

H. J A A N S O N

ELEKTROTEHNIKA
A L G Ö P E T U S

TALLINN. 1936

H. JAANSON

ELEKTROTEHNIKA
ALGÕPETUS

TALLINN, 1936. A.

AUTORI KIRJASTUS



6736

Tallinna Eesti Kirjastus-Ühisuse trükkikoda, Pikk t. 2. 1936.

A-9965

I JAGU.

ELEKTROTEHNIKA ALGÕPETUS.

I OSA.

ELEKTROSTAATIKA.

§ 1. Elektriseeritud keha omadusi. Positiivne ja negatiivne elektrilaeng. Coulombi seadus.

On olemas kehasid, mis elektriseeruvad hõõrumisel teiste kehadega. Näit. elektriseerub klaasvarras hõõrumisel amalgaamitud¹⁾ nahaga. Seesugune klaasvarras hakkab enese külge tõmbama teisi väikseid kehakesi, nagu paberi-, juuksetükid, korgipuru j. n. e. Puudutades sõrmega elektriseeritud klaasvarrast, kuuleme kergelt raginat, millega kaasas käib pimedas toas selgesti nähtav sädelemine; sõrm tunneb sellejuures kergelt kõditust. Puudutades elektriseeritud klaasvardaga siidist niidi otsa riputatud korkkuulikest näeme, et kuulike esmalt tõmbub pulga külge ja hüppab selle järele kohe eemale ning hakkab omakorda ise külge tõmbama teisi kergeid kehakesi.

Kirjeldatud nähted tulevad esile ka eboniitvardal selle hõõrumisel karusnahaga; samuti kammil, kui sellega kammida juuksi. Leiame, ühe sõnaga, et hõõrumise teel on võimalik kehasid elektriseerida (n. n. **hõõrumise elekter**).

Elektriseeritud keha omadusi hakkavad avaldama mitmed metallid (näit. vask, tsink) ja süsi, kui need ained paarikaupa asetada üksteise lähedale teatud vedelikkudesse. Elektriseerumine sünnib siin keemiliste ühenduste tagajärjel (n. n. **keemiline elekter**). Samuti elektriseeruvad kahest isesugu metallist tehtud varda- või traadiotsad, kui need omavahel kokku joota ja ühenduskohta kuumendada või jahutada (n. n. **termoelekter**). Mõningate ainete ühendused elektriseeruvad, kui

¹⁾ Amalgaam — elavhõbeda ja metalltolmu sulatis.

neid valgustada kiirtega (n. n. **fotoelekter**). Teatud kristallid elektriseeruvad, kui nad asetada surve alla (n. n. **piëzoelekter**). Viimases lõikes nimetatud elektriseerumised on võrreldes hõõrumise teel saadud elektriseerumisega äärmiselt nõrgad, nii et neid on võimalik avastada vaid tundelikkude mõõtriistade abil.

On tähelepanud, et elektriseeritud kehad mõjuvad üksteisele mehhaaniliselt, olles asetatud ligistikku. Need mõjud võivad olla kahesugused: nimelt püüavad elektriseeritud kehad üksteist kas eemale lükata või üksteisele läheneda. Nii tõukavad vastastikku üksteist kaks eelmisel viisil elektriseeritud klaasvarrast; samuti kaks elektriseeritud eboniitvarrast. Samal ajal elektriseeritud klaas- ja eboniitvarda vahel tekivad ligitõmbavad jõud. Ühe sõnaga, **kahe samal viisil elektriseeritud keha vahel tekib tõukumine, kahe isesugusel viisil elektriseeritud keha vahel — tõmbumine**. Seepärast nimetame klaasvardas hõõrumise teel saadud elektrit, samuti igat elektrit, mis klaasvarda elektrit tõrjub — **klaasielektri** ehk **positiivseks elektri**ks. Elektrit aga, milline klaasvarda elektrit tõmbab või eboniitvarda elektrit tõukab, nimetame **tõrvaelektri**ks ehk **negatiivseks elektri**ks²).

