,2 \text{ volti;}$$

$$i_2 = \frac{60000}{(230-9,2)} = 272 \text{ amp};$$

$$q_2 = c \cdot \frac{1 \cdot i_2}{e_{r_2}} = 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot 272}{9,2} = 156 \text{ mm}^2,$$

see on 4 korda vähem, kui 115 voldiga ($624 : 156 = 4$).

On jaama pinge 460 volti, siis on:

$$e_{r_3} = 4\% = \frac{460 \cdot 4}{100} = 18,4 \text{ volti.}$$

$$i_3 = \frac{60000}{(460-18,4)} = 136 \text{ amp.}$$

$$q_3 = c \cdot \frac{1 \cdot i_3}{e_{r_3}} = 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 150 \cdot 136}{18,4} = 39 \text{ mm}^2.$$

Väljaarvatud kolme läbilõiget võrreldes, leiame, et

$$q_1 : q_2 : q_3 = 16 : 4 : 1,$$

see tähendab, kui pinge 2 korda suurendakse, väheneb traadi läbilõige 4 korda ehk ühe ja sellesama traadi läbilõikega ühesuurte wattkaotuste juures võib 4 korda suuremat võimet edasi juhtida, kui pinge 2 korda suurendakse.

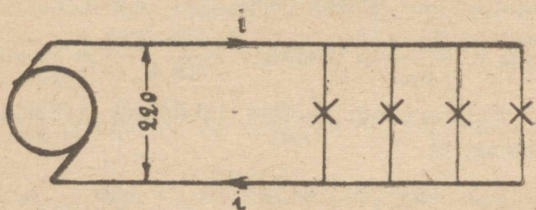
Suuri wattkaotusi ehk jämedat traadiläbilõiget vooluvõrkudes tähele pannes, tarvitakse linnades ja vabrikutes tihti nn. kolmejuhi süsteemi. Et õpilasel esialgul rakse on vahet teha jõu edasisaatmise vahel kõrgema ja madalama pingega, siis võtame harutusele näituse, kus üks ja seesama võime kord kahe juhi abil,

siis aga kolmejuhi süsteemi ja 2 korda kõrgema pingega edasi juhitakse.

Ülesanne.

400 hõõglambile tarvis minev vool tuleb juhtida elektriijaamast 2 km kaugusel. Pingekaotused ehk wattkaotused vooluvõrgus võivad 5% olla. Iga hõõglamp tarvitab 0,2 amp. 220 voldiga. Leida voolujuhi läbilõige:

1. Kui võrgu pinge 220 volti,
2. Kui võrgu pinge 440 volti on.



Joon. 15.

1. juhtumine.

Pinge $e = 220$ v, kõik lambid on paralleelühendus (joon. 15).

Üleüldine vool $i = 0,2 \cdot 400 = 80$ amp.

Üleüldine tarvitav võime $W = e \cdot i = 220 \cdot 80 = 17600$ watti.

5% pingekaotust $= \frac{220 \cdot 5}{100} = 11$ volti $= e_r$, ehk

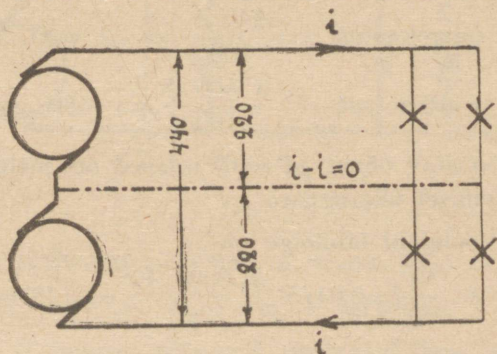
5% wattkaotust $= \frac{17600 \cdot 5}{100} = 880$ watti.

Voolujuhi läbilõige, kui materjaliks vaske tarvitakse, on

$$q_1 = c \cdot \frac{1 \cdot i}{e_r} = 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 2000 \cdot 80}{11} = 512 \text{ mm}^2.$$

2. juhtumine.

Meie valime nüüd võrgupingeks 440 volti, mis otstarbeks 2 dünaamomasinat á 220 volti järjestikku lülitame (joon. 16). Samuti lülitame



Joon. 16.

järjestikku 2 lampi, nii et iga lamp saab $\frac{440}{2} = 220$ volti. Meie 400 lampi on nüüd 200 harusse á 2 lampi jaotud, millest iga haru jällegi 0,2 amp. tarvitab, sest ühe lambi takistus, millest 220 voldiga 0,2 amp. läbi voolab, on $r_1 = \frac{220}{0,2} = 1100 \Omega$, kahe järjestikku

ühendud lambi takistus $r_2 = 2 \cdot r_1 = 2 \cdot 1100 = 2200 \, \Omega$ ja nende vool 440 voldiga on

$$i_1 = \frac{440}{2200} = 0,2 \text{ amp.}$$

Üleüldine 200 haru vool on

$$i = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ amp.}$$

Üleüldine tarvitav võime on

$$W = e \cdot i = 440 \cdot 40 = 17600 \text{ watti.}$$

$$5\% \text{ pingekaotust} = \frac{440 \cdot 5}{100} = 22 \text{ volti, ehk}$$

$$5\% \text{ wattkaotust} = \frac{17600 \cdot 5}{100} = 880 \text{ watti.}$$

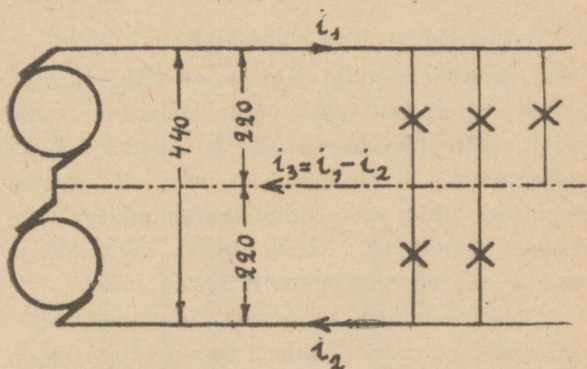
Tarvitav võime ja wattkaotused on mõlemil juhtumisel ühesugused.

Voolujuhi läbilõige on

$$q_2 = c \cdot \frac{1}{e_r} \cdot i = 0,0175 \cdot \frac{2 \cdot 2000 \cdot 40}{22} = 128 \text{ mm}^2.$$

Kahekordse pingesuurendamisega saime 4 korda väiksema traadi läbilõike. Et kahe lambi järjestikku ühendamisel võimaldada nende põlemist ja kustutamist üksikult, viiakse punktist, kus mõlemad dünaamomasinad oma vahel ühendakse, nn. nulltraat läbi, ja lülitakse iga kahe lambi ühenduspunktiga. Nulltraadi läbilõige on harilikult poole vähem välise juhi läbilõikest ja vool temas on väliste juhtide voolude vahe (joon. 17).

Kolme juhi peale vaatamata on vasetarvitus siiski veel hulga vähem, kui esimesel juhtumisel, s. o. 2 korda väiksema pingega.



Joon. 17.

Kahejuhi süsteemil on traadi kaal

$$G_1 = 2 \cdot 1 \cdot q_1 \times (\text{erikaal}).$$

Kolmejuhi süsteemil on traadi kaal

$$G_2 = \frac{2 \cdot 1 \cdot q_1 \times (\text{erikaal})}{4} + \frac{1 \cdot q_2 \times (\text{erikaal})}{4 \cdot 2} =$$

$$= \frac{5}{8} \cdot 1 \cdot q_1 \times (\text{erikaal}).$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{2 \cdot 1 \cdot q_1 \times (\text{erikaal})}{\frac{5}{8} \cdot 1 \cdot q_1 \times (\text{erikaal})} = 2 : \frac{5}{8} = 3,2.$$

see tähendab: vasekaal on kahejuhi süsteemil 3,2 korda suurem kui kolmejuhi süsteemil.

ELEKTRIVOOLOU KEEMILINE TEGEVUS.

12. Elektrolüüs.

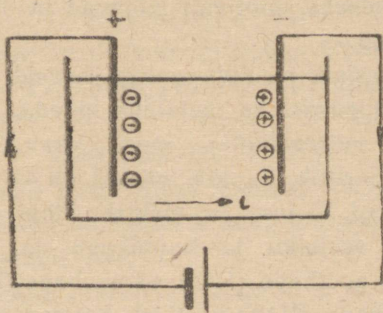
Elektrivoolu juhid jagunevad kahte klassi. I klassi kuuluvad juhid, mille keemiline koosseis vooluläbivoolamisega ei muutu. Kõik metallid ja süsi on I klassi juhid. II klassi kuuluvad juhid, mis vooluläbivoolamisega keemiliselt lagunevad. Kõik alused, hapnikud ja soolad sulatud olekus on II klassi juhid.

Seda keemilist lagunemist nimetakse elektrolüüsiks ja lahu, millest vool läbi voolab, elektrolüüdiks. Aparat, milles lahutamine sünnib, nimetakse lahutusekärjeks. Juhid, mille abil voolu sisse ja välja saadetakse, nimetakse elektrootideks. Positiivne elektroot, mille läbi vool lahusse saadetakse, anoodiks ja negatiivne elektroot katoodiks.

Algained, millesse lahu voolu läbikäimisega laguneb, ilmuvad elektrootide külge, ja nendest läheb üks osa — kõik metallid ja vesinik — katoodi külge, kõik teised ollused voolu sihi vastu anoodi külge. Need algained nimetakse ioonideks, s. o. rändajad. Lahu lagunemine ioonidesse ei sünni mitte voolu läbi, nad on juba enne olemas. Positiivseid ioone nimetakse katioonideks, voolu läbikäimisega

tõmbab negatiivne katood neid oma külge. Negatiivseid ioone nimetakse anioonideks, nad rändavad anoodi juure elektrivoolu sihi vastu (joon 18).

Positiivselt ja negatiivselt laetud ioone on ühepalju olemas, nad on neutraalses elektrilises olekus, sest kõigi positiivsete ja negatiivsete elektrihulkade summa on null. Alles



Joon. 18.

vooluläbimise algab ionide rändamine. Et aga isenimelised elektrid ennast külge tõmbavad, siis on kõik ioonid, mis voolusihiga katoodi külge end koguvad ja katioonideks nimetakse (metallid ja vesinik), positiivselt laetud, ja ioonid, mis voolusihiga vastu rändavad, anoodi külge koguvad ja anioonideks nimetakse, negatiivselt laetud (joon. 18).

Katioonide ehk positiivsete ionide hulka kuuluvad kõik metallid. Metallid, nagu kaalium, magneesium, raud, kuld on head soojuse ja elektri juhid, nende ühendus vesiniku ja hapnikuga on alused (baasid), näituseks naatronleelisvesi (Na OH), kaalileelisvesi (KOH), kustunud lubi (Ca [OH]_2). Nende metallvesihapendite baasilise iseloomu näeb sellest ära, et nad punase lakmuspaberi värvivad siniseks, söötivalt mõjuvad ja leelimailgulised on.

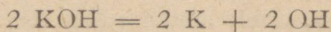
Ka vesinik rändab vooluga katoodi juure ja tuleb sellepärast ka metalliks lugeda.

Kõik mittemetallid, nagu kloor, broom, jood, lämmastik, hapnik, väävel on kõvas olekus halvad soojuse ja elektri juhid. Nende ühendus vesiniku ja hapnikuga on happed, näituseks soolhape (HCl), väävelhape ($\text{H}_2 \text{SO}_4$), salpeetrihape (HNO_3). Kõik happed värvivad sinise lakmuspaberi punaseks, lahutavad metallid ja on hapumaigulised. Kõik mittemetallid rändavad vastu voolu ja kuuluvad sellepärast anioonide hulka.

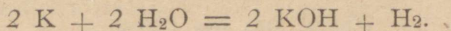
Mõned näitused selgitagu elektrolüüsi protsessi.

a) Aluste (baaside) elektrolüüs.

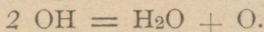
Kaalileelise (KOH) lagumine sünnib järgmise arvause järel:



Metall kaalium rändab vooluga katoodi külge, tema läbi kogub aga seal ka vesinik:

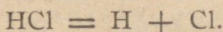


Hüdroksüül ehk vesijääk OH rändab voolu vastu anoodi külge, ühes temaga ka hapnik:

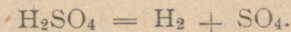


b) Hapete elektrolüüs.

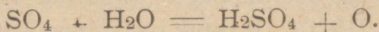
Soolhape (HCl) lagumine sünnib järgmise arvause järele:



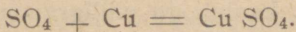
Vesinik ilmub katoodi külge, kloor anoodi külge. Väävelhape (H₂SO₄) lagumine sünnib järgmiselt:



Katoodi külge ilmub vesinik. SO₄ rändab anoodi külge ja laguneb seal, kui anood söest ehk plaatinast on:

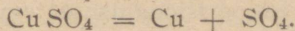


Resultaat on seesama, kui vesi üksi lahutud saaks (puhas vesi on täieline mittevoolujuht). On anood vasest, siis sulab vask SO₄ läbi vasesulfaadiks arvause järele:



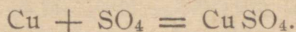
c) Soolade elektrolüüs.

Vasesulfaat laguneb järgmise arvause järele:



Vask rändab vooluga katoodi külge ja asetab elektroodi. SO₄ rändab anoodi juure. On viimane plaatinast ehk söest, siis vabaneb

hapnik. On anood aga vasest, siis lahutakse vask, kusjuures jälle vasesulfaat võidetakse:



13. Faradei'ielektrolüüsi seadused.

Faradei ütleb:

1. elektrivooluga lahust elekt-roodide külge kogutud kaalukogu on proportsionaalne voolule ja ajale ehk proportsionaalne elektri hulgale.

2. Kaalukogu on seda suurem, mida suurem olluse aatomiraskus ja mida väiksem olluse väärisus on.

Väärisus on vesiniku aatomite kogu, mida üks element (lihtollus) seob. Nii on kloor üheväärine, sest soolhappega seob ta 1 aatomi vesinikku (HCl). Hapnik on kaheväärine, sest üks aatom hapnikku seob 2 aatomi vesinikku veeks (H₂O).

Tähendavad:

G = kaalukogu milligrammides,

i = vool ampeerides

t = aeg sekundis,

γ = proportsionaalsuse tegur,

a = aatomi raskus

k = väärisus,

siis on ioonidekogu milligrammides:

$$G = \gamma \cdot \frac{a}{k} \cdot i \cdot t \dots \dots \dots 18.$$

Kui selles formelis $i = 1$ amp ja $t = 1$ sek on, siis on $\gamma \cdot \frac{a}{k}$ hulk, mida üks ampeer ühes sekundis lahutab. Seda nimetakse elektrokeemiliseks samaväärisuse kaaluks. Elektrokeemiline samaväärisus on olluse raskus, mida üks ampeer ühes sekundis elektrolüüdist kogub ühe elektroodi külge.

Katse abil on proportsionaalsuse tegur γ kindlaks määratud, see on 0,010386.

See oleks vesiniku elektrokeemiline samaväärisus, mille aatomi kaal 1 ja väärisus 1 on;

$$\gamma \cdot \frac{a}{k} = \gamma \cdot \frac{1}{1} = 0,010386.$$

Iga teise lahutud olluse jaoks on kaal

$$G = 0,010386 \cdot \frac{a}{k} \cdot i \cdot t \text{ milligrammi,}$$

ehk

$$G = 0,010386 \cdot \frac{a}{k} \cdot Q \text{ milligrammi,}$$

Q on vooluhulk kulombides.

Hõbeda elektrokeemiline samaväärisus, mille aatomi raskus 107,6 ja väärisus 1, on:

$$G = 0,010386 \cdot \frac{107,6}{1} \cdot 1 \cdot 1 = 1,118 \text{ mg}$$

Vase elektrokeemiline samaväärisus, mille aatomi raskus 63,6, ja väärisus 2, on:

$$G = 0,010386 \cdot \frac{63,6}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,328 \text{ mg}$$

Tabel III.

Elektrokeemilised samaväärisused.
(Dr. Karl Streckeri järele).

Element	Märgitus	Aatomi kaal a	Väärisus k	Elektro- keemiline sa- maväärisuse kaal $\gamma \cdot \frac{a}{k}$
Alumiinium	Al	27,1	3	0,0936
Broom	Br	79,96	1	0,828
Elavhõbe	Hg	200,0	2	1,088
Hapnik	O	16,0	2	0,0831
Hõbe	Ag	107,93	1	1,118
Inglüstina	Sn	119,0	2	0,617
Jood	J	126,85	1	1,315
Kaalium	Ka	39,15	1	0,406
Kroom	Cr	52,1	3	0,180
Kuld	Au	197,2	3	0,681
Lämmastik	N	14,04	3	0,0486
Naatrium	Na	23,05	1	0,239
Plaatina	Pt	194,8	4	0,505
Süsinik	C	12,00	4	0,311
Tina	Pb	206,9	2	1,072
Tsink	Zn	65,4	2	0,338
Vesinik	H	1,008	1	0,1045
Nikkel	Ni	58,7	2	0,304
Vismut	Bi	208,5	3	0,720
Vask	Cu	63,6	2	0,328

Näitused.

1. Kui suur on hapniku elektrokeemiline samaväärisus ja mitu mg lahutab 2 ampeeri 0,5 tunni jooksul ära?

$$\gamma \cdot \frac{a}{k} = 0,010386 \cdot \frac{16}{2} = 0,0831$$

$$G = 0,0831 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 60 = 300 \text{ mg.}$$

2. Mis aja jooksul võivad 5 amp 0,8 g tsinki ära lahutada?

$$\gamma \cdot \frac{a}{k} = 0,010386 \cdot \frac{65,4}{2} = 0,338$$

$$G = 800 = 0,338 \cdot 5 \cdot t;$$

$$t = \frac{800}{0,338 \cdot 5} = 475 \text{ sek.} = 7 \text{ min. } 55 \text{ sek.}$$

3. Mitu grammi vaske võivad 12 amp 2 tunni jooksul ära lahutada?

$$G = 0,010386 \cdot \frac{63,6}{2} \cdot 12 (2 \cdot 3600) =$$

$$= 28300 \text{ mg} = 28,3 \text{ g}$$

4. Kui suur on vool i , mis 6,1 g vaske 12 minuti jooksul ära lahutab?

$$i = \frac{G}{0,010386 \cdot \frac{a}{k} \cdot t} = \frac{6100}{0,010386 \cdot \frac{63,6}{2} \cdot (12 \cdot 60)} =$$

$$= 26,1 \text{ amp.}$$

14. Polariseerimine.

Kui me ühendame kaks väävelhappe lahus seisvat platinaplaati vooluallikaga, siis la-

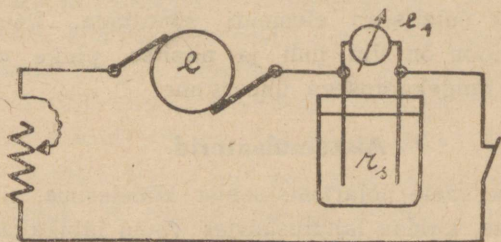
guneb väävelhape vesinikuks ja hapnikuks, vesinik kogub väikeste vullidena katoodi külge ja hapnik anoodi külge. Lagunemine lõpeb aga varsti. Kui me nüüd vooluringi katken-dame, siis võime tähele panna, et lahutuskärje näpitsuga ühendud voltmeeter 2 kuni 3 volti näitab. Lahutuskärg on saanud elektri ele-mendiks. Tahame aga, et lahutus jälle algaks, peame vooluallika emj-du suurendama, sest et meie lahutuskärg emj-du sünnitab, mis voolu-allika emj-le vastu töötab. Vastutöötavaid la-hutuskärjes sünnitud emj-du nimetakse pola-risatsiooni emj-ks, ja vool, mida ta välja saa-dab (meie näituses voltmeetrist läbi) — pola-risatsioonivooluks. Polariseerimisvool jookseb alati algusvoolule vastupidises sihis lahutus-kärjest läbi. Algusvoolu nimetakse polarisee-rivaks vooluks.

Väävelhappe lahu lahutamiseks vesinikuks ja hapnikuks tekitab lahutuskärjes elektriele-ment, mis sisaldab vesinikku, väävelhapet ja hapnikku, tema polarisatsiooni emj mõjub ai-nult nii kaua, kuni elektroodid väikeste gaasi-vullidega kaetud on. Täheleb, polarisat-siooni emj on niisugune elektromootoriline jõud, mis tekitab lahutuskärje elektroodide keemilise muutmise tõttu.

Välise emj suurendamise peale vaatamata tõuseb polarisatsiooni emj ainult teatud piirini.

Ta on elektrolüüdi eriomadus ja teda ei või muuta, on aga igal elektrolüüdil isesugune.

Et elektrolüüdi lahutust alal hoida, peab väline emj polarisatsiooni emj-st suurem olema pingelangemise võrra sisemise takistuse tõttu (joonistus 19).



Joon. 19.

Tä h e n d a v a d :

e_1 = lahutuskärje näpitsepinget

E = lahutuskärje polarisatsiooni emj,

i = voolu

r_s = sisemist takistust,

siis on

$$e_1 = E + i \cdot r_s \text{ (täitmine) } \dots 19.$$

Töötab aga lahutuskärg kui vooluallikas, siis on ta näpitsepinge e_n polaritsatsiooni emjõust vähem pingekaotuse võrra sisemise takistuse läbi.

$$e_n = E - i \cdot r_s \text{ (tühjendamine) } \dots 19.$$

Lõpuks olgu veel juhtumine näidatud, kus polarisatsiooni emj null on. Kui vasevitriooli lahutada ja selleks keemiliselt puhast vaske anoodiks tarvitada, siis kogub katoodi külge keemiliselt puhas vask ja anoodist lahkub keemiline puhas vask. Mõlemate elektrootide keemiline olek on ühesugune ja ei või see-pärast sulatisega elementi sünnitada. Polarisatsioon on siin null ja näpitse pinge on oomi pingekaotusega ühesugune.

Akkumulaatorid.

Kui meie polarisatsioonist kõnelesime, siis nägime, kuidas lahutuskärjes voolu läbikäimisega negatiivse plaatinaplaadi külge vesinik ja positiivse plaadi külge hapnik kogusid. Mõlemad plaadid olid isesugused elektrilised, nende elektriline aste (potentsiaal) oli isesugune, ühendati elektrootid traadiga, siis voolas temas elektrivool — polarisatsiooni vool. Vool vältas nii kaua, kuni gaasid veel elektrootide küljes olid. Nii on meie lahutuskärjel galvanilise elemendi omadused ja teda nimetakse teisendelemendiks.

Sel kujul oli võimata teisendelementa tehnikas tarvitada, sest pikema seismise järel kadusid elektrootide külge kogutud gaasimullid ja polarisatsiooni emj oli null.

Sellepärast katsuti lagunemise saaduseid

võita mitte gaasidena, vaid kindlate kehade kujul. Prantslasel Gaston Planté'l läks korda hoolsate katsete järel otstarbekohast teisend-elementi valmistada. Tema leidis, et tina selle jaoks on iseäranis kohane materjal. Kui kaks tinaplaati lahja väävelhappe lahusesse kasta ja niisugusest lahutuskärjest vool läbi saata, siis laguneb vesi elektrolüüsi läbi vesinikuks (H_2) ja hapnikuks (O). Hapnik rändab voolusihi vastu positiivse elektroodi juure ühineb seal tinaga tinaülihapendiks (PbO_2).

Vesinik kogub end negatiivse plaadi külge, viimane ei muuda ennast mitte. Lahutuskärjest on nüüd galvaniline element saanud, mis koos seisab:

tinast | väävelhapest | tinaülihapendist.

Tema emj on 2 volti ja mõjub juba vooluläbikäimise, s. o. täitmise ajal näpitspingele vastu. Lülitame elemendi voolujuhiga, siis tekkib viimases elektrivool, mis täitmise voolusihile vastu voolab. Lagunemise saadused on nüüd jälle vesinik ja hapnik, nad rändavad aga ümberpöördult, sest voolu siht on ka teine. Vesinik rändab nüüd positiivse plaadi, s. o. tinaülihapendi külge ja taandab (reduitseerib) viimase tinahapendiks, hapnik kogub ennast negatiivse plaadi külge ja muudab puhta tina tinahapendiks. Vool kahaneb ja lõpeb viimaks üsna, kuni kõik tinaülihapendi

tagavara taandud on ja mõlemad plaadid tinahapendiga kaetud, s. o. keemiliselt ühesugused on.

Vool, mida niisugune element anda võib, on väikese vältusega ja kiiresti langeva emjõuga. Planté'l läks korda voolu kestvuse aega selle läbi pikendada, et tema elementi nädalate, isegi kuude kaupa täitis ja tühjendas. Ülihappendi kiht sai päevpäevalt paksemaks ja tungis ikka sügavamale tinaplaati. Niisugune protsess nimetakse formatsiooniks (element saab formeeritud) ja element ise akkumulaatoriks. Planté akkumulaatorite formeerimiseks kulutakse palju voolu ja aega, mille tõttu nad väga kalliks lähevad. Faure'l läks korda formeerimist keemilisel teel selle läbi lühendada, et algusel kohe mõlemad tinaelektroodid menniguga (Pb_3O_4) kattis, mis täitmise juures positiivse plaadi küljes tinaühlihappendiks ja negatiivse plaadi küljes puhtaks tinaks muutub. Plaatide peale lihtsalt määratud Pb_3O_4 laguneb aga kergesti, sellepärast tarvitakse nüüd plaate, millesse otstarbekohased sooned sisse pressitud, mis paksu pudruna sissepressitud massi paremini hoiavad. Positiivne plaat on peenesilmusline tinaristik, mis peene mennigu korrage kaetakse. Aja jooksul pudeneb mass siiski välja, kuid

selleks ajaks on suure pinnaga tinaplaat ise juba aktiivseks massiks muudetud.

Suuresilmusline negatiivse plaadi tinaristik täidetakse tina ja väävelhappe seguga, ta ei ole nii õrnatundelik, kui positiivne plaat, sest temas muudetakse sulfaat (väävelhape metall) tinaks, ja ümberpöörduvalt.

Niimoodi valmistud akkumulaatori võib nüüd õige lühikese ajaga täitsa tegevusevõimuliseks teha; neid formeeritakse tarvituskohal 36 tunniga.

Akkumulaatori emj oleneb elektrolüüdi koonduusest, ta tõuseb täitmisega, kus vesinik ja hapnik seotakse ja erikaalu poolest raskem väävelhape vabaneb, ja kahaneb tühjendamisega, kusjuures vesi vabaks saab, ning elektrolüüdi erikaalu kergemaks teeb.

Hapniku erikaalu mõedetakse aeromeetriga, see on kinniste otstega gradueeritud klaasitoru, mille vajumise sügavus elektrolüüdisse mõeduks on erikaalule. Keskmine hapniku erikaal on 1,15 ($= 19^{\circ}$ Bomee, 20° B. täidetud ja 18° B tühjendud olekus) (vaata tabel nr. IV).

Tabel nr. IV.

Väävelhappe lahu (elektrolüüdi) erikaal 15° C juures.

Eri- kaal	Kraadi Bomee	H ₂ SO ₄ 0/00/0	Eri- kaal	Kraadi Bomee	H ₂ SO ₄ 0/00/0
1,025	3,4	3,76	1,175	21,4	24,12
1,050	6,7	7,37	1,200	24,0	27,32
1,075	10,0	10,90	1,225	26,4	30,48
1,100	13,0	14,35	1,250	28,8	33,43
1,125	16,0	17,66	1,275	31,1	36,29
1,150	18,8	20,91	1,300	33,3	39,19

Akkumulaatori täitmine algab 2 voldiga. Polariseerimise emf tõuseb aegamööda kuni 2,45 voldini, sessamas mõetus peab ka täitmisepinge kuni 2,6 — 2,7 voldini tõusma, et täitmisevool võimalikult ühesuguseks jääks.

On selle pingeni jõutud, siis peab täitmine veel vähe aega edasi kestma selleks, et kõik aktiivne mass saaks ümbermuudetud. Nüüd hakkab kärg «keema», s. o. vesinik ja hapnik koguvad end intensiivselt elektrodide külge, mille tõttu elektrolüüdi takistus tuntavalt kasvab (järsk käänak täitmise kõverjoones), ja lahkuvad gaasidena kärjest.

Akkumulaatori täitmisel sünnib temas järgmine protsess:

Täitmine.



Olek enne täitmist:

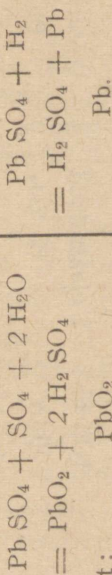
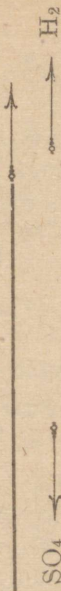
Voolusiht kärjes:

Ioonid rändavad:

Kemiline sündmus:

Lõpusaadus peale täitmist:

Täitmise pinge on $e = E + i \cdot r_s$



Tühjendamine.

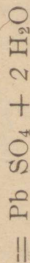
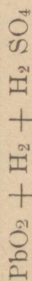


Olek enne tühjendamist:

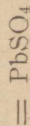
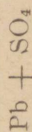
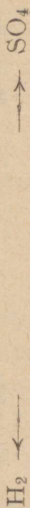
Voolusiht kärjes:

Ioonid rändavad:

Keemiline sündmus:



Lõpusaadus peale tühjendamist:



Tühjendamine algab umbes 2,00 voldiga ja langeb ruttu 1,9 voldini. Akkumulaatori näpitseping on

$$e = E - i \cdot r_s$$

Tühjendamist lõpetakse, kui näpitspinge kuni 1,8 voldini on langenud. Edasi tühjendamisega sünniks plaatide peale sulfaat, mille ümbermuutmine täitmise juures palju elektrienergiat tarvitaks.

Kogutud energia on saanud vabaks ja akkumulaator tühjendud, sest mõlemad plaadid on nüüd keemiliselt ühesugused.

Akkumulaatori täitmisega ei kogu meie mitte elektrit, nagu see kondensaatoriga sünnib, vaid muudame keemiliselt aktiivse massi ümber. Kui meie sellegipärast akkumulaatori mahtuvusest räägime, siis on temal hoopis teine mõiste kui kondensaatori mahtuvusel. Akkumulaatori mahtuvus on elektrikogu ampeertundides, mis akkumulaatori tühjendamisega liikuma pannakse. Kuna kondensaator täitmise juures elektrit kogub ja teda tühjendamisel jälle tagasi annab.

Akkumulaatori mahtuvus on ära määratud aktiivse massi kaaluga ja ei olene teoreetiliselt mitte sellest, kas kärg tühjendakse suure vooluga lühikese aja jooksul, või väikese vooluga pikema aja kestvusel, ta ei olene ka

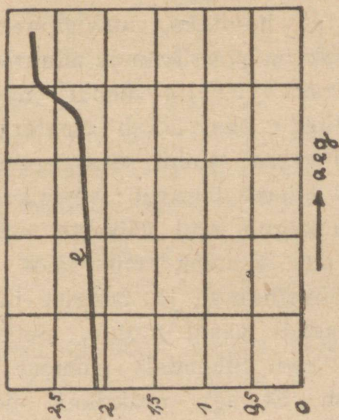
mitte sellest, kui suure vooluga ta enne seda täideti.

Praktiliselt leiame aga, et akkumulaatori mahtuvus tühjendamisel suure vooluga väiksem on, kui tühjendamisel vähema vooluga. Seda võib lihtsalt sellega seletada, et suure vooluga tühjendamisel aktiivne mass ainult pealiskaudselt ümber muudetakse, kuna sügavamad kihid sellest sugugi osa ei võta.

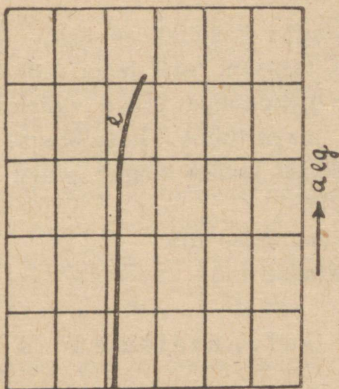
Akkumulaatori kasulikkuse tegur ampeer-tundides on

$$\eta_A = \frac{\text{tühjendamise ampertunnid}}{\text{täitmise ampertunnid}} = 0,90 - 0,95.$$

See vahekord peaks teoreetiliselt üks olema, sest akkumulaatori täitmine ja tühjendamine on aktiivse massi sünnitamine ja ümbermuutmine ja liikuma pandud elektri hulgad on sellele massile proportsioonalsed. On aga akkumulaator kauemat aega seisnud, siis tühjendab ta vähe iseennast lokaalvooludega, mis ühe ja seesama plaadi külges tekkida võivad mitte täitsa puhta hapniku ehk selle isesuguste erikaalude tõttu. Teiseks on kasulikkuse tegur ka sellepärast vähem kui üks, et osa täitmise ampertundidest kulutakse kasuta gaaside sünnitamiseks, sest täitmise lõpul on aktiivne mass pea täielikult ümber



Joon. 20 ja 21.



muudetud ja üleliigne vesinik ja hapnik lahkuvad gaasidena õhku.

Akkumulaatori kasulikkuse tegur watttundides on aga tähtsam, sest tema näitab meile täitmise ja tühjendamise tööde vahekorda, ta on väiksem ampertunni kasulikkuse tegur, sest tühjendamise juures langeb pinge (vaata joon. 20 ja 21).

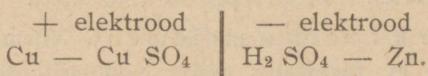
$$\eta_w = \frac{\text{tühjendamise töö}}{\text{täitmise töö}} = 0,7 - 0,8.$$

16. Galvanielemendid.

Kõige lihtsam galvanielement on vask ja tsink vedela väävelhappe sees. Et väävelhappe tsinki ei hävitaks, amalgameeritakse viimane. Vask on positiivne ja tsink — negatiivne elektrod. Kui elemendi näpitsesga voolujuhti lülitada, siis voolab elekter väljaspool elementi vasest tsinki, seest aga tsingist vasesse. Väävelhappe laguneb: vesinik rändab vase juure ja kogub seal väikeste vullidena. Nüüd tekkis uus element, mis koos seisab vesinikust, väävelhapest ja tsingist ja mille emj alguselemendi vastu töötab. Sellepärast raageb vool, see tähendab element polariiseerib ennast. Et aga praktikas elementa võimalikult ühesuguse emjõuga nõutakse, siis peab vabaks saanud vesiniku läbi tekkinud

polarisatsiooni kõrvaldama. Vesinik peab kohe pärast lahutamist siduma.

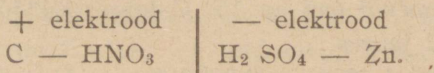
Daniell'i elemendis tarvitakse selleks otstarbeks kahte vedelikku: vasevitriooli ja vedelat väävelhapet. Vedelikud on savitsilindri abil üksteisest lahutud. Vaskplaat pistetakse vasevitriooli, tema on positiivne elektrood; tsinkplaat pannakse väävelhappe sisse, tema on negatiivne elektrood:



Vesinik, mis vooluga tsingist läbi sõreda savitsilindrist kogub vasevitriooli, ühineb siin vasevitriooliga väävelhappeks ja tehakse nii viisi kahjutuks.

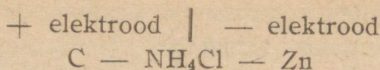
Daniell'i elemendi emj on 1,07 volti.

Bunseni elemendis on süsi kui positiivne naba salpeetrihappes ja tsink kui negatiivne naba väävelhappes. Vedelikud on jälle saviseinaga lahutud:



Vesinik ühendab ennast salpeetrihappega veeks. Emj on 1,9 volti.

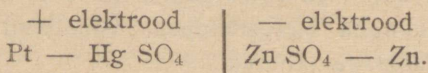
Lechanché elemendi elektroodid ontsink ja süsi, salmiaagulahus:



Et salmiaagulahu lagunemisega vabastud söejuure rändav vesinik elementi mitte ei polariseeriks, ümbritsetakse söeelektrood hapniku poolest rikka pruunkiviga. Vesinik redutseerib pruunkivi (mangaanülihapiend) mangaanhapiendiks ja ühineb vabaks saanud hapnikuga veeks. Tema emj on 1,45 volti.

Clark'i normaalelement. Normaalelementa ei tarvitada mitte vooluallikatena, vaid ainult pingevõrdlemiseks. Nende emj on muutmata, sellepärast võib neid ainult suurte takistustega ühendada.

Clark'i normaalelemendi positiivne elektrood on amalgameeritud plaatina koondud elavahõbe sulfaadi lahus, negatiivne elektrood on puhas tsink koondud tsinksulfaadi lahus.



Elemendi emj on 15° C juures 1,4336 volti, ja t° C juures.

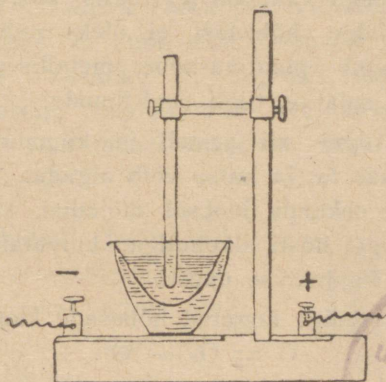
$$E = 1,4336 - 0,0012 (t - 15) \text{ volti.}$$

Voltmeetri'd.

a) Hõbevoltmeeter.

Seadusline voolusuuruse määramine sünnib elektrolüüdilisel teel hõbevoltmeetriga. Ka-

toodiks tarvitakse plaatinast tiiglit, anoodiks puhast hõbedat ja elektrolüüdiks lahu, mis koos seisab 20—40 kaaluosast puhtast hõbenitraadist (AgNO_3) ja 100 veekaluosast. On igast 100 sm^3 lahust 3 grammi hõbedat lahutud, siis tuleb elektrolüüt uuendada (joon. 22).



Joon. 22.

Sade katoodi peal ei tohi suurem olla kui 0,1 grammi ruutsentimeetri peale. Voolusuurus anoodi peal ei tohi üle 0,2 ampeeri ruutsentimeetri peal ja katoodi peal mitte üle 0,1 ampeeri ruutsentimeetri peal olla. Et vooluläbimiseks anoodi küllest väikesed tüki-kesed katoodi peale kukkuda võivad, siis seatakse selle ärahoidmiseks anoodi alla väike klaasnõu. Nõuetav pinge on umbes 1 volt.

Enne katset pestakse tiigel koondud salpeetrihappes ja kuumutakse siis, et sellega hävitada juhtuvaid orgaanilisi mustusi. Peale seda ei tohi tiiglit seestpoolt käega puudutada, vastasel korral ei jääks hõbesade tiigliseina külge pidama. Enne kuumutamist peab aga hoolega vaatama, et tiiglis kõige vähematki jälge hõbedast ei oleks näha, sest muidu võib plaatina-hõbe metallisegu, mis kergesti sulatav, tiigli peal ilmuda.

On tiigel nii pestud ja kuumutud, siis kaalutakse ta, ja katse võib algada. On vooli amp. t sekundi jooksul mõjunud, siis pestakse tiigel hästi alkoholiga, kuivatakse õhu käes ja kaalutakse uuesti.

Tiigli külge kogutud hõbesade kaal on

$$G = G_2 - G_1.$$

Siin tähendab:

G_1 = tiiglikaal enne katset,

G_2 = tiigli kaal pärast katset.

Faradei'i seaduse järele on lahutud kaalukogu

$$G = G_2 - G_1 = \gamma \cdot \frac{a}{k} \cdot i \cdot t \text{ mg}$$

Voolusuurus on:

$$i = \frac{G_2 - G_1}{\gamma \cdot \frac{a}{k} \cdot t}$$

b) Paukgaasvoltmeeter.

Elektroodid on plaatinaplaadid, elektro-
lüüt — 20⁰/o väävelhape. Torusarnane nõu-
osa, mille läbimõet umbes 4 sm, on kuubik-
sentimeetride järele gradueeritud ja termo-
meetriga varustud (joon. 23). Vooluläbimine-
misega lahutakse elektrolüüt vesinikuks H₂ ja
hapnikuks O, mis end koguvad gaasidena
torusse. Vesiniku ja hapniku segu selles
vahekorras, kuidas nad vee sees olemas
(2 : 1), sünnitavad lõhkolluse, mis nimetakse
paukgaasiks.

Lahutud paukgaasi
ruumisuurusest võib välja
arvata voolusuurst, kui
tuntud on temperatuur
ja rõhumine.

Lahutud gaasi kaal on

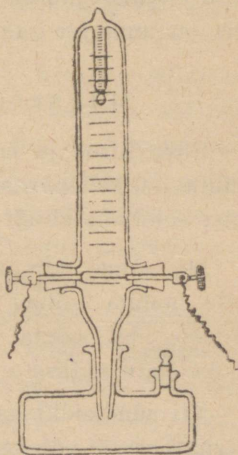
$$G = \gamma \cdot \frac{a}{k} \cdot i \cdot t \text{ mg}$$

Vesiniku jaoks on

$$\frac{a}{k} = \frac{1}{1},$$

seega lahutab 1 amp 1
sekundis

$G = \gamma \cdot i \cdot t = 0,010386 \text{ mg}$
vesinikku (vaata Faradei
seadused).



Joon. 23.

Vesniku erikaal on 0,0693, õhu erikaal — 1,293 mg ühe kuubiksentimeetri peal.

Lahutud vesniku ruum on

$$V = \frac{0,010386}{0,0693 \cdot 1,293} = 0,116 \text{ sm}^3.$$

Paukgaasi ruum seisab aga koos 2 osast vesinikust ja 1 osast hapnikust. Viimase ruumisuurus on siin pool vesniku ruumist:

$$0,116 + 0,058 = 0,174,$$

see tähendab, et 1 ampeer lahutab 1 sekundis 0,174 sm³ paukgaasi. Need andmed on aga ainult õiged 0° C veetemperatuuri ja 760 mm õhurõhumise juures. On õhurõhumine vähem, siis on muidugi gaasiruum vastavalt suurem.

17. Magneedinaba tugevus.

Elektrilised ja magneetilised massid ei ole nähtavad, sellepärast võib nende masside olemist seletada ainult oletuste abil.

Me võime aga nende tugevust ja mõju tähele panna, võime arenenud jõudu hoolsate katsete abil mõeta ja nende andmete järel tõukejõudu määrata.

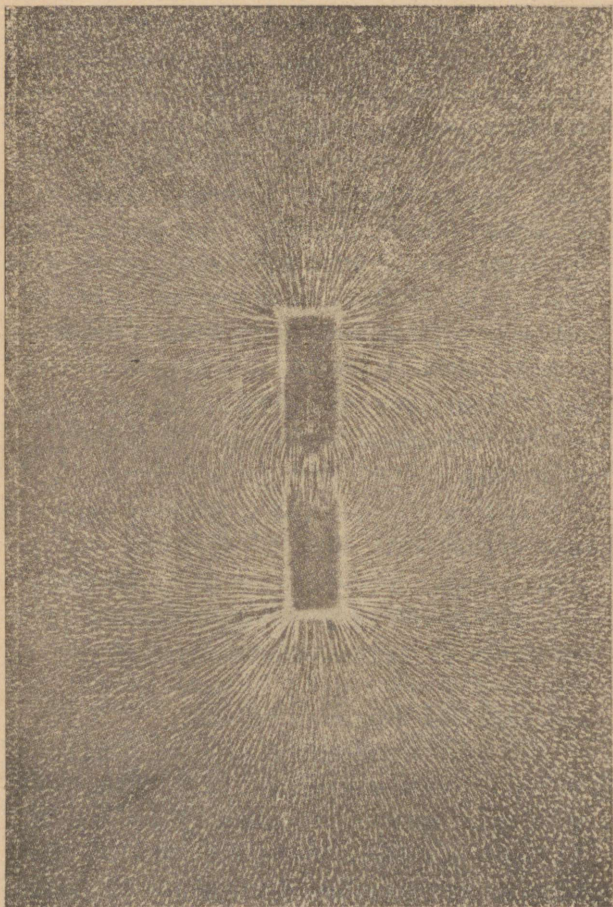
Nii sündisidki katsete abil kindlad ja ümberlükkamata põhiseadused. Elektrilisi ja magneetilisi probleeme võib kergem välja arvata kui seletada.

Nii kui on olemas positiivne ja negatiivne elektrivool, nii tunneme ka positiivset ja negatiivset elektrit. Mõlemad magnetismused on ühel ajal ühepaljusel olemas, nemad on oma kandjaga, see on rauaga, ikka seotud.

Magneet on teraspulk, millel omadus rauda oma külge tõmmata. Nimetud omadusega metallikivi leiti esimesena Magneesia linna läheduses. Sellepärast nimetakse metalli, mis rauda külge tõmbab, magneediks. Kui niisugune teraspulk panna rauapurusse, siis näeme, et kõige rohkem pulgaotste külge on jäänud neid. Neid kohti, kus külgetõmbejõud kõige suurem, nimetakse magneedi nabadeks (joonistus 24).

Vertikaalse telje ümber keerlev magneet seab ennast ikka ühe ja sellesama nabaga geograafilise põhjanaba poole. Magneedinaba, mis näitab geograafilise põhjanaba poole, nimetakse magneedi põhjanabaks, teine ots — magneedi lõunanabaks. Kaugus nabade vahel nimetakse magneedi teljeks.

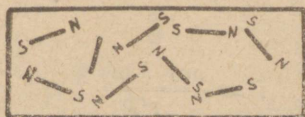
Kui kaks magneeti üksteisele lähendada, siis võib tähele panna, et kaks ühenimelist naba teine teist ära tõukavad, kaks isenimelist naba aga külge tõmbavad. Sellest järeldame, et geograafilises põhjanabas füüsikaline lõunanaba ja geograafilises lõunanabas füüsikaline põhjanaba on.



Joon. 24.

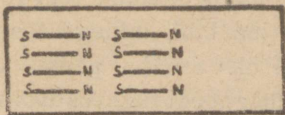
Kui me murrame magneedipulga keskelt läbi, siis saame kaks iseseisvat magneeti, kumbki põhja- ja lõunanabaga. Jagame mur- tud magneedi jälle kaheks, siis saame jällegi kaks iseseisvat magneeti. Niisuguse jagami- sega jõuaksime lõpuks metalli moleekulideni, mis füüsikaalisel teel jagamata. Sellepärast peame oletama, et magneedi moleekulid ise magneedid on (joon. 25).

Magneedita rauas on magneedi molee- kulid ükskõikses seisukorras, nad tööta- vad üksteisele vastu ja ei avalda väljaspoole



Joon. 25.

magnetismust. Magnetiseeritakse aga raud, siis seavad moleekulid ennast niiviisi ritta, et kõik põhjanabad ühtepoole ja lõunanabad teise poole pööratud on (joon. 26).



Joon. 26.

Kulomb oli esimene, kes jõudu, millega kaks naba teineteise peale mõjuvad, mõetis. Tema leidis, et see jõud vastuproportsionaalne on magneetide omavahelisele kaugusele teises astmes ja proportsionaalne nabade tugevuse kasvatisesele.