Elektriseeritud kehade omavahelised mehhaanilised mõjud on seda tugevamad, mida rohkem elektrit on kehadele kogutud; teiste sõnadega, mida suuremad on kehadele antud **elektrilaengud**. Puudutades ühe elektriseeritud kehaga teist mitteelektriseeritud keha, anname viimasele üle osa esimese keha elektrilaengust; teiste sõnadega, **laeme** teine keha samanimelise elektriga (nagu see sündis eespool kirjeldatud korkkuulikesega).

Kehale kogutud **elektrilaengut** ehk **elektrihulka** võib soovikorral suurendada ja vähendada kokkupuutumise teel teiste elektriseeritud ja elektriseerimata kehadega. Võib ütelda näit., et ühe keha elektrihulk on teise keha elektrihulgast suurem või väiksem; teiste sõnadega, elektrihulki võib omavahel võrrelda ja mõõta. Elektrilaengu ehk elektrihulga mõõtühikuks on n. n. **absoluutne elektrostaatiline elektrihulga** (abs. el. stat) ühik. See on elektriseeritud teoreetilise punkti laeng, milline 1 sm kaugusel asuvale teise võrdse elektrilaenguga elektriseeritud punktile mõjub (tõukab või tõmbab) ühe düünilise jõuga.

Suurem praktiline elektrihulga ühik on 1 **kuloon** = $3 \cdot 10^9$ abs. el. stat. ühikut.

²) Nimetused „positiivne“ ja „negatiivne“ on valitud täiesti juhuslikult ja ajalooliselt on senistena püsima jäänud tänapäevani, kuigi sama hästi oleks võinud omal ajal tõrvaelektrit ristida „positiivseks“ ja klaasielektrit „negatiivseks“.

Elektriseeritud kehade omavahelised mehhaanilised mõjud on seda nõrgemad, mida kaugemal kehad asuvad üksteisest. See mõju kahaneb **võrdeliselt (proportsionaalselt) kaugusega teises astmes**. Teiste sõnadega, kui kaks elektriseeritud keha asetame üksteisest näit. 3 korda kaugemale, siis vastastik mõju läheb 9 korda nõrgemaks ja ümberpöörduvalt, — tuues kehad 3 korda ligemale, suurendame vastastikku mõju 9 korda. Näeme seega, et vastastik mõju elektrilaengute vahel on võrdeline elektrilaengute suurustega ja pöördvõrdeline nende vahelisele kaugusega teises astmes. See on n. n. **Coulomb'i** (loe Kuloon'i seadus.¹⁾

On veel tähelepanud, et positiivne ja negatiivne elektrilaengud nende ühendamisel alati nõrgestavad üksteist. Võrdsed vastunimelised võrdsetel kehtel kogutud elektrilaengud hävinevad ehk **neutraliseeruvad** ühendamisel täielikult; juhul, kui vastunimelised elektrihulgad kehtel pole võrdsed, hävineb ühendamisel väiksem elektrihulk täiesti ja suurem elektrihulk väheneb väiksema elektrihulga võrra täpselt nii, nagu see sünnib matemaatikas positiivsete ja negatiivsete arvude liitumisel. Sellest asjaolust on tulnudki elektrilaengute kahesugused nimetused — **positiivsed ja negatiivsed**.

§ 2. Juhed ja isolaatorid. Elektrostaatika ja elektrodünaamika mõisted.