T ä h e n d a v a d :

f = jõud, millega need kaks naba külge tõmbavad,

m_1 = ühe naba tugevus,

m_2 = teise naba tugevus,

r = kaugus nabade vahel,

siis on

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

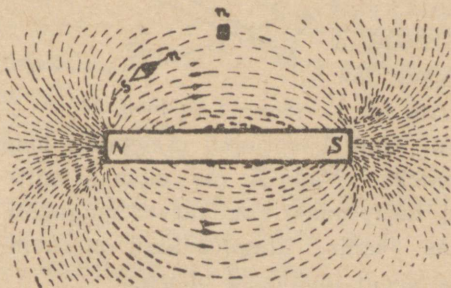
Pikkuse üksus on sentimeeter, jõu üksus on düün. Paneme me arvlauses $f = 1$ düün, $r = 1$ sm ja oletame, et $m_1 = m_2$, siis on $m_1 = m_2 = 1$, see tähendab, nabal on tugevus 1, tema mõjub samasuguse tugeva naba peale 1 sm kaugusel jõuga 1 düün. Tähendab, magneedinaba tugevust mõedame meie selle jõu läbi, millega tema mõjub 1 sm kaugusel oleva naba peale, mille tugevus 1 on, ehk magneedi tugevus üks on see tugevus, mis mõjub samasuguse tugeva naba peale 1 sm kaugusel jõuga 1 düün.

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ düüni} \dots \dots \dots 20.$$

$$(1 \text{ düün} = \frac{1}{981000} \text{ kg}). \quad (\text{Järgneb}).$$

18. Magneedi väli ja välitugevus.

Kui magneedi peale paberileht panna ja lehe peale rauapuru puistame, siis seavad nad ennast isemoodi üles, nagu joon. 27 näidatud. Nende tihedus on nabade kohal kõige suurem, ja mida lähemale nad magneedi keskkohale

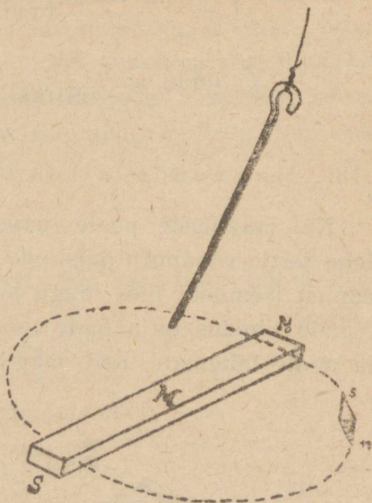


Joon. 27

jõuavad, seda harvemaks nad saavad. Neid jõujooni võib ka järgmisel viisil joonestada. Võtame pika ja peenikese magneedi ja riputame õige pikalt üles, aga nii, et vaba ots pea-aegu paberi külge puutub, millel magneet ase-

tud (joon. 28).

Magneedimõju tõttu liigub vabalt rippuv traat nende kõverjoonte järel, mille järel viiliraia puru tükikesed ennast üles seadsid. Täheks, magneedi külge tõmbavad ja äratõukavad jõud mõjuvad ka nende kõverjoonte järgi



Joon. 28

mööda. Neid kõverjooni nimetakse magneedi jõujoonteks. Nad ei ole olemas mitte üksi paberi tasapinnas, vaid terves magneeti ümbritsevas ruumis. Magneediväli on ruum, milles magneedi jõujooned olemas.

Et luua magneedivälja tugevusele mõetu, paneme m tugevusega naba magneedi väljasse ja arvame välja selle jõu, millega tema külge tõmmatakse ehk ära tõugatakse. See jõud on ühelt poolt proportsionaalne nabatugevusele m, mille peale magneediväli mõjub, teiselt poolt aga

ka proportsionaalne magneediväljale. Kui väljatugevus H on, siis saame

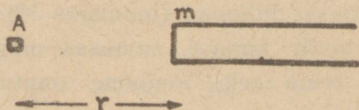
$$f = m \cdot H.$$

Kui selles arvlauses $m = 1$ paneme, siis on $H = f$. Tähendab, väljatugevus H on see jõud düüni-des, mis vastavas kohas mõjub naba peale, mille tugevus 1 on. Tugevuse üksus on väljal, kui ta mõjub 1 düüniga naba peale, mille tugevus 1.

Et väljatugevust välja arvata, võtame niisuguse juhtumise, kus üks magneedi naba väga kaugel on. Sellega võime teise naba mõju tähele panna

nemata jätta (joonistus 29).

Et nüüd välja arvata magneedi m väl-



Joon. 29.

jatugevust vabalt punktis A r sm kaugusel, paneme punkti A peale naba, mille tugevus 1. Kulombi järele saame siis:

$$f = \frac{m \cdot 1}{r^2}$$

Et meil aga tegemist on jõuga, mis mõjub tugevusega 1 naba peale, siis võime üleval arvlauses f asemele panna H :

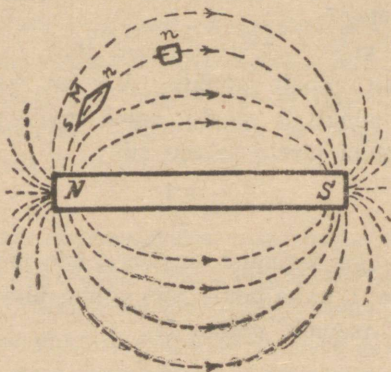
$$H = \frac{m}{r^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 21.$$

on 1 tugevusega naba asemel naba m_1 tugevusega, siis on:

$$f = \frac{m \cdot m_1}{r^2} = m_1 \cdot H.$$

19. Magneedi jõujooned.

18. jaos näidati, kuidas rauapuru tükikesed ennast isemoodi ritta seavad, kui neid puistata paberilehe peale, mille all magneet. Kukkumise silmapilgul said nad magnetiseeritud, üks tükike tõmbas oma külge teise ja niiviisi tekkisid kõverjooned, mida nimetasime magneedi jõujoonteks. Oletame, et need jõujooned põhjanabast välja tulevad ja lõunabasse lähevad (joonistus 30). Magneedinõel M seab ennast samases magneediväljas nii, et tema telg jõujoone puutujaks on ja oma



Joonistus 30.

põhjanabaga näitab jõujoone positiivse sihi poole. Vabalt rippuv põhjanaba, mille lõunababa kaugel eemal, liigub jõujoonte jälgis.

Magneedi jõujoon ei ole muud kui vabalt rippuva põhjanaba teekond ehk magneedi jõu siht. Ettekujus, et jõujooned kui niisugused tõesti olemas, on aga väga soovitatav. Meie nägime ka, et seal, kus jõujooni rohkem, s. o. tihedamini koos oli, nagu nabades, nende mõju ka suurem oli, tähendab nende tihedus on meile jõumõedeuks. Harilikult öeldakse ka, et jõud, mis vastavas kohas magneediväljas liikuva naba peale mõjub, oleneb sellest, kui palju sellel kohal jõujooni olemas ühe ruutsentimeetri peal, sealjuures oletades, et jõujooned lõikavad ruutsentimeetri pinda perpendikulaarselt.

Tähe H-ga nimetasime väljatugevust ja ütlesime, et H see jõud on, mis mõjub 1 tugevusega naba peale. Nüüd ütleme, et $H=1$, kui üks jõujoon 1 sm^2 lõikab, ja tugevus on H, kui H jõujooned pinnaüksust lõikavad, tähendab H on jõujoonte hulk 1 sm^2 peale.

On H näituseks 8000, siis lõikavad 8000 jõujoont 1 sm^2 , see tähendab, et naba peale, mille tugevus 1 on, 8000 düüni mõjuvad. Ei ole meie pind mitte 1 sm^2 , vaid $q \text{ sm}^2$, siis on üldine jõujoonte hulk

$$\Phi = H.q$$

Nabast m väljaminev jõujoonte hulk Φ lõikab 1 sm kaugusel kerapinda 4π sm² suurusel. Jõujoonte hulk 1 sm² peal on

$$\frac{\Phi}{4\pi}$$

Kulombi seaduse järele on meie juhtumisel väljatugevus selle pinna kohal

m. 1
1 2

tähendab

$$\frac{\Phi}{4\pi} = \frac{m \cdot l}{l^2}$$

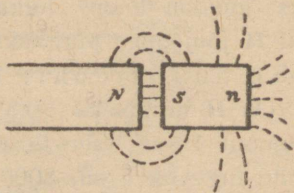
Siit siis on

$\Phi \equiv 4. \pi. m$ 22.

20. Raud magediväljas.

Puistame rauapuru magneedi peale, mille läheduses rauatükk, siis näeme, et esialgne väli ennast nüüd muutnud on. Rauatükk tõmbab jõujooni oma sisse (joonistus 31), magneedi poole pööratud raua

otsas on nende kogu
hästi suur. Sellest
peame otsustama,
et rauds nabad sün-
nitakse. On mag-
needi naba posi-
tiivne, siis on rauds
sünnitad naba nega-



Joon. 31.

tiiyne. Sellesamale otsusele jõuab ka jõu-

joonte teooria. Tema seletab, et raua jõujoonte läbilaskmise võimalus väga suur on, nii et jõujooned, kui see neil võimalik, heameelega rauast läbi jooksevad. Sellepärast tõmbab ka magneet rauatükki külge, sest jõujooned lühendavad sel kombel oma teid.

Magneet, mis rauatükki magnetiseeris, oli terasmagneet. Tema magnetismus on jäädav. Raud aga on ainult nii kaua magneediline, kui ta magneediväljas on, ta kaotab magneedi omaduse, kui ta ära võtta sellest väljast. 17. jaos nägime, et ka mittemagneedilises rauas moleekulid magneedid on, nad ei avalda aga väljaspoole magnetismust, sest nad on korratud olekus. Raua magnetiseerimisega aga seavad moleekulid ennast ühes sihis ritta. Mida tugevam magnetiseerimise jõud, seda rohkem moleekule seavad ritta on kõik moleekulid ühes sihis ritta seatud, siis on raud küllastud. Pehmes rauas keeravad moleekulid ennast peale magnetiseerimist endisse seisukorda tagasi, ja seda rohkem, mida pehmem on raud. Karastud terases jäävad aga moleekulid peale magnetiseerimist püsima, teras saab jäädavaks magneediks.

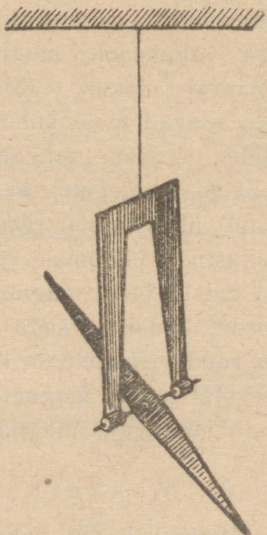
21. Maakera magneediväli.

Maakeral on kaks magneedinaba, mille vahel jõujooned olemas — teda ümbritsevad jõu-

jooned. Mõetmised näitavad, et magneedi ja maakera meridiaanid ühte ei lange, vaid nurga sünnitavad, mida deklinatsiooniks nimetakse. Deklinatsioon on läänepoolne, kui magneedi põhjanaba geograafilisest meridiaanist läänepool seisab, ja idapoolne, kui magneedi põhjanaba geograafilisest meridiaanist idapool.

Deklinatsioon on igas maakera kohas isesugune, on kohti, kus deklinatsioon null on. Aparat, millega deklinatsiooni mõedetakse, nimetakse deklinatooriumiks.

Kui me magneedi nõelaniiviisi üles riputame, et ta mitte üksi horisontaalselt, vaid ka vertikaalselt liigub (joonistus 32), siis näeme, et nõela magneedi telg ennast küll magneedi meridiaani kaudu seab, põhjapoolne naba aga vajub alla (nõel on raskusekeskpunktis üles seatud), nõela telg kujutab horisondiga nurga, mida inklinatsiooniks nimetakse.



Joonistus 32

Inklinatsioon on kui deklinatsioonigi igas maakera kohas isesugune, mida rohkem põhja poole me läheme, seda suuremaks saab inklinatsioon. Mida rohkem sealteekvaatoripoole jõuame, seda vähemaks saab inklinatsioon, ekvaatoris on ta null. Ekvaatorist lõuna poole edasi minnes võtab inklinatsioon jälle juure, kuid nüüd vajub alla nõela lõunanaba.

Maakera geograafilises lõunanabas on koht olemas, kus magneedinõel jääb seisma täiesti vertikaalselt — see on maakera magneediline lõunanaba. Kapten Ross on Greenviihis inklinatsioonini mõetnud ja leidnud, et ta seal 90° on — see on maakera magneediline põhjanaba.

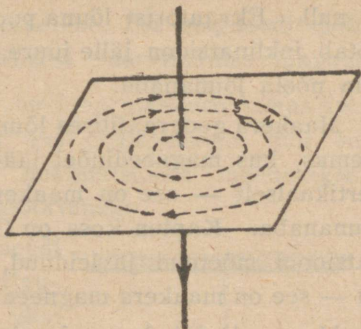
Magneedinõelad seatakse harilikult nii üles, et nad liikuda võivad ainult horisontaalses pinnas, inklinatsiooni jõudu kõrvaldakse nõela toetuspunkti abil, nii et ainult deklinatsioon meil tähtis on.

22. Elektrivoolu magneediline tegevus.

Voolab traadis elektrivool, siis juhitakse lähedal olev magneedinõel omast põhja-lõuna sihist kõrvale. Sellest järeldame, et elektrivool omas ümbruskonnas magneedivälja sünnitab. Neid magneedi jõujooni võib kergesti nähtavaks teha järgmisel viisil. Klaasplaa-

dist, mille keskkohas auk ja mille peale rauapuru puistatud, pistetakse traat läbi. Voolab selles traadis elektrivool, siis seavad end raatükikesed ringjoontena üles (joonistus 33).

Voolu läbi sünnitunud jõujooned on kinisevad ringid, nad ümbritsevad voolujuhti tema terves pikkuses ja nende pinnad seisavad perpendikulaarselt voolujuhile.



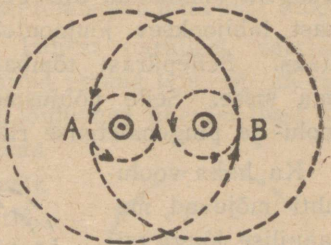
Joonistus 33.

Jõujoonte sihi äramääramiseks tarvitakse Ampeeri seadust:

Kui traadis vooluga ujuda, nii et silmnägu magneedinõela poole pööratud on, siis seisab nõela põhjanaba pahemal pool.

Kui ühe traadi asemel klaasplaadist kaks paralleeltraati läbi pistame ja nendest ühtepidi sihitud voolu saadame, siis näeme, et sünnitunud magneetijõujooned traatide vahel üksteisele vastu mõjuvad, kuna nad A ja B kohas koonduvad (joonistus 34). Jõujoonte

tihedus on väljas suurem kui ühel traadil. Tähendab, kahe voolu abil sünnitud jõujooned ümbritsevad mõlemid traate ühiselt (joonistus 35).



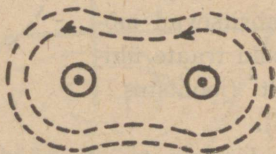
Joonistus 34.

Kerime traadi nüüd pooliks (spiraaliks), siis lõikavad jõujooned üksikute lehvide pindu. Nad ühinevad aga nüüd ja lõikavad tervet pooli pikkade jõujoontena, pooli sees käivad nad enam-vähem paralleelselt pooli teljega ja ühinevad väljaspool pooli (joonistus 36). Pahemal pool tulevad jõujooned välja, paremal poolel jälle sisse, nõnda on siis meie poolil magneedi omadused, ta põhjanaba on pahe- mal, lõunanaba paremal poolel. Järgmise seaduse abil võib pooli nabasid hõlpsasti äratunda: kui lehvi pinda vaadata ja vool kellaseieriga voolab, siis on meie ees lõunanaba, voolab vool kellaseieri vastu, siis on meie ees põhjanaba.

Seega, et voolujuht, kui temast elektrivool läbi jookseb, jõujooni sünnitab, võib tema nüüd ka avaldada mehaanilist jõudu. Nii katsub

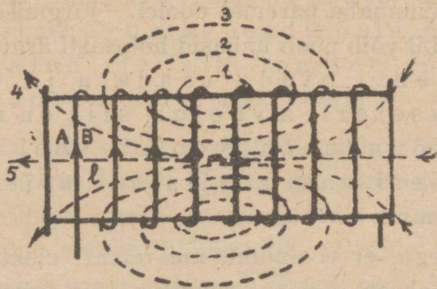
rauapulk omandada niisuguse seisaku, et temast läbijooksev jõujoontehulk maksimumiks saaks. Sellepärast tõmbab pool rauapulga oma sisse. Selle põhjusemõtte järel ehitakse voolu- ja pingemõetmise riistu.

Ka kaks voolujuhti mõjuvad mehaanilise jõuga teineteise peale. Kaks paralleel voolujuhti, kui neist läbijookseb ühtepidi sihitud



Joonistus 35.

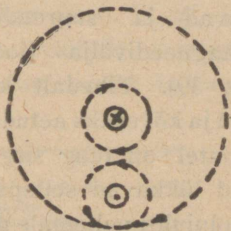
vool, sünnitavad jõujooni, mis mõlemid voolujuhte ühiselt ümbritsevad. Nad mõjuvad üksteise peale nagu kaks paralleel seisvat isenimelist magneeti ja tõmbavad üksteist külge (nende vahel voolavad jõujooned on isenimelised — joonistus 34). Tähendab, paralleel



Joonistus 36.

seisvad voolujuhid, kui nendest läbi voolab ühtepidi sihitud vool, tõmbavad teineteist külge.

Voolavad aga kahest paralleel seisvast juhust vastupidi sihitud voolud läbi, siis näeme, et nende vahelised jõujooned ühenimelised on, väljaspool töötavad nad üksteisele vastu (joonistus 37). Juhtide vahel tihedalt koondunud jõujooned katsuvad omale rohkem ruumi muretseda ja tõukavad juhte laiali. Tähendab, paralleel seisvad juhid,



Joonistus 37.

kui nendest vastupidi sihitud voolud läbi jooksevad, tõukavad teineteist eemale. Selle põhjusemõtte järele ehitakse voolu- ja pingemõetmise riistad, nõnda nimetud dünamomeetrid.

Vool voolab järgemööda ühe paigalseisva ja ühe keerleva pooli läbi. Väga tähtis on tundma õppida tegevust, millega magnetdiväli ja juht, milles vool jookseb, teineteise peale mõjuvad. Joonistuses 38 lõikab voolu-



Joonistus 38.

juht perpendikulaarselt paberipinda. Elektrivool
voolab meie juurest paberi pinna taha. Jõujooned
voolavad paberipinnaga paralleelselt ülevalt alla.
Voolujuhi ümber sünnitud jõujooned on kellaseie-
riga ühes sihis, nad mõjuvad pahemalt poolt mag-
needi jõujoonte vastu, paremal pool aga koon-
duvad ja suurendavad
maagneedivälja (joonis-
tus 39). Tihedalt koon-
dud ja kõveraks aetud jõu-
joontel on tung sirguda,
nad lükkavad sellepärast
voolujuhti pahemale poole
ja panevad tema liikuma,
kui meie magneediväli
paigal seisab.



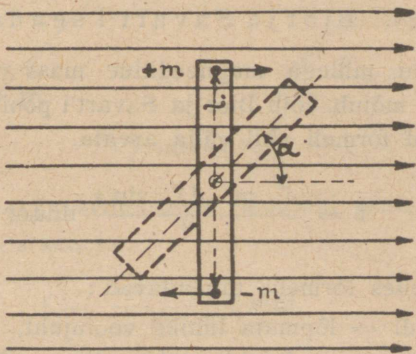
Joonistus 39.

Olenevust magneediväl-
ja, voolusihhi ja juhi liiku-
mise vahel võib kergesti
pahema käe kolme sõrme abil meeles pidada:
teeme esimestest kolmest sõrmest
koordinaadi süsteemi, siis näitab
pöial juhi liikumise, teine sõrm
magneedi jõujoonte ja keskmise
voolu sihte.

23. Magneediline moment.

Asetakse magneet, mille teljepikkus l ja
nabatugevus m , H tugevusega magneediväljasse,

siis mõjub ühe naba peale jõud $+ m \cdot H$, teise naba peale $- m \cdot H$. Kumbki nendest jõududest püüab magneeti keerata keerdmomendiga $\frac{1}{2} \cdot m \cdot H$. Et aga mõlemad jõud magneeti ühes sihis keeravad, siis on üleüldine keerdmoment kaks korda nii suur (s. o. $1 \cdot m \cdot H$. joon. 40). Jõud, millega väli H magneet keerama püüab, oleneb nabatugevusest ja mag-



Joonistus 40.

neediteljest, nende produkt nimetakse magneet-
diliseks momendiks.

M = m . l. 23.

Selle järele on siis keermoment, mis magneedi peale mõjub, M.H.

Kujutab magneedi telg väljajoonte sihiga nurga α , siis on vertikaalne vahe keerdpunkti ja jõu vahel mitte $\frac{1}{2}$, vaid $\frac{1}{2} \cdot \sin \alpha$, siis on ka keermoment

$$M \cdot H \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots 24.$$

on $\alpha = 0$, siis on ka keermoment null, magneedi telg seab ennast jõujoonte sihis ülesse.

24. Biot ja Savart'i seadus.

Jõu, millega magneediline mass voolujuhi peale mõjub, võib Biot ja Savart'i poolt kokku seatud formeli abil välja arvata.

$$f = \frac{i \cdot m \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2} \text{ düüni}$$

Selles formelis tähendavad :

dl = lõpmata lühike voolujuht,

i = voolujuhist läbivoolav vool,

m = naba tugevus,

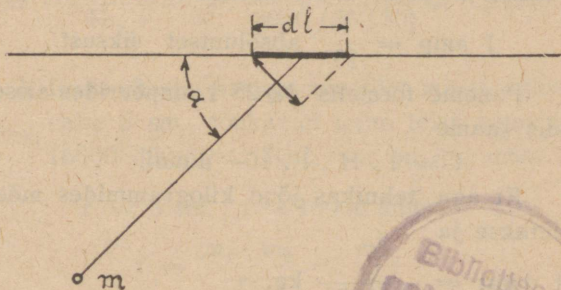
r = vahe naba ja voolujuhi vahel sm,

α = nurk r ja dl vahel.

On nurk α vähem kui 90° , siis trehvvavad jõujooned vertikaalselt ainult dl projektsiooni ($dl \cdot \sin \alpha$), ja ainult see dl pikkus seisab jõujoonte mõju all. On nurk d null, tähendab seisab naba dl pikenduses, siis on ka f null,

tähendab selles seisukohas ei avalda naba juhi dl peale jõudu (joon. 41).

On voolujuht (homogeenses) ühesuguses magneetiväljasja mõjuvad jõujooned mitte nurga



Joonistus 41.

α all, vaid vertikaalselt voolujuhi peale, siis on r konstant, ja

$$f = \frac{i \cdot m \cdot l}{r^2} \text{ düüni.}$$

Eelmistel tingimistel on aga nüüd ka H konstant,

$$H = \frac{m}{r^2},$$

seega siis

$$f = i \cdot H \cdot l \dots \dots \dots 25.$$

Elektrimootoris on kõik nabast väljatulevad jõujooned radiaalselt sihitud, nad lõikavad sellepärast voolujuhti vertikaalselt. Eelmise

formeli abil on meil võimalus antud seda jõudu välja arvata, millega mootori magneedinaba ankru peal oleva juhi peale mõjub.

Formelis № 25 on i absoluutses mõedusüsteemis arvatud, voolu tehniline üksus on

$$1 \text{ amp} = \frac{1}{10} \text{ absoluutset üksust.}$$

Paneme formelis № 25 i ampeerides sisse; siis saame

$$f = i \cdot H \cdot l \cdot 10^{-1} \text{ düüni.}$$

Et aga tehnikas jõud kilogrammides mõedetakse ja

$$1 \text{ düün} = \frac{1}{981000} \text{ kg,}$$

siis saame

$$f = \frac{i \cdot H \cdot l}{9,81 \cdot 10^6} \text{ kg} \dots\dots\dots 26.$$

Näited.

1. Alalise voolu mootor peab 20 HP andma, 250 voolujuhti, mis ankru peal asetud, lõikavad ühel ajal magneedivälja, mille $H = 8000$ jõujoont. Ankur teeb 15 tiiru sekundis, tema pikkus on 30 sm ja läbimõet 40 sm. Kui suur peab vool olema?

Mootori efekt on

$$W = 20 \text{ HP} = 20.75 = 1500 \text{ mkg.}$$

Ankru ümbermõedu kiirus on

$$\pi \cdot D \cdot \frac{n}{60} = \pi \cdot 40 \cdot 15 = 1885 \text{ sm} = 18,85 \text{ m}$$

Ankru tõmbejõud on

$$f = \frac{1500}{18.85} = 80 \text{ kg.}$$

$$i = \frac{f \cdot 9.81 \cdot 10^6}{H \cdot l} = \frac{80 \cdot 9.81 \cdot 10^6}{8000 (250.30)} = 13 \text{ amp.}$$

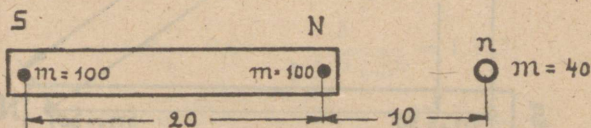
2. Kaks ühesuurust magneedit massi, mille vahe 5 sm., tõukavad teine teist eemale 16900 düüniga. Kui suur on iga mass?

$$r = 5 \text{ sm.}; f = 16900 \text{ düüni};$$

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = \frac{m^2}{r^2};$$

$$m = r \cdot \sqrt{f} = 5 \cdot \sqrt{16900} = 630 \text{ magn. üksused.}$$

3. Mis jõuga mõjub 20 sm pikkune magneet, mille nabatugevus 100, põhjanaba



Joonistus 42.

massi peale, mis 10 sm magneedi põhjanabast eemal ja mille tugevus 40 on?

Joon. 42.

Magneedi põhjanaba tõukab magneedi massi eemale jõuga

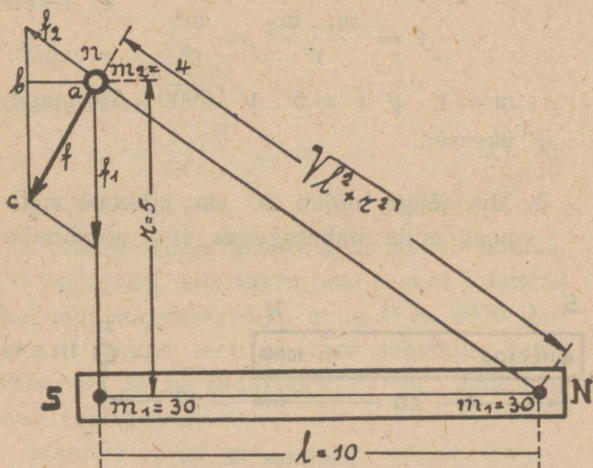
$$f_1 = \frac{100 \cdot 40}{10^2} = 40 \text{ düüni.}$$

Magneedi lõunanaba tõmbab magneedi massi külge jõuga

$$f_2 = \frac{100 \cdot 40}{(20+10)^2} = 4,44 \text{ düüni.}$$

Resulteeriv jõud tõukab magneedi massi eemale jõuga

$$f = f_1 - f_2 = 40 - 4,44 = 35,56 \text{ düüni.}$$



Joonistus 43.

4. Mis jõuga mõjub 10 sm pikkune magneet, mille nabatugevus $m_1 = 30$, põhjanaba

massi peale, mille tugevus $m_2 = 4$ ja mis nii vertikaalselt magneedi lõunanaba peal asetud, et nende vahe 5 sm on? Joon. 43.

Magneedi lõunanaba tõmbab massi külge jõuga

$$f_1 = \frac{30 \cdot 4}{5^2} = 4,8 \text{ düüni.}$$

Magneedi põhjanaba tõukab massi eemale jõuga

$$f_2 = \frac{30 \cdot 4}{10^2 + 5^2} = 0,96 \text{ düüni.}$$

Resulteeriva jõu f võib ordinaatide ab ja bc abil välja arvata.

$$ab = f_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1^2 + r^2}} = 0,96 \cdot \frac{10}{\sqrt{10^2 + 5^2}} = 0,857.$$

$$\begin{aligned} bc &= f_1 - f_2 \cdot \frac{r}{\sqrt{1^2 + r^2}} = \\ &= 4,8 - 0,96 \cdot \frac{5}{\sqrt{10^2 + 5^2}} = 4,372. \end{aligned}$$

$$f = \sqrt{0,857^2 + 4,372^2} = 4,45 \text{ düüni.}$$

5. Ümargune magneetipulk saadab 10000 jõujoont välja. Kui suur on magneedinaba tugevus?

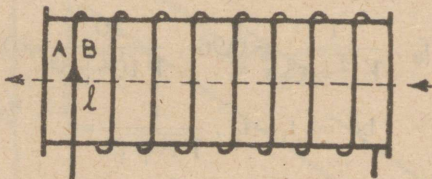
$$m = \frac{\Phi}{4\pi} = \frac{10000}{4\pi} = 800.$$

6. Eelmise näituse magneeditulga läbimõet on 2 sm. Kui suur on jõujoonte hulk 1 sm^2 peal kui oletada, et kõik jõujooned otsapinnast välja tulevad?

$$H = \frac{\Phi}{q} = \frac{10000}{\frac{3,14 \cdot 2^2}{4}} = 3200.$$

25. Solenoidi magneeditulga.

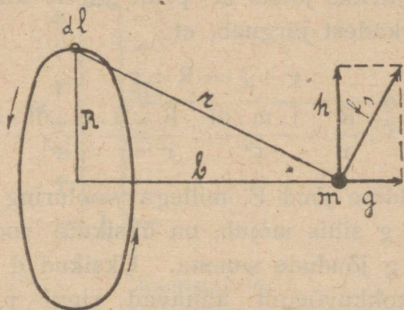
Pooliks keritud voolujuht nimetakse voolukatsaks ehk solenoidiks. 22. osas nägime, et niisugusel voolukatsel magneeditulga omadused on. Joon. 44 on solenoid kujutatud. Selleks, et



Joonistus 44.

solenoidi magneeditulga välja arvata, oletame, et vool ainult ühest keerust läbi voolab ja vaatame, mis jõuga mõjub see vooluring m tugevusega naba peale. Joon. 45 on niisugune voolukeerd kujutatud, mille raadius R on ja mis mõjub b kaugusel oleva naba m peale. Meie võime omale ette kujutada, et see keerd koos

seisab üksikutest juhielementidest dl ja vooluringi üleüldine mõju naba m peale on nende üksikute juhielementide mõjude summa. Biot



Joonistus 45.

Savart'i seaduse järele mõjub juhielement dl naba m peale jõuga

$$f = \frac{i \cdot m \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

Jõud f , millega dl mõjub m peale (joon. 45), seisab vertikaalselt pinna peal, mis läbi dl ja m pandud olgu, tähendab vertikaalselt ka r peal. Sellepärast on $\alpha = 90^\circ$ ja $\sin \alpha = 1$.

$$f = \frac{i \cdot m \cdot dl}{r^2}$$

Seda jõudu f võib kahte osasse jaotada, millest g joone b sihis mõjub ja h vertikaalselt selle joone peal seisab. Jõud h kompenseeri-

takse sama suuruse, kuid vastupidi sihitud jõust, millega mõjub m peale diametraalselt dl-st teisel pool olev juhielement. Tähendab, jääb mõjuvaks jõuks m peale järele ainult g. Kolmnurkadest järgneb, et

$$g : f = R : r$$

$$g = f \cdot \frac{R}{r} = \frac{i \cdot m \cdot dl}{r^2} \cdot \frac{R}{r} = \frac{i \cdot m \cdot dl \cdot R}{r^3};$$

Üleüldine jõud F, millega vooluring naba m peale g sihis mõjub, on üksikute vooluelementide g jõudude summa. Üksikud d l pikkused kokkuvõetult annavad ringi pikkuse $2\pi R$. Seda dl asemele pannes, saame

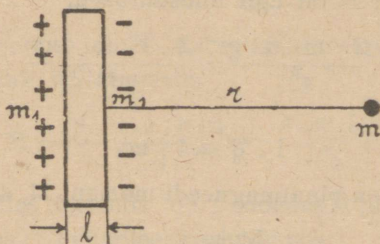
$$F = \frac{i \cdot m \cdot 2\pi R \cdot R}{r^3} = \frac{2 \cdot m \cdot i \cdot \pi \cdot R^2}{r^3}$$

πR^2 on aga q, s. o. ringi pind, sellepärast kirjutame

$$F = \frac{2 \cdot m \cdot i \cdot q}{r^3}$$

On solenoidil n keeru, siis võime omale ettekujutada, et ta n üksikutest magneetiplaatidest koos seisab, mille igaühe põiklõige q on ühe keeru pind ja mille igaühe pikkus l on juhi läbimõeduga ühesuurune. Kuidas niisugune magneet, mille nabategevus m olgu, r kaugusel [oleva m tugevusega naba peale mõjub, nägime 24. osas 3. näituses. Joon. 46

on meie keerd plaatmagneedina kujutud. Plaatmagneedi lõunanaba mõjub m peale positiivselt jõuga



Joonistus 46.

$\frac{m_1 \cdot m}{r^2}$; plaatmagneedi põhja naba mõjub

negatiivselt m peale jõuga $-\frac{m_1 \cdot m}{(r+l)^2}$

Plaatmagneedi üleüldine mõju m peale on üksikute jõudude summa.

$$F = \frac{m_1 \cdot m}{r^2} - \frac{m_1 \cdot m}{(r+l)^2};$$

$$F = \frac{m_1 \cdot m \cdot r^2 + 2r \cdot l \cdot m_1 \cdot m + m_1 \cdot m \cdot l^2 - m_1 \cdot m \cdot r^2}{r^2 (r+l)^2} = \frac{l \cdot m_1 \cdot m (2r+l)}{r^2 (r+l)^2}.$$

Et aga l võrreldes r-ga väga väike on, siis ei tee meie ei kuigi suurt viga, kui kirjutame

$$F = \frac{1 \cdot m_1 \cdot m \cdot 2r}{r^2 \cdot r^2} = \frac{2 \cdot 1 \cdot m_1 \cdot m}{r^3};$$

Vooluringi abil väljaarvatud F ja plaatmagneedi F on aga ühesuurused,

$$\frac{2 \cdot m \cdot i \cdot q}{r^3} = \frac{2 \cdot 1 \cdot m_1 \cdot m}{r^3}$$

ehk

$$i \cdot q = 1 \cdot m_1.$$

$1 \cdot m_1$ on plaatmagneedi moment M , seega on

$$M = i \cdot q.$$

On solenoidil mitte üks, vaid n ringvoolu ehk keeru, siis on nende n ringvoolude mõju ka n korda suurem ja

$$M = i \cdot q \cdot n.$$

Nüüd ei ole aga meie solenoid midagi muud, kui magneedipulk, mille pikkus on l (solenoidi ehk voolu katsa pikkus) ja mille nabatugevus nii suur peab olema, et tema, kasvatud magneedi teljepikkusega, samasuuruse magneetilise momendi annab kui solenoidi oma.

$$M = m \cdot l.$$

$$m \cdot l = i \cdot q \cdot n$$

ja

$$m = \frac{i \cdot q \cdot n}{l}.$$

m tugevusega naba saadab välja $4\pi m$ jõujooni (form. 22), et aga katsa jõujooned teda ühiselt ümbritsevad, siis on need kõik $4\pi m$

jõujooned naba pinna peal olemas. Sellepärast on magneedipulga üldine jõujoonte hulk

$$\Phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot q \cdot n \cdot i}{l}$$

ja jõujoonte hulk nabapinna ruutsentimeetri peal ehk väljatugevus

$$H = \frac{4 \cdot \pi \cdot i \cdot n \cdot q}{l \cdot q} = \frac{4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{l}$$

Selles formelis on i mõedetud absoluutses mõedus. Tehnilise voolu üksus

$$1 \text{ ampeer} = \frac{1}{10} \text{ absoluut üksust.}$$

$$H = \frac{4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{10 \cdot l} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot n}{l} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 27.$$

Formelis nr. 23 tähendavad:

i = elektrivool ampeerides,

l = solenoidi pikkus sm,

n = keerude arv.

26. Magneetmise kaared.

Paneme meie raudpulga solenoiti, siis näeme, et rauatükikesed palju tihedamalt koos on ja solenoidi külgetõmbamise jõud tugevamaks on läinud. Meie võime omale ettekujutada et jõujoonte arv, mis solenoidis ilma rauata sünnitati, omalt poolt palju rohkem jõujooni rauas indutseerib. Sellepärast nimetakse

ka väljatugevus ehk jõujoonte hulk ühe sm^2 peal õhus magneetmise jõuks, kuna jõujoonte hulk ühe sm^2 rauas magneet-induktsiooniks nimetakse.

See nähtus, et ühesugustel tingimistel rauas rohkem jõujooni sünnitakse kui õhus, laseb oletada, et raua läbilaskmise võimalus suurem on kui õhu oma. Läbilaskmise võimalus nimetatakse permeabiliteediks. Permeabiliteet näitab, mitu korda rohkem sünnitakse rauas jõujooni kui samasugustel tingimistel õhus, ehk mitu korda parem raud jõujooni juhib kui seda õhk teeb. Permeabiliteedi abil võib rauasorte võrrelda nende magneetiliste omadustega. See on arvu tegur, millega jõujoonte hulka H kasvatama peab, et jõujoonte hulka B saada, mis sünnitakse, kui solenoiti (H jõujoontega) rauda pannakse.

On

$H = \text{jõujoonte hulk } 1 \text{ sm}^2 \text{ peal õhus} = \text{magn. jõud,}$

$B = \text{ " " " " " rauas} = \text{magneet—}$
induktsioon

$\mu = \text{permeabiliteet,}$

siis on

$$B = \mu \cdot H \text{ — — — — — } 28$$

$$\text{ehk } \mu = \frac{B}{H}.$$

Õhu jaoks on $B = H$, sellepärast on ka μ õhu jaoks 1. Raud juhib μ korda parem kui õhk.

Induktsioon B kasvab alguses pea proportsionaalselt magneetmise jõule H, jääb aga siis vähemaks, kasvab veel vähe ja viimaks ei suurene enam sugugi, raud on küllastud.

μ tehakse katse abil kindlaks ja kujutatakse siis kõverjoonena. H kantakse abstsissi ja B ordinaadi peale (joon. 47).

Formeli nr. 27 järele on aga

$$H = \frac{0.4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{1},$$

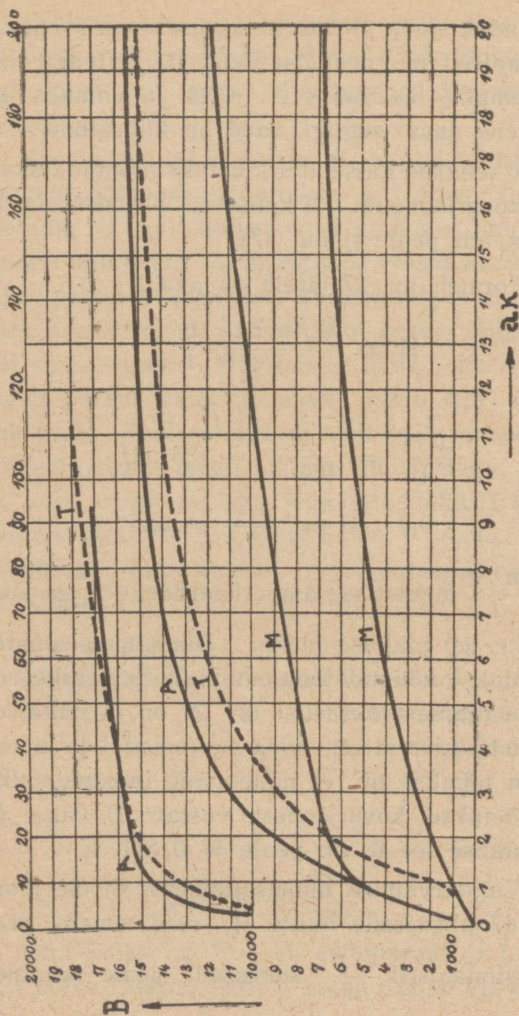
ehk

$$\frac{n \cdot i}{1} = \frac{H}{0.4 \cdot \pi} = 0,8 \cdot H.$$

$$0,8 \cdot H = \frac{n \cdot i}{1} = ak.$$

$\frac{n \cdot i}{1}$ nimetakse ampeerkeerudeks 1 sm jõujoonte tee pikkuse jaoks. Dünaamomasinatel arvatakse nõuetav jõujoonte hulk ampeerkeerudes välja, sest formelist nr. 27 on ju näha, et H seda suurem on, mida suuremad i ja n on. Seda tehakse nii, et nõuetavale induktsioonile B võetakse kõverjoonest vastav H välja ja jagatakse see $0,4\pi$ peale $= 0,8H$.

Väljaarvamise lihtsustamiseks ei ole joon. nr. 47 abstsissile mitte H, vaid temale proportsionaalsed $\frac{i \cdot n}{1}$ suurused peale kantud.



A = ankruplekk.

T = teras.

M. = malm.

Joonistus 47.

Kõverjoonest võib nüüd nõuetavale induktsioonile B temale vastavaid amperkeerusid ak 1 sm jaoks kohe äralugeda.

Rauatüki jaoks, mille amperkeerusid peab välja arvama, arvatakse induktsioon B nõuetavast jõuväljast Φ välja:

$$B = \frac{\Phi}{q},$$

võetakse siis kõverjoonest B-le vastav ak välja ja saadakse nõuetavad ampeerkeerud ak ühe 1 sm jaoks. On magneedi jõujoonte ringi pikkus 1 sm, siis on üleüldiseid ampeerkeerusid 1 sm ja

$$r a u a j a o k s A K = a k . 1 \quad \text{---} \quad 29.$$

1 on keskmine jõujoonte tee pikkus.

Õhuruumis on $\mu = 1$, jõujoonte hulk ei saa mitte suurendud, vaid on ühesuurune magneetmise jõuga (H). Teda võib jälle arvausest

$$H = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot n}{1} \quad \text{välja arvata.}$$

$$\tilde{O} h u j a o k s A K = i . n = 0,8 . 1 . H \quad \text{---} \quad 30.$$

Joonistuses 47 on iga materjali jaoks 2 kõverjoont, nende abstsisside vahekord on 1 : 10. Seda tehakse sellepärast, et kõverjoone algust selgemini kujutada. Madalama kõverjoone abstsisside arvu suurused on all, kõrgema kõverjoone omad üleval.

Magneetmise kaarest võib ka η ja H kindlaks teha,

$$ak = 0,8 H$$

$$\text{magneetmise jõud } H = \frac{ak}{0,8},$$

$$\text{ja permeabiliteet } \mu = \frac{B}{H}.$$

Magneetmise kaarest on näha, et raua ja valatud terase indutseerimiseks kuni $B = 14000$ väga väikest magneetmise jõudu tarvitakse, kuna ta malmil palju suurem on. Sellepärast on arusaadav, et dünaamomasina magneedialused, kõrgema hinna peale vaatamata, kõik valatud terasest valmistakse.

Näited.

1. Kui palju amperkeerused on tarvis, et 75 sm^2 ja 50 sm pikkuses rauapulgas indutseerida $0,9 \cdot 10^6$ jõujoont?

$$\Phi = 0,9 \cdot 10^6; q = 75 \text{ sm}^2; l = 50 \text{ sm}.$$

$$B = \frac{\Phi}{q} = \frac{0,9 \cdot 10^6}{75} = 12200$$

Magneetmise kaare järele on B -le $= 12200$ vastav $ak = 4$.

Tähendab

$$AK = ak \cdot l = 4 \cdot 50 = 200.$$

$$\text{Magneetmise jõud } H = \frac{ak}{0,8} = \frac{4}{0,8} = 5.$$

Raua permeabiliteet

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{12200}{5} = 2440.$$

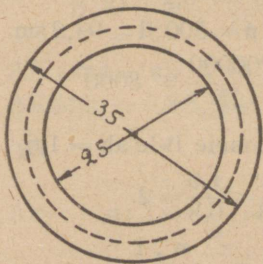
Peab see jõujoonte hulk veel 1 sm pikku-
sest õhukihist läbi voolama, siis on veel
vaja

$$AK = 0,8 \cdot l \cdot H = 0,8 \cdot 1 \cdot 12200 = 9760$$

Tähendab, et 12200 jõujoont 1 sm² läbi
raua saata, on iga 1 sm jaoks $ak = 4$
amperkeerused vaja, et seda hulka aga
õhukihist läbi saata, on iga 1 sm jaoks
vaja μ korda rohkem amperkeerused:
 $\mu \cdot ak = 4 \cdot 2440 = 9760.$

2. Raudrõnga peale,

mille sisemine lä-
bimõet 25 sm ja
väline 35 sm, on
500 keeru mähi-
tud. Katsa mähest
voolab $i = 2,5$
ampeeri läbi. Mitu
jõujoont indutsee-
ritakse rõngas, kui
selle läbilõige 25
sm² on? (joonis-
tus 48)



Joonistus 48.

$$i = 4,5 \text{ amp.}; n = 500; q = 25 \text{ sm}^2;$$

$$l = \frac{25 + 35}{2} \cdot \pi = 94,2 \text{ sm.}$$

$$H = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot n \cdot i}{1} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 4,5}{94,2} = 30.$$

$$0,8 \cdot H = ak = 0,8 \cdot 30 = 24$$

Selle ak-le on kaare A järele (joon. 47) induktsioon $B = 15500$.

Üleüldine jõujoonte hulk, mis rauast läbi läheb, on

$$\Phi = B \cdot q = 15500 \cdot 25 = 388000 = 0,388 \cdot 10^6$$

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{15500}{30} = 517.$$

3. Kui suur peab näituses nr. 2 vool i olema, et sünnitada raudrõnga sees 200000 jõujoont?

$$\Phi = 200000 = 0,2 \cdot 10^6;$$

$$q = 25 \text{ sm}^2; n = 500; l = 94,2 \text{ sm.}$$

$$B = \frac{\Phi}{q} = \frac{200000}{25} = 8000$$

joon. 47. järele on meie B-le $ak = 1,6$.

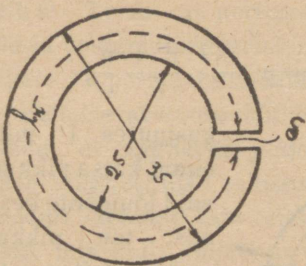
$$H = \frac{ak}{0,8} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

$$H = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot n \cdot i}{1};$$

$$i = \frac{H \cdot l}{0,4 \cdot \pi \cdot n} = \frac{2 \cdot 94,2}{0,4 \cdot \pi \cdot 500} = 0,3 \text{ amp.}$$

ehk $AK = ak \cdot l = n \cdot i; 1,6 \cdot 94,2 = 500 \cdot i.$

$$i = \frac{1,6 \cdot 94,2}{500} = 0,3 \text{ amp.}$$



Joonistus 49.