Antud kehale kogutud elektrihulka võib üle anda teisele kehale elektri suhtes juhtivaid omadusi avaldava kolmanda keha abil. Need juhtivad kehad on n. n. **elektrijuhed**. Viimaste hulka kuuluvad kõigepealt kõik metallid, süsi ja igasugu hapete ning soolade lahud. Elektrijuhede kõrval on olemas kehasid, mis takistavad elektri üleminekut ühelt kehalt teisele, võimaldades seega elektrilaengu püsimist elektriseeritud kehal; need kehad nimetatakse **isolaatoriteks** ehk **dielektrikuteks**. Heaks isolaatoriks on klaas, siid, eboniit, vilgukivi, kummi, portselan, parafiin, steariin, pigi ja igasugu õlid. Puhas, destilleeritud vesi on isolaator, kuid harilik vesi juhib elektrit kaunis hästi temas sisalduvate soolade tõttu. Gaasid, nende hulgas ka õhk, on isolaatorid, kui neid vaadelda atmosfäärilise

¹⁾ Coulombi seaduse matemaatiline kuju on

$$f = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

kus q_1 ja q_2 on elektrilaengud (el. stat. ühikutes), r — vahekaugus (sm) ja f mehhaaniline mõju (düünides).

või suurema surve all. Hõrendatud gaasid sellevastu juhivad elektrit teatavail tingimusil (n. n. **ioniseeritud** seisukorras) võrdlemisi hästi.

Juhede ja isolaatorite kõrval esineb rida aineid, mis ei avalda selgelt ei ühe, ega teise liigi omadusi. Need kehad, n. n. **pooljuhed**, teatud tingimustel juhivad elektrit kord paremini, kord jälle halvemini või mittedugugi, s. t. võivad olla ka isolaatoriteks. Siia hulka kuuluvad seesugused ained, nagu puu, nõör, inimese keha, maapind, kivi j. n. e.

Soovides antud kehale koguda teatud elektrilaengu, peame selle keha lahutama teistest juhtkehadest ja eriti maapinnast mõne isolaatoriga, teiste sõnadega — peame keha **isoleerima**. Isoleeritud kehal, nagu öeldud, on võimalik koguda püsivat elektrilaengut ja vaadelda ning uurida paigalseisva elektrilaengu omadusi ja seadusi. Osa elektrotehnikast, mis tegemist teeb paigalseisva elektriga, nimetatakse **elektrostaatikaks**.

Saab elektriseeritud keha ühendatud teise kehaga mõne elektrijuhe abil, siis tekib selles juhes elektriliikumine ehk **elektrivool**. Osa elektrotehnikast, mis tegemist teeb liikuva elektriga ja uurib selle omadusi ja kaasaskäivaid nähteid, nimetatakse **elektrodünaamikaks**.

§ 3. Mis on elekter?

Tänapäeva õpetus elektrist ja selle ilmutusist haarab laialt teaduse mitmekesisemaid alasid. Et elektrililmutuste kohta maksvatelt vaadetelt aru saada, tuleb kõigepealt selgeks teha, kuidas uuim teadus enesele ette kujutab aine ehk mateeria ehitust. Oli nimelt juba varemalt teada, et algained (näit. vesinik, väävel, vask j. n. e.), millele keemilised ühendused moodustavad mateeria mitmekesisemaid vorme, koosnevad ise väikestest osakestest ehk **aatomidest**; viimaseid peeti veel mõnikümmend aastat tagasi jagamatuiks. Aatomide ühendustest tekivad **molekulid**. Näit. hapniku molekul (O_2) koosneb kahest hapniku aatomist; vee molekul (H_2O) — kahest vesiniku ja ühest hapniku aatomist; väävlihape molekul (H_2SO_4) — kahest vesiniku, ühest väävli ja neljast hapniku aatomist j. n. e.

Molekulid on antud aine need kõige väiksemad osakesed, mis omavad veel kõik selle aine füüsilised omadused (erikaal, koosseis, värv, maitse j. n. e.). Aine molekul annab ennast küll edasi jaotada aatomideks, millised avaldavad aga sootu teistsugusi omadusi, kui nendest aatomidest koosnev molekul.