4. Kui suur peab
vool i olema, et
sünnitada raud-
rõnga sees, mil-
lest nüüd 10 mm
laiune tükki väl-
ja lõigatud on,
200000 jõujoont?
(joonistus 49)

$$\Phi = 0,2 \cdot 10^6; q = 25 \text{ sm}^2; l = 94,2 \text{ sm} \\ l_r = 93,2 \text{ sm}; \delta \text{ (õhukiht)} = 1,0 \text{ sm}.$$

$$B = \frac{\Phi}{q} = \frac{200000}{25} = 8000.$$

$$AK_{\text{raud}} = a_k \cdot l_r = 1,6 \cdot 93,2 = 149$$

$$AK_{\text{õhk}} = 0,8 \cdot \delta \cdot H = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 8000 = 6400$$

$$AK = 6549$$

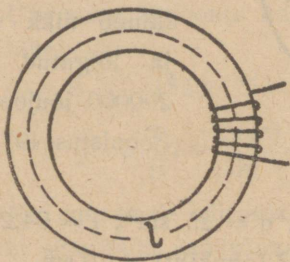
$$Ak = i \cdot n; i = \frac{AK}{n} = \frac{6549}{500} = 13 \text{ amp.}$$

27. Oomi seadus magneetiliste ringide jaoks.

Joonistuses on raudrõngas kujutatud, mille
peale katsa mähitud. Oletame, et raudrõnga
juhtimise võimalus nii suur on, et kõik katsaga

sünnitud jõujooned raudrõngasse jäävad. Siis on induktsioon

$$B = \mu \cdot H = \mu \cdot \frac{0,4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{l},$$



Joonistus 50.

kusjuures l mitte enam katsa pikkust, vaid jõujoonte keskmist tee pikkust sentimeetrites tähendab. On q raudrõnga läbilõige, perpendikulaarselt jõujoonte mõõdetud, siis on üleüldine jõujoonte hulk

$$\Phi = q \cdot B = q \cdot \mu \cdot \frac{0,4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{l}.$$

Selles arvlauses $i \cdot n$ asemele AK pannes, saame

$$\Phi = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot AK}{\frac{1}{q} \cdot \frac{1}{\mu}}.$$

Murru nimetaja tuletab meile meeles elektritakistuse formeli $r = c \cdot \frac{1}{q}$. Eritakistus c

oleks meil siin $\frac{1}{\mu}$. Tähendab, muid $\frac{1}{\mu \cdot q}$

kujutab teatud takistust, me nimetame seda

edaspidi magneetiliseks takistuseks. Tema on periproportsionaalne pikkusele ja vastupidiproportsionaalne jõujoonte läbilõikele ja permeabiliteedile.

Eelmise arvlause abil võime omale ette kujutada, et magneedi jõujooni samal viisil aetakse magneetilise takistuse läbi, nagu elektrivoolgi aetakse läbi elektritakistuse. Rõhumine, mis ajab jõujoonte voolu magneetilisest takistusest läbi, sünnitakse ampeerkeerudega. Meie võime seda võrrelda elektromootorlise jõuga, mis elektrivoolu takistusest läbi saadab. Sellepärast nimetakse neid ampeerkeerusid magneetomootorliseks jõuks (mmj). Oomi seadus on nüüd magneetiliste ringide jaoks:

$$\text{Jõujoonte vool} = \frac{\text{magneetomootorline jõud}}{\text{magneetiline takistus}}.$$

Kui meie siinamaani magneedi jõujoonte kohta sõna „vool“ tarvitasime ja ütlesime, et jõujooned voolavad, ehk Oomi seaduses magneetilise ringi jaoks sõna „jõujoonte vool“ pruukisime, siis tegime seda sellepärast, et teha võrdlust elektrivooluga kohasemaks. Tõepoolest aga ei voola magneedi jõujooned mitte, nad seisavad, kui nad kord sünnitud on, rahul.

Mõiste magneetilisest takistusest kergendab dünamoelektriliste aparaatide väljaarvamist, kuid vaidlemata õige ta ei ole.

Kui meie elektritakistusest voolu läbi saadame, siis peame selleks tööjõudu kulutama, mis energia soojuse näol kaduma läheb, ja meie ei tunne mingisugust abinõu, millega kõrvaldada võiks seda energiakaotust. Magneetilises vooluringis on asjaolu teisiti. Selge on, et magneedijõujooni sünnitava katsa mähel peab teatud elektritakistus olema ja, et sellest takistusest voolu läbi saata, peab energiat kaotsi minema. Me võime seda energia kaotust piiramata vähendada, kui valime suurema poolitraadi läbilõike, sellega ei muuda me sugugi magneedijõujoonte hulka. Meie võime isegi sedasamast magneedijõujoonte hulka sünnitada elektrivooluta, kui tarvitame jäädavat terasmagneeti.

Ei tohi mitte arvata, et osa töökaotusest dünamomasina magneedimähes magnetismuseks ümber muudetakse. Ei, kõik dünamomasina magneeti mähes kulutatud võime muudab ennast Joule'i soojuseks ümber. On i magneedimähe vool ja r mähe takistus, siis on soojuseks ümbermuudetud energia $i^2 \cdot r$. See energia kaotus oleks ka sellel juhtumisel nii suur, kui raua asemel katsa sees õhk oleks, s. o. siis, kui õige vähe jõujooni sünnitakse. Tahame elektri voolu juhi takistusest läbi saata, siis peab selleks töö korda saadetud saama, jõujoonte voolu alalehoidmiseks ei tarvita meie tööd.

Kui meie edaspidi magneedilise takistuse üle kõneleme, siis peab meeles pidama, et see mitte takistus sõna harilikus mõttes ei ole, mida ainult teatud energia kaotusega ära võita võib, vaid see on üks nendest takistustest, mida avaldab keha mingisugusele jõule, mis tema vormi muuta tahab.

Rõhku peab veel selle asjaolu peale panema, et elektriline takistus pea ainult juhi pikkusest ja läbilõikest oleneb, magneediline takistus ripub peale selle veel ära permeabiliteedist, see on μ , viimane aga kõigub väga tuntavalt, kuna eritakistus c teatud temperatuuri jaoks muutmata on. Sellepärast on võimata magneedilise takistuse jaoks üksust luua, ja nimetatakse teda edaspidi, siis paneme tema asemele

arvause $\frac{1}{\mu \cdot q}$.

Magneediline takistus on:

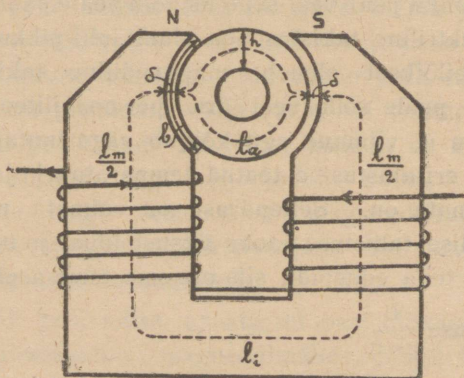
$$\text{raua jaoks} = \frac{1}{\eta \cdot q} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 31.$$

$$\text{õhu jaoks} = \frac{1}{q} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad 32.$$

Ilma magneedilise takistuse üksuseta saame aga läbi, sest tehnikas on ampeerkeerude väljaarvamine tähtsam, kui magneetomootorilise jõu väljaarvamine. Hõlpsaks ampeerkeerude väljaarvamiseks aitavad meid tuntud magneetmise kaared.

Kuidas praktikas Oomi seadust magneedilistes ringides tarvitada, näitab järgmine näitus, kus välja arvatakse dünamomasina AK.

Magneedijõujoonte tee dünamomasinas seisab koos mitmest üksikust pikkusest, isesugusest materjalist ja isesugustest läbilõigetest,



Joonistus 51.

sellega on ka induksioonid isesugused. Et aga üks ja seesama jõujoontevool kõigist osadest läbi käib, siis ütleme, et kõik nimetud magneedilised takistused järjestikku lülitatud on (joon. 51). Elektrilises vooluringis meie arvaksime

$$I = \frac{E}{r_1 + r_2 + r_3 + \dots},$$

Magneedilises ringis ütleme aga

$$\Phi = \frac{m \cdot m \cdot j}{r_{m_1} + r_{m_2} + r_{m_3} + \dots} =$$

$$= \frac{0.4 \cdot \pi \cdot AK}{\frac{l_1}{\mu_1 \cdot q_1} + \frac{l_2}{\mu_2 \cdot q_2} + \frac{l_3}{\mu_3 \cdot q_3} + \dots}$$

$$AK = 0,8 \cdot \frac{B_1}{\mu_1} \cdot l_1 + 0,8 \cdot \frac{B_2}{\mu_2} \cdot l_2 + 0,8 \cdot \frac{B_3}{\mu_3} \cdot l_3 + \dots$$

Magnetiseerimise kõverjooni abiks võttes, saame

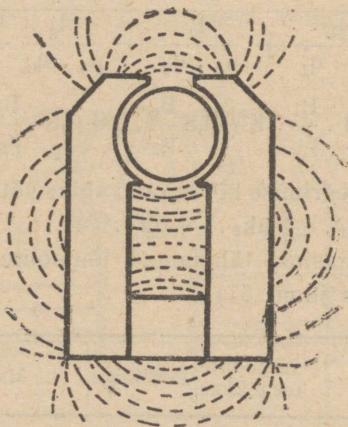
$$AK = ak_1 \cdot l_1 + ak_2 \cdot l_2 + ak_3 \cdot l_3 + \dots - - - 33.$$

Dünamomasina tähtsamad jõujoonte teekohad on (vaata joon. 51):

	Jõujoonte tee pikkus	Läbilõige	Materjal
Ankur	l_a	q_a	plekk
Õhuruum	2δ	q_δ	õhk
Nabad	l_m	q_m	dünamo-malm
Ike	l_i	q_i	dünamo-malm.

Dünamomasinas on magneedivoolu peaülesanne voolata läbi ankru võimalikult täies indutseeritud koosseisus. Kahjuks otsivad aga palju jõujooni teist teed ja voolavad paralleel ankru magneedivoolude läbi õhu (joon. 52). Neid sünnitakse kasuta. Neid ei või välja arvata,

vaid võib ainult katse abil ligikaudu kindlaks teha. Neid nimetakse magneediliseks puistevooluks. Et ankrus aga teatud jõujoonte voolu Φ saada, peab magnee-



Joonistus 52.

tides puistevoolu võrra rohkem jõujooni sünnitama. Tegurit, mis nende kahe jõujoonte hulga vahekorda ära näitab, nimetakse puistevoolu teguriks

$$\sigma = \frac{\Phi_m}{\Phi}.$$

Φ_m = magneedivool

Φ = aktiivne vool.

Uuemaajalistel masinatel on $\sigma = 1,1-1,3$. Tema on periproportsionaalne ampeerkeerudele, täh. ta kasyab B—ga.

N ä i t u s.

Dünamomasina jõujoonte vool olgu $\Phi = 6,5 \cdot 10^6$ jõujooned. Ankru pikkus $l = 30$ sm, tema radiaalne kõrgus $h = 9$ sm, naba kaar $b =$ sm. Ühe magneedi läbilõige $q_m = 1360$ sm², ikke läbilõige $q_i = 1620$ sm², $\sigma = 1,25$ (see tähendab, magneedivool on 25 % suurem kui aktiivne vool). Üksikute jõujoonte teepikkused on: $\delta = 0,4$ sm, $l_a = 34$ sm, $l_m = 90$ sm ja $l_i = 48$ sm. Kui suur on AK? (vaata joon. 51).

Ankrus haruneb jõujoonte vool kaheks. Üleüldine ankru läbilõige on $q_a = 2 \cdot h \cdot l$.

Et aga ankur üksikutest plekkidest koos seisab, mis (põhjustel, mis pärast selgitakse) õhukese paberiga kaetud, siis on ankru aktiivne läbilõige vähem:

$$q_a = 2 \cdot h \cdot l \cdot 0,88.$$

Üksikud läbilõiked on:

$$q_a = 2 \cdot h \cdot l \cdot 0,88 = 2 \cdot 9 \cdot 30 \cdot 0,88 = 480 \text{ sm}^2$$

$$q_\delta = b \cdot l = 29 \cdot 30 = 870 \text{ sm}^2$$

$$q_m = 1360 \text{ sm}^2$$

$$q_i = 1620 \text{ sm}^2$$

Induktsioonid on:

$$B_a = \frac{\Phi}{q_a} = \frac{6,5 \cdot 10^6}{480} = 13500.$$

$$B_\delta = \frac{\Phi}{q_\delta} = \frac{6,5 \cdot 10^6}{870} = 7500.$$

$$B_m = \frac{\Phi_m}{q_m} = \frac{\sigma \cdot \Phi}{q_m} = \frac{1,25 \cdot 6,5 \cdot 10^6}{1360} = 6000.$$

$$B_i = \frac{\Phi_m}{q_i} = \frac{1,25 \cdot 6,5 \cdot 10^6}{1620} = 5600.$$

Ampeerkeernd on:

$$AK_a = l_a \cdot ak_a = 34 \cdot 6 = 204$$

$$AK_\delta = 0,8 \cdot B_\delta \cdot 2\delta = 0,8 \cdot 7500 \cdot 2 \cdot 0,4 = 4800.$$

$$AK_m = l_m \cdot ak_m = 90 \cdot 13 = 1170$$

$$AK_i = l_i \cdot ak_i = 48 \cdot 8 = 384$$

$$AK \text{ terve magneediringi jaoks} = AK = 6558$$

Kui elektrivool, mis seda välja sünnitama peab, $i = 5$ amp. on, siis on keerude arv

$$n = \frac{AK}{i} = \frac{6558}{5} = 1300 \text{ keeru.}$$

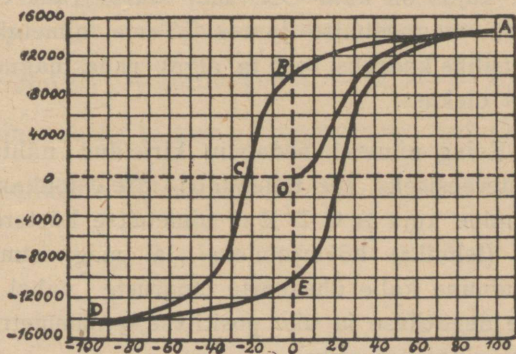
Sellest kogust mähitakse iga naba peale 650 keeru.

28. Hüstereesis.

Magneetmise kaare ülesvõtmiseks kantakse paberile H abstissidena ja B ordinaatidena. Magneeditakse täiesti magneedita rauatükk nii, et magneetmise jõud H nullist kuni a -ni kasvab, siis kasvab magneetjõujoonte tihedus nullist A -ni meil tuntud kõverjoone kaudu. Vähen-dame magneetmise jõu A -st tagasi nullini, siis näeme, et induksioon B mitte AO kaudu ei kahane, vaid AB kaudu. Vaatamata selle peale, et magneetmise jõud on saanud nulliks,

on rauas järele jäänud magnetismus OB. Ta nimetakse sellepärast remanentseks magnetismuseks.

Saab nüüd magneetmise jõud volusihi muutmisega negatiivseks, siis peame H kuni C-ni suurendama, et B nullini langeks. Jõud OC nimetakse koertsitiivjõuks. Selgesti näeb siin, kuidas rauatükikesed ümbermagneetmisele



Joonistus 53.

vastu panevad. Alles siis, kui magneetmise jõud OC suureneb, saame induktsiooni ümberpöörnud sihis. Kasvab magneetmise jõud d-ni, siis kasvab induktsioon B kõverjoone CD kaudu. Kahaneb nüüd negatiivne magneetmise jõud d-st nullini, siis muudab induktsioon B kaare DE kaudu. Rauas on jäänud negatiivne

remanentne magnetismus OE, mis sama suur on kui positiivne remanentne magnetismus OB. Kasvab magneetmise jõud nullist positiivses sihis jälle a-ni, siis muudab B ennast E-st tagasi A-ni. B muutmine oleneb tema eelmisest suurusel selles mõttes, et eelmine B olek ennast katsub alal hoida. Kuna H ennast nullist a-ni ja sealt d-ni, s. o. sirge joone kaudu muutis, kujutas B kinnise kuju ACDEA. Selles kujus on kaar OA, mis saime raua esimese magneetmise juures. Tema nimetakse neitsiliks kaareks, sest ta algab raua magneedita olekust.

Eving nimetab seda siin kirjeldud nähtust hüstereesiseks, see tähendab: järele lonkama. Kinnine kuju A C D E A nimetakse hüstereesis (lehviks) kõverjooneks ja magneetmise muutmine kahe ühesuurte suuruste vahel — ühe negatiivse ja ühe positiivse — sümmeetriliseks ringprotsessiks.

Magneedivälja alalhoidmiseks ei tarvita meie mitte energiat. Küll arvasime meie amperkeerud välja, tarvitasime teatud voolu i ja emj - du E, kuid see energia läheb voolusoojusena kaotsi ja magneetilise ringi jaoks ei jää midagi järele. Magneedivälja muutmine nõuab aga energiat, mis meie rauas hüstereesisina tundma õppisime.

See energiakaotus magneedi oleku muutmisel hüstereesise läbi on Steinmetsi järele

$$W_h = y \cdot v \cdot B^{1,6} \cdot V_r \cdot 10^{-4} \text{ watti.}$$

$$\eta = 0,0014 - 0,002 \text{ raua jaoks } \left\{ \begin{array}{l} \text{materjali} \end{array} \right.$$

$$\eta = 0,01 - 0,02 \text{ terase jaoks } \left\{ \begin{array}{l} \text{konstant,} \end{array} \right.$$

v = perioodid (ringprotsessid),

$$V_r = \text{raua ruum } \text{dsm}^3.$$

Kaotused on pehme raua juures kõige väiksemad ja karastud terase juures kõige suuremad.

Iga dünamomasinas, millel $2p$ naba, s. o. p paari magneedinaba, saab ankur ühe tiiru jooksul $\frac{2 \cdot p}{2}$ korda põhja — ja $\frac{2 \cdot p}{2}$ korda lõunanabaks, ta teeb p ringprotsessi; teeb ankur

1 sekundis $\frac{n}{60}$ tiiru, on

$$v = \frac{p \cdot n}{60} \text{ — — — — — 34.}$$

Näitus.

Dünamomasina ankrul on järgmised mõeldud:

$$\text{Väline läbimõet } d_v = 200 \text{ sm,}$$

$$\text{sisemine „ „ } d_s = 140 \text{ sm,}$$

$$\text{pikkus } l = 30 \text{ sm,}$$

$$\text{tiirud minutis } n = 300,$$

$$\text{Magneedinabade arv } 2p = 8.$$

Ankru induktsioon $B = 13000$ jõujoont 1 sm^2 peal. Kui suured on hüstereesise watt-

kaotused ankru magneetmise tõttu, kui $\eta = 0,0002$? Ankru raua ruum on

$$V_r = \frac{\pi}{4} (d_v^2 - d_s^2) \cdot l = \frac{\pi}{4} (200^2 - 140^2) \cdot 30 =$$

$= 480000 \text{ cm}^3 = 480 \text{ dsm}^3$ üleüldse,
et aga ankur plekkidest kokku pandud, siis
on aktiivne ruum

$$V_r = 480 \cdot 0,88 = 425 \text{ dsm}^3.$$

Perioodide ehk ringrotsesside arv on

$$\nu = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{4 \cdot 300}{60} = 20.$$

$$W_h = \eta \cdot \nu \cdot B^{1,6} \cdot V_r \cdot 10^{-4} =$$

$$= 0,002 \cdot 20 \cdot 13000^{1,6} \cdot 425 \cdot 10^{-4} = 6360$$

watti.

29. Paramagneetilised ja diamagneetilised ained.

Magneediline läbilaskmise võimalus ehk permeabiliteet μ on materjali konstant. Tema on õhu jaoks 1. On aga olemas rida aineid, mille μ väiksem kui 1 on, nad nimetakse diamagneedilisteks aineteks. Kõik teised ained, mille μ suurem kui 1, nimetakse paramagneedilisteks.

Diamagneediliste ainete iseäraline omadus on see, et neid tugev magneedinaba mitte külge ei tõmba, vaid eemale tõukab. Nende tähtsamad esitajad on vismut ja antmoon.

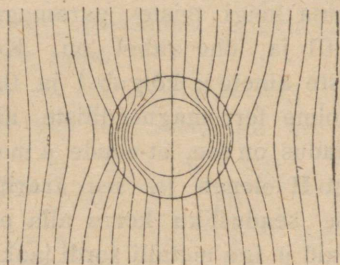
Paramagneetiliste ainete seas paistavad silma õige suurte μ -ga kolm metalli: raud, kobalt ja nikkel. Need kolm metalli nimetakse veel ferromagneetilisteks aineteks. Nende magneetiline läbilaskmise võimalus ulatab palju üle 500, kuna kõigi teiste paramagneetiliste ainete μ 1,01 ja ühe vahel on. Kõigi diamagneetiliste ainete μ kõigub 1 ja 0,99 vahel, Nimetud kolme ferromagneetiliste ainete iseäraline omadus on see, et nende μ magnetiseerimise jõust H oleneb ja see ärarippuvus ei mingisuguse seadusliku korra alla ennast ei paenuta, vaid μ iga metalli sordi jaoks igakord ainult katse abil kindlaks võib teha.

1901. a. läks Heusleril korda vasest, mangaanist ja alumiiniumist segu teha, millel ferromagneetilised omadused. Sellest võib oletada, et magneetiseerimise omadus mitte keemiliste ainetega seotud ei ole, vaid iseäralise, meil veel tundmata aine moleekulite struktuurist oleneb.

30. Magneetiline kattemõju ja raua magneetiline vananemine.

Raua omadus magneedi jõujooni oma sisse imeda annab meile võimaluse magneetiväljas kätte saada peaaegu magneedita ruumi. Joon. 54 näitab, kudas jõujoonte kontsentreerimise tõttu rauarõngas rõnga siseruumis kattemõju

saavutakse, s. o. ruumi, kus magneedi jõujooni ei ole olemas. See kattemõju on seda täielikum, mida jämedam rõngas ja mida suurem rõnga materjali magneetiline läbilaskmise

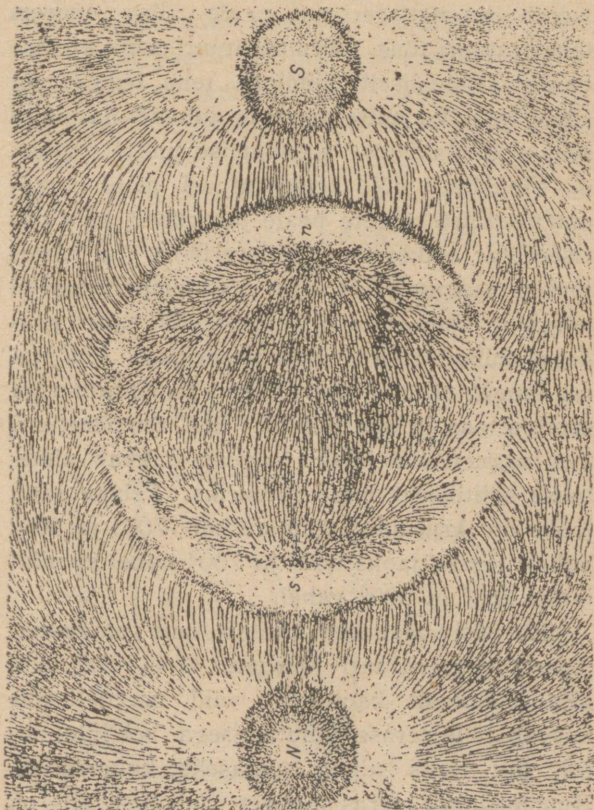


Joonistus 54.

võimalus. Ainult lõpmata jämeda rõnga siseruumis ehk selle rõnga siseruumis, mille magneetiline läbilaskmise võimalus lõpmata suur, oleks magneetiline jõud null. Joon. 55 on selgesti näha, kuidas magneetiväljasse asetud raudrõnga siseruumis selle rõnga kattemõju peale vaatamata veel jõujooni olemas on. Indutseeritud väli on siin liig suur, raudrõngas liig peenike, tema magneetiline läbilaskmise võimalus mitte suur küllalt, et kõiki indutseeritud jõujooni oma sisse imeda.

Mõetmiste läbi transformaatorite juures on ilmsiks tulnud, et transformaatori raua hüsteeresise kaotused pikema tööaja järele suuremaks

on läinud, üksikutel juhtumistel isegi kahekordseks tõusnud. Sealjuures leiti, et raua magneetiline läbilaskmise võimalus on väiksemaks läinud.



Joonistus 55.

See raua omadus nimetakse raua magneediliseks vananemiseks. Iseäraliste uurimiste abil on kindlaks tehtud, et raua vananemise põhjus on temperatuuri tõusmine töö ajal. Tuntavalt mõjub magnetiseerimise peale alles suurem temperatuuri tõus. Temperatuuri mõju ei lase ennast seadusliselt kindlaks teha, teda ei või sellepärast ka mitte tegurina tähendada, nagu seda elektritakistuse soendamise puhul tegime.

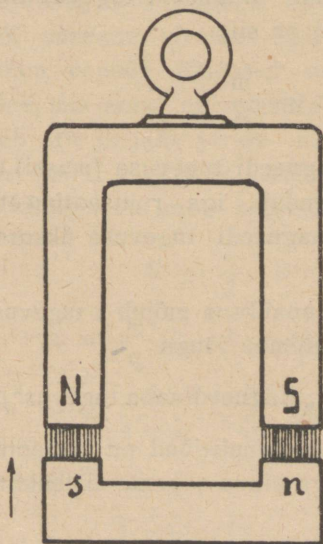
Üleüldiselt võib temperatuuri mõju ferro-magneediliste ainete peale järgmiselt karakteriseerida: väikese magnetiseerimise jõu juures tõuseb magnetismus kasvava temperatuuriga nõrga maksimumini ja langeb siis ruttu peaaegu nullini; suure magnetiseerimise jõu juures langeb magnetismus tõusva temperatuuriga esialgu tasa ja siis nullini. See temperatuur, kus magnetismus järsku langema hakkab, nimetakse kriitiliseks temperatuuriks. Pehme raua jaoks on kriitiline temperatuur 700° ja 900° vahel, terase jaoks 600° ja 700° vahel ja nikli jaoks 250° ja 300° vahel.

Ka püsiv magneet kaotab oma magnetismusest temperatuuri tõusuga, ta ei ole seda aga jäädavalt kaotanud, vaid magnetismus kasvab jälle terase jahutamisega sel juhtumisel, kui teras ainult punaseks kuumendati. Kuumendakse terasmagneet valgeks, siis on tema oma magnetismuse jäädavalt kaotanud.

Sellega on meil abinõu antud rauda ja terast magneeditaks teha.

Eelmisest on näha, et raua vananemist ainult temperatuuri tõusmisega seletada võib. Halbadel rauasortidel tõusevad hüstereesise kaotused juba päeva ja öö temperatuuri muutmise tõttu. Uuema aja transformaatorite raudplekkide hüstereesise kaotused tõusevad aga väga vähe isegi siis, kui nende temperatuur sagedasti ja sealjuures kauemat aega 150° oli.

31. Elektromagneet ja tema kandejõud.



Magneet tõmbab magneeditarauda oma külge, sest iga magneedi naba indutseerib lähedal olevas rauas isenimelist magnetismust, kaks isenimelist naba tõmbavad aga teine teist külge. Joonistuses 56 on magneedit ja raualühesugu-

Joonistus 56

sed põiklõiked q . Kui oletada, et sellel silmapilgul, kus magneedi ja raua vahe üsua väike on, kogu jõujoonte hulk Φ rauda üle läheb, siis on selles väikeses vaheruumis induktsioon

$$B = \frac{\Phi}{q},$$

see on see jõud düünides ühe ruutsentimeetri peal, mis mõjub üksusnaba peale jõujoonte sihis. Rauas indutseeritakse isenimeline magneedi tugevus (mass) m , mis ühesuguselt üle pinna q laiali laotud. Magneedi tugevus ühe ruutsentimeetri peal on siis

$$\tau = \frac{m}{q}.$$

τ nimetakse magneedi tugevuse (massi) tiheduseks, see tähendab, iga ruutsentimeetri pinna peal on τ magneedi tugevuse üksused kogutud.

Magneedi iga pinnaüksus mõjub τ tugevuse üksuste peale külgetõmbe jõuga

$$F_1 = B \cdot \sigma \text{ (vaata „Magneedinaba tugevus“).}$$

Need üksikud külgetõmbejõud on ärajaotud ühesuguse tihedusega pinna q peal. Üleüldine mõju on

$$F = B \cdot \tau \cdot q.$$

See üleüldine mõju seisab aga koos ühe naba külgetõmbavast ja teise naba äratõukavast jõust. Kujutame omale ette, et magneedinaba ja raua vahel on asetud nabaüksus, siis mõjub magneedinaba äratõukava jõuga nabaüksuse peale, kuna raud, milles nabast väljatulevad jõujooned isenimelist magneedinaba indutseerivad, üksusnaba peale sama suure, aga külgetõmbava jõuga mõjub. Nabaüksuse peale mõjuv jõud on seega äratõukava ja külgetõmbava jõudude summa. Oletame nüüd, et see üksusnaba on väike osa magneedinabast, s. o. temaga kõvasti seotud, siis ei või sarnane element magneedinaba pinnast enam eemale tõugatud saada, ja äratõukav jõud, mis enne nabaüksuse peale mõjus, langeb ära ja jääb järele ainult veel külgetõmbav jõud, s. o. pool üleüldisest mõjust.

Seega on naba külgetõmbav jõud

$$F = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \tau \cdot q.$$

$$\tau = \frac{m}{q}; \Phi = 4 \cdot \pi \cdot m \text{ ehk } m = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

$$\tau = \frac{\Phi}{4 \cdot \pi \cdot q} = \frac{B}{4\pi}, \text{ sest } \frac{\Phi}{q} = B.$$

Nii on siis

$$F = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \frac{B}{4\pi} \cdot q = \frac{B^2 \cdot q}{8 \cdot \pi} \text{ düüni.}$$

Et aga tehnikas jõudusid kilogrammides mõe-
dame ja $1 \text{ kg} = 9,31 \cdot 10^5$ düüni on (vaata
absoluutne mõedusüsteem), siis saame

$$F = \frac{B^2 \cdot q}{8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10} \text{ kg} \text{ — — — — — } 35.$$

Selles formelis on q ühe naba läbilõige,
lookmagneetide kandejõu väljaarvamisel tuleb
formelis $2 q$ panna.

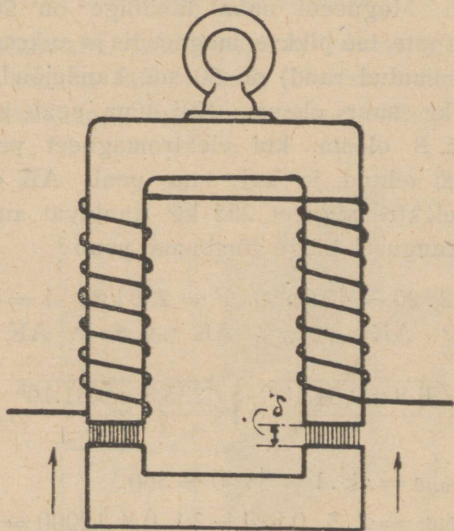
Magneedi kandejõu väljaarvamisel formeli
järele eeldasime, et induktsioon B täielikult
olemas on. Mida kaugemal raud magneedist
seisab, seda suuremaks läheb õhulõhe ($\mu = 1$)
ja sellega kasvab magneediringi takistus. For-
mel on ainult sellel tingimisel maksev, kui raud
puutub magneedi külge ja mõlemad läbilõiked
ühesugused on.

Me kõnelesime magneedist ja tema väljast
ja ei võtnud sugugi arvesse, kuidas nad tek-
kisid. Kandejõu formeli väljaarvamisel ei
olnud see ka tähtis, tingimine oli, et nõuetav
magnetiseerimise jõud olemas oli. Tehnikas
tarvitud kandemagneedid ei ole mitte perma-
nent-, vaid elektromagneedid. Elektromagneet
on pehme raud, mille ümber elektrivool keer-
leb (joon. 57). Ka siin arvatakse amperkeerud
välja induktsioonist ja jõujoonte tee pikkusest
magnetiseerimise kõverjoonte abil.

$$AK = ak \cdot l \text{ raua jaoks,}$$

$$AK = 2 \cdot \delta \cdot 0,8 \cdot B \text{ õhu jaoks.}$$

Formeli 35 abil on meil võimalik välja arvata elektrivooluga sünnitatud induksiooni, kui tuntud on kaal, mis rauda magneedist ära kiskuda suudab.



Joonistus 57.

Formeli 35 järele on

$$B = \sqrt{\frac{F \cdot 8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10^5}{q}}.$$

Näitused.

1. Magneedinaba läbilõige on 50 cm^2 (vaata joon 57), induksioon $B = 4500$. Kui suur on magneedi kandejõud?

$$q = 2 \cdot 50 = 100 \text{ sm}^2; B = 4500.$$

$$F = \frac{B^2 \cdot q}{8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10^5} = \frac{4500^2 \cdot 100}{8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10^5} = 82 \text{ kg}.$$

2. Magneedi naba läbilõige on 20 sm^2 . Jõujoonte tee pikkus magneedis ja ankrus (külgetõmmatud raud) on 60 sm , kandejõud peab 235 kg suur olema. Kui suur peab induktioon B olema, kui elektromagneet pehmest rauast tehtud, ja kui suur peab AK olema, kui elektromagneet 235 kg kaaluvat ankrut 1 sm kaugusel külge tõmbama peab?

$$q = 2 \cdot 20 = 40 \text{ sm}^2; F = 235 \text{ kg}; l = 60 \text{ sm}.$$

$$B = ? \quad AK_{\text{raud}} = ? \quad AK_{\text{õhk}} = ? \quad AK = ?$$

$$B = \sqrt{\frac{F \cdot 8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10^5}{q}} = \sqrt{\frac{235 \cdot 8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10^5}{40}} = 12000$$

$$AK_{\text{raud}} = ak \cdot l = 6 \cdot 60 = 360.$$

$$AK_{\text{õhk}} = 2 \cdot \delta \cdot 0,8 \cdot B = 2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 12000 = 19200$$

$$AK = AK_{\text{raud}} + AK_{\text{õhk}} = 360 + 19200 = 19560.$$

On $i = 2$ ampeeri, siis on keerude arv

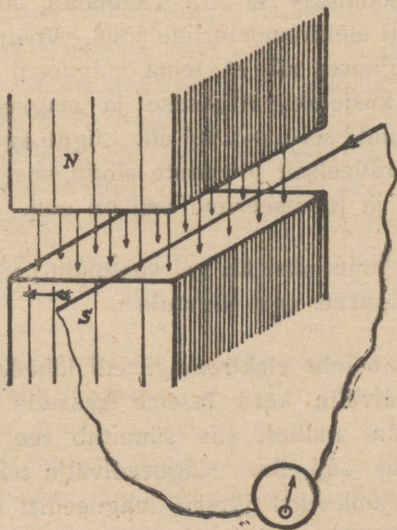
$$n = \frac{AK}{i} = \frac{19560}{2} = 9780.$$

IV. peatükk.

Elektriline induktsioon.

32. Elektriline induktsioon ja indutseeritud elektromootorline jõud.

Eelmistes osades nägime, kuidas voolujuht, kui temast läbi jooksis elektri vool, omas ümbruskonnas magneetivälja sünnitas, kuidas



Joonistus 58.

raud, mis sellesse väljasse pandi, magneetiks sai ja kuidas elektrivoolud ja magneetid teine

teise peale mõjusid. Meie küsime nüüd, kas on võimalik magneediga elektrivoolu sünnitada? Tõepoolest on see teatud tingimistel võimalik. Kui meie magneediväljas voolujuhi rahulikult seisma jätame ja tema otstega galvanomeetri ühendame, siis jääb selle seier nulli peal püsima, see on, temast ei voola elektrivool läbi. Nii pea kui meie voolujuhti aga edasi liigutame, voolab galvanomeetris vool ja seier lööb välja (joonistus № 58). Tähendab, voolujuhis sünnitatakse elektromootorline jõud. Voolujuht liikus siinjuures nii, et tema magneedi jõujooni lõikas, kusjuures liikumise ja magneedi jõujoonte sihid seisavad 90° all. Liigub aga voolujuht paralleelselt jõujoonte sihile, siis ei lõikata neid ja indutseeritud emj on null.

Emj sünnitakse ka kui voolujuht paigal seisab, magneeti aga liigutakse.

Seisab juht elektromagneedi lähedal, mille magneedivälja kord laseme kasvada ja kord kahaneda nullini, siis sünnitab see muutev väli juhis emj-ellu. Magneedivälja tekkimisel tulevad jõujooned järsku magneedist välja ja ümbritsevad ruumi, sealjuures peavad nad aga juhti lõikama. Magneedivälja kadumisel lipsavad jõujooned rauda tagasi ja lõikavad see-
ga jälle juhti.

Emj võime seega kolmel viisil sünnitada :

- 1) Emj sünnitakse, kui voolujuht magneedi-väljas liigub ja magneedi jõujooni lõikab (kõik alalise voolu masinad).
- 2) Emj sünnitakse paigal seisvas juhis, kui väli liigub (harilikult kõik vaheldava voolu masinad).
- 3) Emj sünnitakse, kui voolujuht muudetas väljas seisab (transformaatorid).

Sünnitud emj on seda suurem, mida rohkem voolujuht ajaüksusel jõujooni lõikab. See tähendab, mida rutem voolujuht liigub, seda suurem on emj, ehk mida suurem on indukt-sioon, seda suurem on sünnitud emj. Edasi oleneb emj-suurus ka juhi pikkusest, sest mida pikem tema on, seda rohkem ümbritsevad teda jõujooned, seda rohkem lõikab ta neid ja seda suurem on sellepärast emj.

On vool, mis sünnitud emj tõttu tekib, tuntud ja juhitakistus teada, siis võib kergesti emj välja arvata. Veel hõlpsamini võib sünnitud emj-suurust järgmiselt välja arvata.

Elektrivool, mis sünnitud emj tõttu voolu-juhis [voolab, kujutab teatud energiahulka. Energiahulk peab aga periproportsionaalne olema tööle, mida voolujuhi liikumiseks tarvitati. Jõud, millega magneediväli jõujoonte tihedusega B voolujuhi peale mõjub, mille pikkus l ja

temast läbivoolav elektrivool i on, on Biot ja Savarti seaduse järele

$$f = l \cdot i \cdot B \text{ düüni.}$$

Käib voolujuht dt aja jooksul tee ds ära, siis on selleks tarvis minev töö

$$dA = f \cdot ds = l \cdot i \cdot B \cdot ds$$

Selle aja jooksul indutseeritud elektritöö, mis eelmise tööga ühesuurune, on

$$dA = E \cdot i \cdot dt.$$

Nii saame siis

$$E \cdot i \cdot dt = l \cdot i \cdot B \cdot ds,$$

ehk indutseeritud emj on

$$E = \frac{ds}{dt} \cdot l \cdot B.$$

Et nüüd meie voolujuht ühetaoliselt liigub ja sealjuures jõujooni vertikaalselt lõikab, siis on tema kiirus konstant,

$$\frac{ds}{dt} = \text{konstant} = v.$$

$$\text{ja } E = v \cdot l \cdot B.$$

v korda l kujutab pinna, mille pikkus v ja laius l on. B on jõujoonte arv selle pinna üksuse peal. Kasvatis $v \cdot l \cdot B$ ei ole midagi muud kui jõujoonte arv pinna $v \cdot l$ peal, ehk see jõujoonte hulk, mis lõikab juhti, mille pikkus l , liikudes kiirusega V .

Tähendab, indutseeritud elektromootorline jõud = sekundi jooksul lõigatud jõujoonte arvule; tema on kasvatis voolujuhi pikkuse, selle liikumise kiiruse ja väljatugevuse vahel.

Eelmises formelis on aga absoluutsed mõõdetud tarvitused olnud. Tehniline üksus, 1 volt, on 10^8 korda suurem. Seega on sünnitud emj voltides

$$E = 1 \cdot B \cdot V \cdot 10^{-8} \text{ volti} \text{ --- --- --- } 36.$$

Kuidas eelpool nägime, sünnitakse emj mitte üksnes siis, kui juhtjõujooni lõikab, vaid ka siis, kui juht muutub väljas seisab, ehk kus väli kord tekib, kord kaob. Sellest välja minnes, leiame indutseeritud emj-le veel teise seaduse

$$E = \frac{ds}{dt} \cdot l \cdot B.$$

d s . 1 . B e i o l e m u u d , k u i v ä l j a m u u t m i n e d t
a j a j o o k s u l , n i i p a l j u j õ u j o o n e d e n a m e h k v ä h e m
ü m b r i t s e v a d j u h t i ,

tähendab $ds \cdot l \cdot B = d\Phi$.

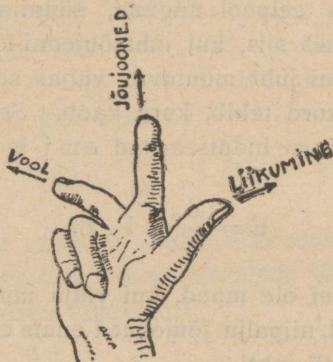
Jagame dΦ aja dt peale, siis saame kiiruse, millega väli ennast muudab ehk väljamuutumise kiiruse.

Tähendab

$$E = \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{--- --- --- --- --- } N_0$$

Indutseeritud emj = väljamuutumise kiirusele. Voolusiht oleneb jõujoonte ja liikumise sihist. Teda võib kergesti Flemmingiseaduse abil järgmiselt ära määrata:

Kui kolmest esimestest parema käe sõrmedest luua täisnurkline koordinaatide süsteem, siis näitab pöial liikumise sihti, teine sõrm jõujoonte sihti ja kolmas voolu sihti (joonistus 59).



Joonistus 59.

Näitused

1. Magneetiväljas, mille $B = 6000/\text{sm}^2$, liigutakse 200 järjestikku ühendud traati à 25 sm pikad, 12 m/sek kiirusega. Kui suur on sünnitud emj?

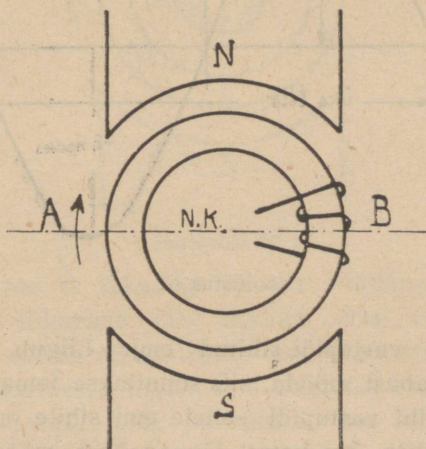
$$E = l \cdot B \cdot v \cdot 10^{-8} = 25 \cdot 200 \cdot 6000 \cdot 1200 \cdot 10^{-8} = 360 \text{ volti.}$$

2. Kui suur peab magneedivälja induktsoon B olema, kui tema igas sekundis 110 volti indutseerima peab, ja temast läbi liigutakse 250 järjestikku ühendud traati à 16 sm pikad, 6 m kiirusega?

$$B = \frac{E}{l \cdot v \cdot 10^{-8}} = \frac{110}{16 \cdot 250 \cdot 600 \cdot 10^{-8}} = 4600 \text{ jõujoont/sm}^2$$

33. Alaline ja vaheldav vool.

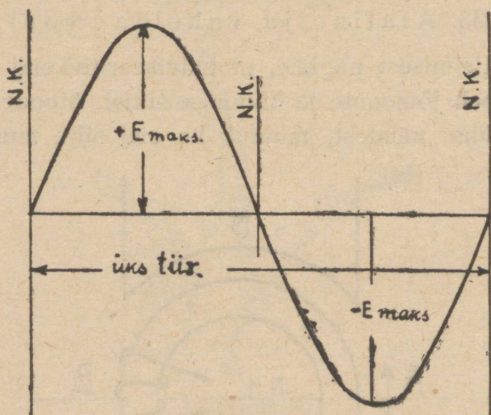
Eelmisest nägime, et indutseeritud emj siht oleneb jõujoonte ja liikumise sihist. Muudetakse üks nendest, muutub ka emj siht, muude-



Joonistus 60.

takse aga mõlemad korraga, siis jääb emj siht sellekssamaks.

Joon. 60 on raudrõngas kujutud, mille peale katsa mähitud. Raudrõngas liikugu kella-seieriga. Raudrõnga peale asetud voolujuhid lõikavad jõujooni, missugune protsess juhtides emj sünnitab. Flemmingi seadust abiks võttes näeme, et ühe tiiru jooksul voolujuhtides sün-

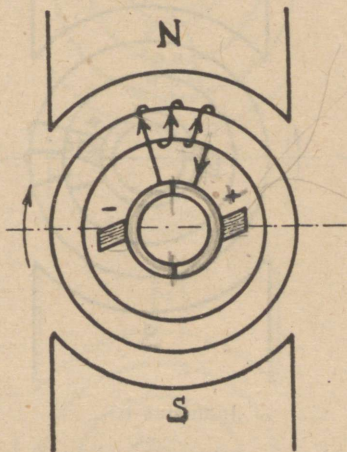


Joonistus 61.

nitakse vastupidi sihitud emj. Liigub katsa põhjanabast mööda, siis sünnitakse temas emj, mille siht vastupidi sellele emj sihile on, mis sünnitakse, kui katsa lõunanabast mööda liigub. Seisab katsa A—B joone peal, siis ei

lõika tema jõujooni ja emj on null. Joon A¹B nimetakse neutraalseks kaareks.

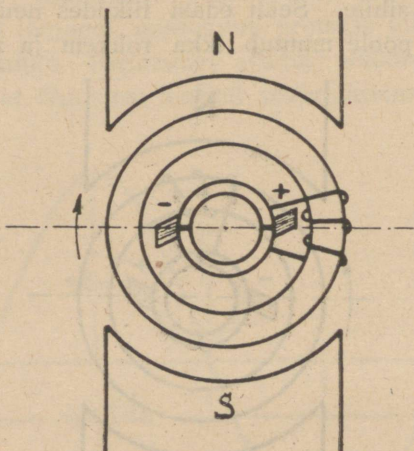
Nüüd aga ei muuda emj mitte üksi oma sihti, vaid ka oma suurust. Naba all on tema liikumise siht silmapilguks vertikaalne jõujoonte sihile. Sealt edasi liikudes neutraalse kaare poole muutub ikka rohkem ja rohkem



Joonistus 62.

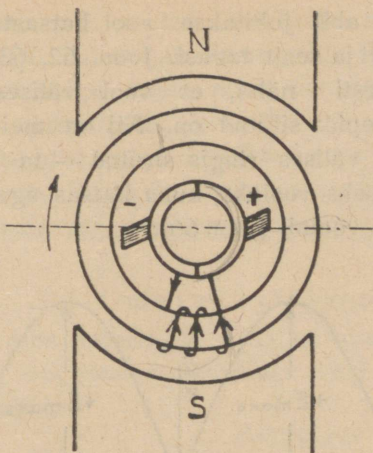
jõujoonte ja liikumise sihtide vaheline nurk, katsa liikumise siht lähineb ikka enam ja enam sellele silmapilgule, kus tema paralleelselt jõujoontele liigub, s. o. sünnitub emj vähe-
neb alatasa kuni punktini B, kus tema null on. Täheandab naba all on emj üks maksimum neutraalses kaares null.

Sellest näeme, et katsa emj ühe tiiru jook-
sul kord positiivne, kord negatiivne, kaks
korda null ja kaks korda maksimum on (joon.
61). Katsas sünnitakse vaheldav pinge ja, kui
vooluring ühendakse, vaheldav vool.

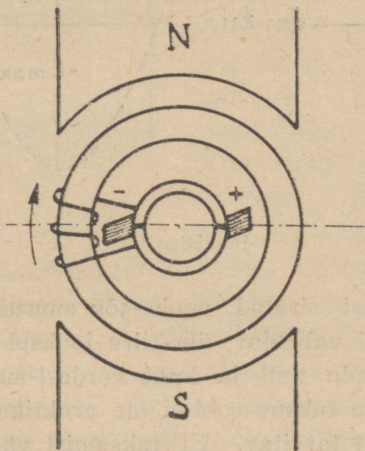


Joonistus 63.

Soovitakse välises vooluringes ühtepidi
sihitud voolu, siis tuleb ühendada katsa otsad
n. n. kommutaatoriga, mille abil voolu-
siht välises vooluringis sellel silmapilgul
muudetakse, kus emj nullist läbi läheb (joon.
62, 63, 64, 65). Kommutaator seisab koos
kahest vaskpoolrõngast, mis teine teisest
hästi isoleeritud ja ühes raudrõngaga liiguvad.
Rõnga peale litsuvate ja paigal seisvate

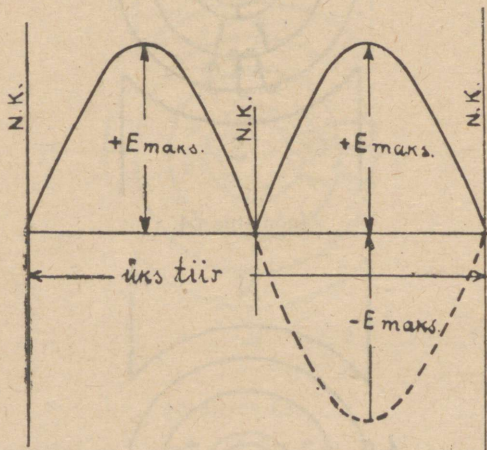


Joonistus 64.



Joonistus 65.

harjade abil juhitakse vool katsast välisse vooluringi ja sealt tagasi. Joon. 62, 63, 64, 65 on selgesti näha, et vool välises ringis nüüd ühtepidi sihitud on. Nii on meie vaheldav vool välises ringis sirutud — ta on saanud alaliseks vooluks, kuna katsas aga vaheldav vool voolab (joon 66).



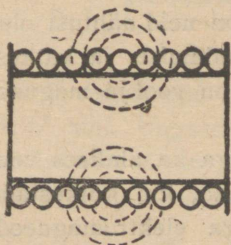
Joonistus 66.

Niiviisi sirutud voolu jõu suurus on aga ikka veel vaheldav, ühe tiiru jooksul on tema kaks korda null ja kaks korda maksimum. Niisugune tuksuv vool ei ole praktikas suuremalt jaolt tarvitav. Et tuksumist vähendada, mähitakse rõnga peale ühe katsa asemel kaks

ja nimelt nii, et kui üks katsa neutraalses kaares (N. K.) seisab, teine just naba all on. Nüüd ei lange enam meie emj nullini, sest selleks silmapilguks, kus ühe katsa emj on nulliks saanud, indutseeritakse teises katsas emj maksimum. Katsa arvu suurendamisega vähendame meie emj tuksumist välises vooluringis.

34. Oma induktsioon.

32. jaos nägime, et emj ka siis indutseeritakse, kui jõujooni sünnitav vool kasvab ja kahaneb.



Joonistus 67.

Sealjuures lõigatakse seisev voolujuht kord kasvavast, kord kahanevast jõujoonte hulgast. Joonistuses 67 on katsa joonistud. Kui meie katsa mähest läbi saadame elektrivoolu, siis sünnitab viimane iga katsa mähe keeru ümber

jõujooni. Solenoidis nägime, et sünnitud jõujooned katsa ühiselt ümbritsevad. Jõujooned, mis, näituseks, keskmise keeru ümber voolu siginemisega tekkivad, ümbritsevad juhti esialgu väikestes ringides, kasvavad aga laen-tena, mis nagu vette visatud kivi ümber tekkivad, ja lõikavad sealjuures pooli keerusid,

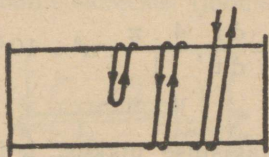
sünnitades nendes elektromootorlist jõudu. See emj indutseeritakse oma vooluringi voolust ja nimetakse ka sellepärast oma indukttsiooni elektromootorliseks jõuks.

Omainduktsiooni emj on nii sihitud, et ta väljamuutmisele vastu töötab. Tema on, kui vool ja sellega väli kasvab, voolule vastu sihitud, ta katsub voolu kasvamist takistada. Vähendakse elektrivoolu, siis on omaindukttsiooni emj elektrivooluga ühtepidi sihitud, nüüd püüab ta voolukahanemist takistada. Nendest nähtustest järeldame, et omaindukttsioonil tung on loodud elektriolekut alal hoida.

Alalise voolu ringides on neid nähtusi olemas ainult vooluringi ühendamise ja katkestamise ajal, sest vaheajal on vool ja magneetiväli alalised.

Omainduktsioon võib aga ka alalises vooluringis väga suureks saada, kui katkestada järsku suure keeru arvuga elektromagneedi mähe voolu. Suur jõujoonte hulk tõmbab ennast järsku kokku ja lõikab sealjuures suure kiirusega katsa keerusid. Omainduktsiooni emj võib nii suureks saada, et mähe isolatsiooni läbi lööb. Katkestamise kohas tekkib suur säde, millel omast kohast ka head omadused on: tema abil voolab elektrivool veel katkestamise silmapilgul edasi ja vähendab selle läbi omaindukttsiooni.

Mitmed aparadid võivad ainult siis täpipealt mõeta ja töötada, kui omanduktsioon hävitada. Seda saavutakse sel teel, et traat keskelt käänatakse ja kahekordselt mähitakse (bifilaar-mähe). Kahest kõrvuti seisvast traadist voolab elektrivool isesuguste sihtidega läbi, nii et nende jõujooned teine teist hävitavad (joonistus 68).



Joonistus 68.

Omainduktsiooni emj määratakse ära formula 37 abil. Negatiivne märk tähendab, et omainduktsiooni emj algusvoolule vastu on sihitud, ta püüab väljamuutmist takistada.

$$E_s = - \frac{d \Phi_s}{d t}.$$

E_s = omainduktsiooni emj,

$d \Phi_s$ = magneetivälja muutumine $d t$ ajas.

On mähes n keeru, siis on E_s n korda suurem:

$$E_s = - n \cdot \frac{d \Phi_s}{d t} \text{ absoluut. üksustes,}$$

$$\text{ehk } E_s = - n \cdot \frac{d \Phi_s}{d t} \cdot 10^{-8} \text{ volti.}$$

Oomi seaduse järele on aga

$$\Phi_s = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{\frac{1}{\mu \cdot q}};$$

$$d\Phi_s = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot di \cdot n}{\frac{1}{\mu \cdot q}}.$$

Nüüd on

$$E_s = - \frac{di}{dt} \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\frac{1}{\mu \cdot q}} \cdot n^2 \cdot 10^{-9} \text{ volti.}$$

Magneeditakistuse pikkust l , tema läbilõiget q ja jõujoonte teekonna permeabiliteeti μ võib välja arvata ainult üksikutel juhtumistel. Nende mõju kokku võib aga katse abil kergesti äramäärata. Sellepärast nimetakse neid koos ühe teguriga:

$$L = \frac{4 \cdot \pi \cdot n^2}{\frac{1}{\mu \cdot q}} \cdot 10^{-9} \text{ henri} \text{ — — — } 38.$$

L nimetakse oma induktsiooni teguriks ja mõedetakse henri'des.

1 henri = 10^{-9} aboluutset üksust.

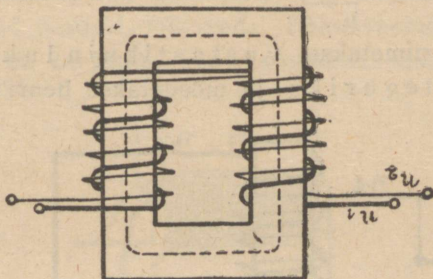
Seega on oma induktsiooni emj

$$E_s = - \frac{di}{dt} \cdot L \text{ volti} \text{ — — — } 39.$$

Selle formeli väljaarvamine kuulub vaheldava voolu teooriasse ja tuleb seal harutusele.

35. Vastastikune induktsioon.

Seame kaks iseseisvat mähet kõrvuti ehk teine teise peale nii, et magneedi jõujooned ka teise mähe keerusid lõikavad, siis sünnitakse induktsiooni seaduse järele teises mähes emf. Voolu kasvamine esimeses (joonistus 69) mähes



Joonistus 69.

indutseerib temale vastusihitud emf teises mähes; voolukahanemine sünnitab temaga ühtepidi sihitud emf. Põhjusmõttelikult ei ole oma-induktsioonil ja vastastikuinduktsioonil mingit vahet. Jätame magneetilise puistevoolu tähele panemata, siis on mõlemas mähes indutseeritud emf ainult nende keerudele proportsionaalne. Meie paneme nüüd n^2 asemel $n_1 \cdot n_2$, kus n_1 jõujooni sünnitava mähe kee-

rud (primäärne) ja n_2 sünnitud jõujoontest lõigatud määhekeerud on (sekundäärne) ja saame siis :

$$E_2 = - \frac{d i_1}{d t} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot n_2}{1} \cdot 10^{-9} \text{ volti}$$

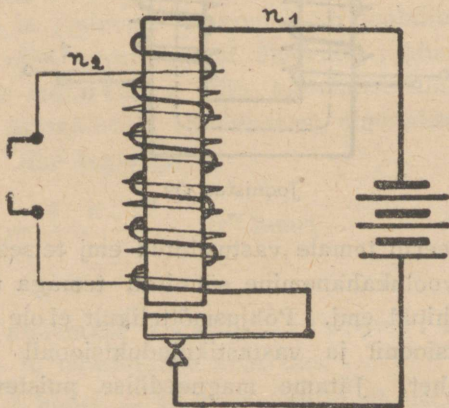
$\mu \cdot q$

ehk $E_2 = - \frac{d i_1}{d t} \cdot M \text{ volti} \text{ — — — — } 40.$

$$M = \frac{4 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot n_2}{1} \cdot 10^{-9} \text{ henri} \text{ — — } 41.$$

$\mu \cdot q$

M nimetakse vastastikuinduktsiooni-
ooniteguriks ja mõeditakse henri'des.



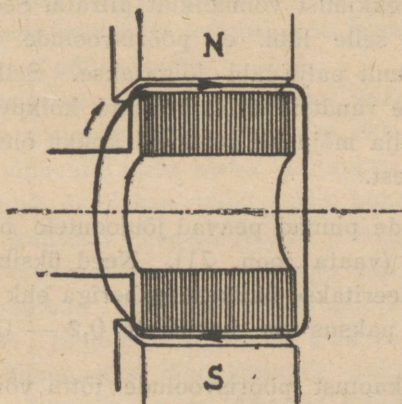
Joonistus 70.

Alalist voolu võib vastastikuinduktsiooni abil ümber muuta vaheldavaks vooluks. Mõ-

lemad poolid n_1 ja n_2 on ühele rauapulgale mähitud. Väikese vedru abil katkestakse ja lülitakse vool katsas n_1 . Tekkinud jõujoonte muutmise tõttu indutseeritakse vaheldav vool katsas n_2 (joonistus nr. 70). Vastastikuinduktioon transfomaatorites ja mootorites võetakse läbi vaheldava voolu tehnikas.

36. Fukoo- ehk pöörisvoolud.

Fukoovoolud sünnitakse, kui jõujooned jämedaid juhtisid lõikavad. Fukoovoolude teekond on tundmata, nad voolavad sealt, kust



Joonistus 71.

nad kõige väiksema takistuse leiavad. Niipalju on kindel, et emj, mis pöörisvoolud liikuma paneb, on vertikaalne jõujoontele ja liikumise

sihile. On näituseks vasktraat raudtsilindrile mähitud ja keerutame viimast nii nagu joon. nr. 71 näidatud, siis sünnitakse traadis emj, mille sihti nool näitab. Raudtsilindris sünnitakse aga ka emj, sest et see ka voolujuht on. Nii tekivad raudtsilindris voolud, mis tsilindri suure läbilõike, s. o. väikese takistuse tõttu väga suured olla võivad. Pöörisevoolud sünnitavad Joule'i seaduse järele soojust, mis energiat jõu allikas lisaks sünnitama peab. See kaotsiminev energia ja temperatuuri tõusmine on nähtused, mis ei ole soovitatavad ja sellepärast katsutakse nende tekkimist võimalikult piirata. Seda saavutatakse selle läbi, et pöörisevoolude teekond võimalikult palju läbi lõigatakse. Sellepärast seatakse raudtsilindrid, kui nad kõikuva magneetvälja mõju all seisavad, kokku õhukestest plekkidest.

Nende pinnad peavad jõujoontele paralleel seisma (vaata joon. 71). Need üksikud plekid isoleeritakse õhukese paberiga ehk lakiga. Nende paksus on harilikult 0,2 — 0,5 mm.

Töökaotust pöörisevoolude tõttu võib järgmisel viisil nähtavaks teha. Võetakse vaskseib ja seotakse vabalt kahe elektromagneedi nabade vahele, nii et tema seal kõlkuda võib. Saadetakse magneetmähest vool läbi, siis jääb vaskseib nii kui pudrus järsku

seisma, sest pöörisvoolud takistavad kõlkumist. Sealjuures läheb vaskseib soojaks, liikumise energia muutub Joule'i soojuseks.

Mitte üksi ankrurauas, vaid ka ankrumähes võivad pöörisvoolud tekkida, kui mähejuhi põiklõige suur on. On näituseks suure põiklõikega mähe tehtud lattvasest, siis on silmapilguks üks lati serv magneediväljas, kuna teine aga juba nabamõjust väljas on. Lati esimeses pooles indutseeritud emj sünnitab selles osas voolu, mis harjade abil võrku saadetakse; üks osa sellest sünnitud voolust aga voolab magneedivälja mõjust vabaks saanud lati teisele poolele ja kujutab seal kinnise vooluringi — pöörisvoolud.

Pöörisvoolude ärahoidmiseks ankrumähes tehakse naba servad ümarguseks ehk suurendakse õhuvahe naba serva ja ankru vahel. Selle abil saadakse naba serva kohal aegamööda kahanev magneediväli. Praegu üleüldiselt tarvitusel olevatel uuretega ankrutel on pöörisvoolude tekkimine ankrumähes väga väikene. Jõujooned voolavad kõik radiaalselt ankru hammastest läbi, kistakse ankru tiirlemisega vähe kaasa ja lõikavad lõpuks suure kiirusega ühekorraga kõik uures olevad juhid, nii et pöörisvoolude tekkimine võimata on. Pöörisvoolude tõttu peavad ka igasuguste aparaatide metallosad ehk kinniste voolurin-

gide osad, mis seisavad muutuvast magneedi-
väljas, nii ehitud olema, et pöörisevoolude
tekkimine nendes osades oleks minimum. Me-
tallist valmistatud katsaalustele, näituseks, lõi-
gatakse pikuti soon sisse (paralleel jõujoon-
tele), või valmistatakse nad halvasti juhtivatest
metallidest või jälle puust ehk papist.

Meie nägime, et pöörisevooludega energia
kaotus seotud on ja nimetasime neid sellepä-
rast kahjutoovateks vooludeks. Kuid on juhtu-
misi, kus nende tekkimine väga soovitatav ja
tarvilik on. Nimelt kasutatakse nende mõju ära
elektrimõeduriistades sumbutajatena. Näituseks
kestaksid ampermeetri seieri võnkumised väga
kaua, kui viimane ühendatud ei oleks sumbuta-
jaga, mille abil seier peaaegu momentaalselt
uuel seisakul rahule jääb. Selleks otstarbeks
ühendatakse seier metallseibiga, mis liigub mag-
needinabade vahel. Seibi liikumisel sünnitak-
se temas pöörisevoolud, mis seibi sunnivad
seisma jääma.

Pöörisevoolude tõttu soojuseks ümber muude-
tud energia on

$$W_p = i^2 \cdot r = \frac{E^2}{r},$$

kusjuures r on pöörisevoolude juhi takistus, i
on pöörisevool ja E indutseeritud emf, mis
pöörisevoole sünnitab.

Indutseeritud emj on aga

$$E = l \cdot v \cdot B.$$

Seisab ankur üksikutest plekkidest koos, siis tähendab 1 plekipaksust. Võetakse v asemele temale proportsionaalne v , siis saame

$$W_p \equiv \frac{1}{r} \cdot \Delta^2 \cdot v^2 \cdot B^2$$

Arusaadav, et mida suurem raua ruum, mis seisab magneedivälja mõju all, seda suurem ka kaotus pöörisvoolude tõttu olema peab, tähendab W_p on veel proportsionaalne raua ruumile :

$$W_p \equiv \frac{1}{r} \cdot \Delta^2 \cdot v^2 \cdot B^2 \cdot V_r$$

Takistus r oleneb esmalt raua eritakistusest, ta oleneb aga veel pöörisvoolu teepikkusest ja teepõiklõikest. Viimast kahte suurust on aga täitsa võimata kindlaks teha. Siinjuures tuleb veel arvesse võtta, et temperatuuri tõusmisega raua takistus märksa kasvab, nii et pöörisvoolud masina koormatuse tõusmisega kahanevad. Ainus võimalus, mis lubab ühtivuse peale üle minna, on see, et ühtivuse tegur katse abil kindlaks tehakse. Tema on 0,5 mm paksude plekkide jaoks umbes $2 \cdot 10^{-3}$. Kui edasi veel arvesse võtta, et

$$1 \text{ watt} = 10^7 \text{ abs. üks.},$$

siis saame

$$W_p = 2 \left(\Delta \cdot \frac{\nu}{100} \cdot \frac{B}{1000} \right)^2 \cdot V_r \text{ watti} \text{ --- 42.}$$

Siin tähendavad:

Δ = pleki paksus mm;

ν = perioodid ehk ringrotsesside arv sekundis;

B = induktsioon;

V_r = rauaruum dsm³.

Hüstereesise — kui ka pöörisvoolude kaotused muutuvad soojuseks ümber. Üleüldine kaotus rauas muutuvas magneetväljas seisab koos nende üksikutest kaotustest

$$W = W_h + W_p.$$

See üleüldine kaotus nimetakse rauakaotuseks. Voolusoojuse kaotused igasuguses mähes nimetakse vasekaotusteks.

Eelmine formel näitab, et pleki paksuse vähendamise me W_p kaotused mistahes väikeseks teha võime. Et isoleerkihti plekkide vahel vähendada ei või proportsionaalselt, siis kujuneb aktiivne rauaruum üleüldisest ruumist seda vähemaks, mida õhema plekipaksuse me valime. Nõuetava jõujoonte hulga Φ juures kasvab induktsioon B pleki kahaneva paksu-

sega, temaga kasvavad aga ka hüstereesise kaotused. Et aga pleki kahaneva paksusega hüstereesise kaotused kasvavad ja fukoovoolu kaotused vähenevad, siis peab muidugi olema ka pleki paksus, mille juures mõlemad kaotused igal juhtumisel on minimum. On perioodid ν , rauaruum V_r ja Φ tuntud, siis võib üksikud kaotused W_h ja W_p isesuguste plekipaksuste jaoks välja arvata ja nende kaotuste summa siis plekipaksuse funktsioonina kujutada kõverjoonena. Sellest kõverjoonest võib nüüd valida nõuetavale juhtumisele kõige kasulikuma plekipaksuse.

Siidipaberi isolatsiooni juures, mille paksus ca 0,05 mm, läheb 0,5 mm pleki tarvitamisel 90% ja 0,3 mm. pleki tarvitamisel 140% üleüldisest ruumist kaduma, aktiivne rauaruum on 91% resp. 86% üleüldisest ruumist. W_p kaotusi võib veel sellega vähendada, et raud alumiiniumiga segatakse, mille tõttu raua eritakistus suureneb.

Plekipaksus on dünamomasinates ja transformaatorites suuremalt osalt 0,5 mm 50 perioodi juures, väga suure ν jaoks võetakse 0,3 mm.

N ä i t u s.

Dünamomasina ankru induktsioon on 10000, ankru pleki paksus 0,5, rauaruum 50 dsm³.

Masinal on 4 naba ja teeb 45 tiiru minutis. Kui suured on wattkaotused pöörisvoolude tõttu?

$$W_p = 2 \left(\Delta \cdot \frac{v}{100} \cdot \frac{B}{1000} \right)^2 \cdot V_r = 2 \left(0,5 \cdot \frac{15}{100} \cdot \frac{10000}{1000} \right)^2 \cdot 50 = \\ = 56,3 \text{ watti.}$$

V Peatükk.

37. Mahtuvus.

Vooluallikas, mis ühendakse suurema vooluvõrguga, saadab lülitamise silmapilgul voolu võrku, selle peale vaatamata, et voolu tarvitavad aparadid võrguga ei ole ühendud ja hea isolatsioon voolu üleminemist ühest nabast teise takistab. See vool on esimesel silmapilgul kõige suurem ja kaob ära mõne sekundi kuni ca. 2 minuti pärast.

Öeldakse nüüd, et võrk on laetud, s. o. vooluallikast on just niipalju elektrit voolanud voolujuhtidesse, et nad vooluallika nabadega ühe astme peale on viidud.

Vooluallikast tarvitajatest eraldud ja hästi isoleeritud juhtidesse saadetud elektri hulk nimetakse nende laenguks ja voolujuhtide elektri hulga kogumise ja seomise omadus nimetakse nende mahtuvuseks. Mahtuvus

oleneb voolujuhtide kujust, suurusest ja nende omavahelisest kaugusest. Mahtuvus tähendakse ära teguriga C , sest nii kui omainduktsiooni tegur L leitakse ka C eksperimentaalselt.

Voolujuhis kogutud elektri hulk on periproportsionaalne vooluallika pingele ja voolujuhi mahtuvusele.

$$Q = C \cdot E \text{ absoluuts. üks.}$$

$$Q = \text{elektri hulk,}$$

$$C = \text{mahtuvus,}$$

$$E = \text{pinge.}$$

Tähendab: C ei ole muud kui voolujuhi laengu ja pinge vahekord. C on mõedupuu selleks, kui suure laengu võib koguda voolujuht.

On $E = 1$, siis on $Q = C$, see tähendab, C on see elektri hulk, mis juhis sünnitab pingeüksust, ehk C on see laeng, mis juht koguda võib, kui ta ühendakse vooluallikaga, mille astmevahe üks.

$$1 \text{ Kulomb} = 1 \text{ Amp.} \times 1 \text{ sek.} = 10^{-1} \text{ abs. üks.}$$

$$1 \text{ Volt} = 10^8 \text{ abs. üks.}$$

Mõedame Q ja E tehniliste üksustega, siis saame

$$10 \cdot Q = \frac{C \cdot E}{10^8};$$

$$Q = C \cdot E \cdot 10^{-9};$$

$$C = \frac{Q}{E \cdot 10^{-9}};$$

Eelmisest formelist on näha, et absoluutne üksus C-le liig suur on ja tehnikas sugugi ette ei tule, sest laengud teevad harilkult mõni kulomb välja. Tehnikas on tarvitusel 10^9 korda vähem üksus ja nimetakse faraad.

$$1 \text{ faraad} = 10^{-9} \text{ abs. üks.}$$

$Q = C \cdot E$ kulombi,
siinjuures mõedetakse

C faraadides,
E voltides.

Et aga isegi üks faraad väga harva ette tuleb, siis tarvitakse mahtuvuse üksuseks üks miljondik osa faraadist ja nimetakse mikrofaaraadiks.

$$1 \text{ mikrofaraad} = 10^{-6} \text{ faradi.}$$

Meie saame nüüd

$$Q = C \cdot E \cdot 10^{-6} \text{ kulombi} \text{ — — — } 43$$

ja mõedame C mikrofaraadis,
E voltides.

Näitus.

Maakaabeli mahtuvus on 3,5 mikrofaraadi, ta laetakse 15000 voldiga. Kui suur on Q?
 $Q = C \cdot E \cdot 10^{-6} = 3,5 \cdot 15000 \cdot 10^{-6} = 52500 \cdot 10^{-6} \text{ kulombi}$

38. Kondensaator ja dielektrikum.

Teine teisest isoleeritud voolujuhte, milles eelmises jaos kõnelesime, võib võrrelda kahe teine teisest isoleeritud metalplaadiga. Ühendakse mõlemad plaadid vooluallika nabadega, siis voolab neisse elekter nii kaua, kui plaadid vooluallika nabadega ühe astme peale viidud on. Täitmine on nüüd lõppenud, sest plaatide astmevahe ja vooluallika emj-õud on ühesugused, ja alles siis, kui plaatide peale kogutud elekter ära juhitakse, võivad nad jälle elektrit koguda.

Kaht niisugust paralleelset ja omavaheliselt isoleeritud juhti nimetakse kondensaatoriks.

Kunstlikult kõige lihtsam valmistud kondensaator on plaatide kondensaator.

Metallplaadid pannakse isoleeritult ridamisi üksteise peale ja äärmised plaadid ühendakse vooluallikaga. Iga maakaabel on loomulik kondensaator, tema mahtuvus oleneb kaabeli geomeetrisest kujust ja üksikute juhtide omavahelisest kaugusest.

Kondensaatori mahtuvus on seda suurem, mida suurem tema pind ja mida vähem plaatide paralleelne vahe.

Kulombi seadusest kõneledes oletasime, et uurimise all olevad elektrilised massid õhus

olid. Ei ole aga kaks teine teise peale mõjuvat massi õhus vaid on nende vahe teine ollus, siis oleneb jõud f peale r ka veel sellest ollusest. Et kulombi seadus maksvaks jääks, peab talle ühe teguri juure lisama. Kulombi seadus täiendud kujul on nüüd

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \frac{1}{\kappa}$$

κ nimetakse dielektri-konstant, ta on iga aine jaoks isesugune. Kahe plaadi vaheline isoleerkiht nimetakse dielektrikumiks. Õhu dielektri-konstant on 1.

Kõiki teisi dielektrikumisi võrdleme õhuga.

Võetakse elektri hulga Q -ga laetud kondensaatoril õhu asemele teine aine, mille dielektri konstant on κ , ja jääb Q muutumata, siis tõuseb kondensaatori mahtuvus κ korda.

Nüüd on

$$Q = C \cdot E \cdot \frac{1}{\kappa}$$

ehk

$$C = \frac{Q}{E} \cdot \kappa. \text{ — — — — 44 —}$$

κ näitab, mitu korda suurem on kondensaatori laengu võimalus, kui õhu asemel võtta vastav dielektrikum.

Tabel № IV

Dielektrikum	Dielektri-konst.	Dielektrikum	Dielektri-konst.
Õhk	1,0	Paber	1,8 — 2,7
Süsihape	1,000946.	Kautshuk	2
Vesinik	1,000264	Maakaabeli isolatsioon	
Parafiin	2 — 2,3	(paber)	3,5 — 4,3.
Petroleum	2 — 2,2	Eboniit	2 — 3.
Terpentiini õli	2,2	Kolofonium	2,5
Transformaatori õli	2,22	Shellak	2,6 — 3,7
Vesi (puhas)	80.	Väävel	2,42
Portsellaan	4,4 — 5,3.	Kirjalakk	4,3.
Klaas	6 — 9.	Marmor	6.
Vilgukivi	4,7 — 6,7		
Mikaniit	4,5 — 5,5		
Guttapersha	2,8 — 4,2		

VI. Peatükk.

Absoluutne mõedusüsteem.

39. Pikkuse, massi ja aja üksused.

Absoluutne mõedusüsteem põhjeneb kolme üksuse peal: sentimeeter, gramm ja sekund. Ta nimetakse sellepärast ka sentimeeter — gramm — sekundi (sgs) süsteemiks. Pikkuse üksus sgs-süsteemis on sentimeeter. See on üks 100-dik osa rahvusvahelises büroos Sevres'is Pariisi lähedal alalhoitavast plaa-tinairiidiumist valmistud normaalmeetri mõe-dust. Üks meeter on üks 40 miljondik osa Pariisist läbikäivast meridiaanist.

Massi üksus on gramm, kaalub niipalju kui 1 sm^3 vett 4^0 C soojuste juures.

Aja üksus on sekund, see on 86400-dik osa keskmisest päevast.

Kõik teised suurused, nagu kiirus, töö jne. võib nende kolme põhiüksuste abil ära tähenda. Formel, mis mingisuguse suuruse nende kolme põhiüksuste abil ära tähendab, nime-takse mõõde. Nii on, näituseks, pind pikkuse teine mõõde (dimensioon), ruum on pikkuse kolmas mõõde. Kiirus on pikkuse ja aja mõõde. Pinna mõõde on L^2 , ruumi mõõde $= L^3$,

kiiruse mõõde on $L.T^{-1}$ ($\frac{L}{T}$ = tee jagatud ajale)

40. Mehaanilised suurused.

a) Kiirus.

Kiirus on aja üksuse jooksul läbikäidud tee. Kiiruse mõõde $= \frac{L}{T} = L \cdot T^{-1}$.

Tähendab v kiirus, siis saame

$$v = \frac{1}{t} \text{ sm/sek.}$$

Näitus.

Dünamomasina ankru läbimõet on 1,6 m, ankur teeb 300 keeru minutis. Kui suur on ankru ümbermõedukiirus sgs süsteemis?

Ankru ümbermõet $= 1,6 \cdot \pi = 5 \text{ m} = 500 \text{ sm.}$

Teepikkus minutis $= 500 \cdot 300 = 150000 \text{ sm.}$

Ümbermõedukiirus on

$$v = \frac{1}{t} = \frac{150000}{60} = 2500 \text{ sm/sek.}$$

b. Kiirustus.

Kiirustus on kiirusekasvamine aja üksuse jooksul.

$$\text{kiirustus} = \frac{\text{kiirusekasvamine}}{A_{eg}}.$$

$$\text{Kiirustuse mõõde} = \frac{L \cdot T^{-1}}{T} = L \cdot T^{-2}$$

On v_1 algkiirus, v_2 lõpukiirus, ja on kiirustus ühtlane, siis on ta

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}.$$

Näitus.

Algkusekiirus olgu 0, lõpukiirus 3 sekundi järele 29,43 m sekundis. Kui suur on kiirustus sgs süsteemis?

$$v_1 = 0; v_2 = 29,43 \cdot 100 = 2943 \text{ sm/sek}, t = 3 \text{ sek.}$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{2943 - 0}{3} = 981 \text{ sm/sek}^2.$$

Meie näeme, et kiirustust ei määrata ära mitte sentimeetrites, nagu seda tihti tehakse, ka mitte sentimeetrites sekundi jooksul, vaid sentimeetrites jagatud ruutsekundidele, sest

$$\text{kiirustuse mõõde on } L \cdot T^{-2} = \frac{L}{T^2}.$$

$\frac{1}{t}$ on kiirus, aga mitte kiirustus.

Pinda ei mõeda meie mitte sentimeetrites, vaid ruutsentimeetrites. 1 H P ei ole mitte 75 mkg, vaid 75 mkg sekundis.

$$\begin{array}{l} \text{c. Jõud.} \\ \hline \text{Jõud} = \text{mass} \times \text{kiirustus.} \end{array}$$

Jõumõõde on $= M \cdot L \cdot T^{-2}$.

On f jõud ja M mass sgs süsteemis, siis saame

$$f = M \cdot a.$$

On $M = 1$ ja $a = 1$, siis on $f = 1$, s. o.

Jõu absoluutne üksus on see jõud, mis absoluutsele massiüksusele ehk ühe kantsentimeetri veele kiirustuse 1 sm/sek^2 annab. See jõud nimetakse düün. Maakera külgetõmbejõud annab massi üksusele kiirustuse 981 sm/sek^2 . Ühe grammi kaal ehk jõud, millega see oma aluse peale rõhub, on seega $981 \text{ abs. üks.} = 981 \text{ düüni}$,

$$\text{ehk } 1 \text{ düün} = \frac{1 \text{ gramm}}{981}$$

$$\text{ehk } 1 \text{ düün} = \frac{1 \text{ kilogramm}}{981000}.$$

$1 = \text{gramm} = 981 \text{ abs. üks. ehk düüni}$,

$1 = \text{kilogramm} = 981000 \text{ abs. üks. ehk düüni}$.

Näitus.

Kui suur on jõud absoluutses mõedus, millega maakera 1 kilogrammi külge tõmbab?

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ grammi};$$

$$9,81 \text{ m/sek}^2 = 981 \text{ sm/sek}^2;$$

$$M = 1000; a = 981.$$

$$f = M \cdot a = 1000 \cdot 981 = 981000 \text{ düüni}.$$

41. Magneeditilised suurused.

a) Nabatugevus.

Nabatugevust mõeldakse jõu abil, mida ta väljaspoole avaldab. Kulombi seaduse järelle on jõud, millega kaks naba teine teise peale mõjuvad:

$$f = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

m_1 ja m_2 on nende kahe naba tugevused ja r nende kaugus. On $m_1 = m_2$, siis saame

$$f = \frac{m \cdot m}{r^2}$$

$$\text{ehk } m = r \sqrt{f}$$

Nabatugevuse mõõde on $= L \cdot \sqrt{L \cdot M \cdot T^{-2}}$

$$= L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$$

b. Väljatugevus.

Jõud, millega magneeditilise naba peale mõjub, on seda suurem, mida suuremad on välja-
tugevus ja nabatugevus:

$$f = m \cdot H,$$

$$\text{ehk } H = \frac{f}{m}.$$

Väljatugevus on jõud, mis üksuse naba peale mõjub.

$$\text{Väljatugevuse mõõde} = \frac{L \cdot M \cdot T^{-2}}{L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}} = L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}.$$

Väljaüksus on sellel väljal, mis jõuga 1 düün üksuse naba peale mõjub.

c. Jõujoonte hulk.

Jõujoonte hulk on kasvatis pinna ja ühe ruutsentimeetri peal oleva jõujoonte hulgaga.

$$\Phi = q \cdot H.$$

$$\text{Jõujoonte mõõde} = L^2 \cdot L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1} = L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}.$$

Jõujoonte üksus on ruutsentimeetri peal olemas, kui üksuse naba peale jõud 1 düün avaldakse.

42. Elektrilised suurused.

a. Elektromootorline jõud.

Elektromootorline jõud

$$E = l \cdot v \cdot H.$$

$$l \text{ mõõde} = L.$$

$$v \text{ „ „} = L \cdot T^{-1}$$

$$H \text{ „ „} = L^{-\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}$$

$$\text{Elektromootorlise jõu mõõde} = L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2}.$$

Emj absoluutset üksust indutseeritakse, kui üks jõuoon sekundis lõigatakse.

$$1 \text{ Volt} = 10^8 \text{ absoluutset üksust.}$$

$$E = 1 . v . B . 10^{-8} \text{ volti.}$$

b. Elektrivoolu tugevus.

Väli H mõjub juhi peale, millest vool J läbi voolab ja mille pikkus l on, jõuga

$$f = H . J . l.$$

Vool sgs süsteemis on

$$J = \frac{f}{H . l}$$

$$\text{Voolu mõõde on} = \frac{L . M . T^{-2}}{L^{-\frac{1}{2}} . M^{\frac{1}{2}} . T^{-1} . L} = L^{\frac{1}{2}} . M^{\frac{1}{2}} . T^{-1}.$$

Üksus on sellel elektrivoolul, mis läbi voolates üks sm üksuseväljast, jõu 1 düün avaldab.

$\frac{1}{10}$ osa sellest absoluutsest üksusest on 1 ampeer:

$$1 \text{ ampeer} = \frac{1}{10} \text{ absoluutsest üksusest,}$$

tema lahutab hõbenitraadi sulatisest ühes sekundis 1,118 mg hõbedat.

c. Elektri hul k.

Elektrihulk on voolutugevuse ja aja kasvatis. Elektri hulga mõõde on: $L^{\frac{1}{2}} . M^{\frac{1}{2}} . T^{-1} \times T =$

$$= L^{\frac{1}{2}} . M^{\frac{1}{2}}$$

Absoluutne üksus on elektri hulgal, mis 1 sek. läbilõikest läbi voolab, kui voolutugevus absoluutne üksus on.

$\frac{1}{10}$ osa sellest absoluutsest üksusest on 1 kulomb.

$$1 \text{ kulomb} = \frac{1}{10} \text{ absoluutsest üksusest.}$$

d. Takistus.

Oomi seaduse järele on takistus

$$r = \frac{E}{I}.$$

Takistuse mõõde on: $\frac{L_{\frac{3}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2}}{L_{\frac{1}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}} = L \cdot T^{-1}.$

$$1 \text{ oom} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amp}} = \frac{10^8}{10^{-1}} = 10^9 \text{ absoluuts. üks.}$$

Elavahõbe niidil, mille pikkus 106,3 sm ja läbilõige 1 mm², on takistus 1 oom.

43. Töö, soojuse ja võime üksused.

a. Töö.

Mehaaniline töö on kasvatis jõu ja tee vahel:

$$A = f \cdot s.$$

Mehaaniline töö mõõde $= L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$. Kui eelmises arvlauses $f = 1$ düün ja $s = 1$ sm panna, siis saame absoluutse tööüksuse, see nimetakse erg.

See on aga ka elektritöö üksus, sest elektritöö

$$A = E \cdot I \cdot t.$$

$$\begin{aligned} \text{Selle mõõde} &= (L^{\frac{3}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2}) (L^{\frac{1}{2}} \cdot M^{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}) \cdot T = \\ &= L^2 \cdot M \cdot T^{-2}. \end{aligned}$$

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ düün} \times 1 \text{ sm}.$$

Absoluutne tööüksus on erg, tehniline tööüksus on joul.

$$1 \text{ joul} = 1 \text{ amp} \times 1 \text{ volt} \times 1 \text{ sek.}$$

$$1 \text{ amp} = \frac{1}{10} \text{ abs. üks.}, \quad 1 \text{ volt} = 10^8 \text{ abs. üks.}$$

$$1 \text{ joul} = 10^8 \cdot 10^{-1} = 10^7 \text{ abs. üks.},$$

$$\text{ehk } 1 \text{ joul} = 10^7 \text{ erg.}$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ sm},$$

$$1 \text{ kg} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ düüni},$$

$$1 \text{ mkg} = 9,81 \cdot 10^7 \text{ erg} = 9,81 \text{ joul.}$$

b. Soojus.

Soojus on ühevääriline tööga, sellepärast on tema mõõde töömõõtega ühesuurune.

Soojuse üksus on „väike grammkalooria“, tema soendab 1 g vett 0° ühe kraadi võrra.

Katse järele on:

$$1 \text{ kgkal} = 427 \text{ mkg}$$

$$1 \text{ gkal} = 0,427 \text{ mkg}$$

$$1 \text{ mkg} = 9,81 \text{ joul.}$$

Nüüd saame :

$$1 \text{ gkal} = 0,427 \cdot 9,81 \text{ joul} = \frac{1}{0,24} \text{ j.}$$

$$\text{ehk} \quad 1 \text{ joul} = 0,24 \text{ gkal.}$$

C. Võime.

Võime on aja üksuse jooksul tehtud töö.

$$\text{Võime} = \frac{\text{töö}}{\text{aeg}}.$$

$$\text{Võime mõõde} = L^2 \cdot M \cdot T^{-3}.$$

Absoluutse võime üksus on 1 erg 1 sekundis.

Tehniline üksus on 10⁷ erg sekundis ja nimetakse watt.

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ amp} \times 1 \text{ volt}$$

$$1 \text{ watt} = 10^{-1} \times 10^8 = 10^7 \text{ abs.üks.}$$

$$1 \text{ watt} = 10^7 \text{ sekundierg} = 1 \text{ joul 1 sekundis.}$$

$$1 \text{ HP} = 75 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}},$$

$$1 \frac{\text{mkg}}{\text{sek}} = 9,81 \frac{\text{joul}}{\text{sek}} = 9,81 \text{ watti.}$$

Seega on: $1 \text{ HP} = 75 \cdot 9,81 = 736 \text{ watti.}$

44. Elektrivooluringide tegurid.

a. Omainduktsiooni tegur.

34. jaos leidsime omainduktsiooni tegurile

$$L = \frac{4 \cdot \pi \cdot n^2}{\frac{1}{\mu \cdot q}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot \mu \cdot q}{1}.$$

Arvesse võttes, et 4π , n ja μ puhtad arvud on, saame omainduktsiooni teguri mõõde:

$\frac{L^2}{L} = L$. Omainduktsiooni mõõde on pikkus ja selle absoluutne üksus sentimeeter. Praktilises mõõdusüsteemis võetakse 10^9 absoluut üksust kokku ja nimetakse üks henri.

$1 \text{ henri} = 10^9 \text{ absoluut üksust.}$

34. jaos ütlesime, omainduktsiooni emj on vool jagatud ajale korda L :

$$E_s = \frac{\text{vool}}{\text{ajale}} \times L.$$

See võib ainult siis õige olla, kui mõlemad mõõded ühesugused on.

$$L_{\frac{3}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2} = \frac{L_{\frac{1}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}} \cdot T^{-1}}{T} \cdot L = L_{\frac{3}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2}.$$

Selle katsa L on 1 henri, milles 1 volt indutseeritakse, kui vool sekundi jooksul 1 ampeeri võrra kasvab.

b. Mahtuvuse tegur.

37. jao järele on:

$$Q = C \cdot E,$$

$$\text{ehk } C = \frac{Q}{E}.$$

Mõõte mahtuvuse jaoks leiame üsna hõlpsasti, kui meie Q mõõde jagame E mõõdele.

$$\text{Mahtuvuse mõõde} = \frac{L_{\frac{1}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}}}{L_{\frac{3}{2}} \cdot M_{\frac{1}{2}} \cdot T^{-2}} = L^{-1} \cdot T^2.$$

Mahtuvuse tehniline üksus on 1 faraad,

$$1 \text{ faraad} = \frac{1 \text{ kulomb}}{1 \text{ volt}};$$

$$1 \text{ faraad} = \frac{10^{-1}}{10^8} = 10^{-9} \text{ abs. üks.}$$

$$1 \text{ mikrofaraad} = 10^{-6} \text{ faraadi} = 10^{-15} \text{ abs. üks.}$$

Sisukord.

Elektri voolu seadused

	Lhk.
Elektrivool	5
Elektromootorline jõud ja tema üksus	7
Elektrivoolu hulk ja tugevus	11
Oomi seadus ja elektritakistuse üksus	15
Takistuse ärarippuvus voolujuhi materjalist . .	19
Näpitspinge ja pingekaotus	23
Elementide järjestikku ja paralleel ühendamine	28
Kirchhoffi seadused	34
Takistuste järjestikku ja paralleel ühendamine	38
Elektritöö, elektrivõime ja Joule'i seadus . . .	41
Elektriline aste (potentsiaal)	47
Wattkaotused voolujuhis ja selle põiklõike välja- arvamine	49

Elektrivoolu keemiline tegevus

Elektrolüüs	58
Faradei'i elektrolüüsi seadused	62
Polarisatsioon	65
Akkumulaatorid	68
Galvanielemendid	78
Voltameetrid	80

Magnetismuse põhiseadused

Magneedinaba tugevus	84
Magneediväli ja välitegevus	89
Magneedi jõujooned	92
Raud magneediväljas	94
Maakera magneediväli	95
Elektrivoolu magneediline tegevus	97
Magneediline moment	102
Biot ja Savart'i seadus	104

Solenoidi magneediväli	110
Magneetmise kaared	115
Oomi seadus magneediliste ringide jaoks	123
Hüstereesis	132
Paramagneedilised ja diamagneedilised ained	136
Magneediline kattemõju ja raua magneediline vananemine	137
Elektromagneet ja tema kandejõud	141

Elektriline induktsioon

Elektriline induktsioon ja indutseeritud emj	147
<u>Alaline ja vaheldav vool</u>	153
Omainduktsioon	159
Vastastikune induktsioon	163
Fukoo - ehk pöörisvoolud	165

Mahtuvus vooluringis

Mahtuvus	172
Kondensaator	175

Absoluutne mõedusüsteem

Pikkuse, massi ja aja üksused	178
Mehaanilised suurused	179
Magneedilised suurused	182
Elektrilised suurused	183
Töö, soojuse ja võime üksused	185
Elektrivooluringide tegurid	188



Trükivead.

- lhk. 11 rida 16 on: on tegur — loe: on tegu.
- „ 41 ja järgn. on: Dshaul'i seadus — peab olema: Joul'i seadus.
- „ 71 rida 18 on: aeromeetriga — peab olema: areomeetriga.
- „ 80 on: voltmeetrid, hõbevoltmeeter — peab olema:
voltameetrid, hõbevoltameeter.
- „ 83 rida 1 on: paukgaasvoltmeeter — peab olema:
paukgaasvoltameeter.
- „ 106 rida 9 on: $f = i \cdot H \cdot l \cdot 10^1$ — peab olema: $f = i \cdot H \cdot l \cdot 10^{-1}$.
- „ 115 formel 27 ja } on: $H = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot n}{1}$ — peab olema: $H = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot i \cdot n}{1}$.
- „ 119 rida 18 }
- „ 135 rida 3 on: $W_h = y \cdot v \cdot B^{1,6} \dots$ — peab olema: $W_h = \eta \cdot v \cdot B^{1,6} \dots$
- „ 144 formel 35 on: $F = \frac{B^2 \cdot q}{8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10} \text{ kg}$ — peab olema:
 $F = \frac{B^2 \cdot q}{8 \cdot \pi \cdot 9,81 \cdot 10^5} \text{ kg}.$