Uuima aja uurimuste varal on teadlastel korda läinud

heita sügavamat pilku aatomi sisemise ehituse saladustesse. Nimelt on kindlaks tehtud, et aatom ei kujuta enesest ruumala läbi ja läbi täitvat kompaktset massi, vaid omab võrlemisi õige hõreda koosseisu. Leiti, et iga aatom koosneb omakorda veel väiksematest osakestest, milledest üks, n. n. **prooton**, moodustab aatomi südamikku, kuna teised osakesed ehk n. n. **elektronid** tiirlevad tähendatud südamiku ümber sarnaselt, nagu päikese planeetsüsteemis planeedid tiirlevad päikese ümber. Edasi on kindlaks tehtud, et elektronid pole midagi muud, kui **negatiivse elektri elementaarsed hulgakesed ehk laengud**. Aatomi südamikku pole senini korda läinud aatomist eraldada, kuid näib olema kindel, et aatomi südamik peaks enesel kandma positiivset elektrilaengut, mis võrdub suuruselt selle aatomi kõikide elektronide laengute summale, mille tõttu aatom väliselt ei avalda mingisugust elektrilist mõju.

§ 4. Vabad elektronid. Vanemad hüpoteesid elektri loomuse kohta.

Elektronid esinevad aines mitte ainult seotud kujul aatomide koosseisus, vaid nad tulevad kehas ette ka iseseisvalt n. n. **vabade elektronide** kujul. Vabad elektronid kannavad samuti negatiivseid elektrilaenguid ja just nende vabade elektronide staatiliste ja dünaamiliste omaduste uurimine ongi tänapäeva elektrotehnika sisuks.

Igas kehas on olemas väga suur, kuid kindel hulk vabu elektroone. Seega omab iga keha juba algeliselt teatud elektrilaengu, mille absoluutset väärtust on aga võimata kindlaks teha, kuna keha elektrilaengu hindamine võib sündida vaid võrdluses teiste kehade elektrilaengutega. Tähendatud võrdluste või mõõtmiste lähtealuseks võetakse maakeraga loomulik elektrilaeng ja loetakse elektriliselt **laadimata** seisukorras olevat kõik kehad, mis on maakeraga võrdses elektrilises seisukorras. Omab keha vabu elektroone suuremal arvul, kui see peaks vastama maakeraga laengu seisukorrale, siis öeldakse, et keha on elektriseeritud **negatiivselt**. Võtame aga maakeraga võrdses elektrilises seisukorras olevalt kehalt ära teatud hulk vabu elektroone, siis öeldakse, et keha on elektriseeritud **positiivselt**.

Teiste sõnadega, vabade elektronide liigne hulk võrreldes nende normaalse hulgaga annab end väliselt tunda, kui negatiivne laeng; vabade elektronide hulk kehal alla normaalset annab end tunda kui positiivne laeng. Selle õpetuse seisukohast vaadates peaksime tegema järelduse, et looduses on olemas vaid **ühte seltsi elektrit**, nimelt seda — millist senini

nimetati negatiivseks elektriiks. Selle elektri kuhjumine kehale või hõrendus võrreldes normaalse seisukorraga annab meile kaks liiki elektriseerumist ehk kaks liiki elektrilaenguid: **kuhjumise korral — negatiivseid, hõrenduse korral — positiivseid.**

Olenevalt ainest on ühe või teise keha vabad elektroonid enam või vähem liikvel. Elektriühedeks loeme nimelt kehasid, milledes elektroonide liikumine ehk elektrivool tekib võrdlemisi kergelt. Isolaatorites sellevastu on vabade elektroonide liikuvus väga väike.

Eespool antud seletustest tuleb teha veel üks tähtis järeldus. Paistab nimelt olema tõenäoline, et vabat elektrit (vabu elektroone) on looduses olemas, nagu mateeriatki, kindel hulk. Tekib mõnel kehal negatiivne elektrilaeng, siis peab tingimata leiduma samal ajal kusagil teine keha, mis sai võrdse, kuid positiivse elektrilaengu ja ümberpöördud. Kui eespool (§ 1) kirjeldatud klaasvarrast hõõruti amalgaamitud nahaga, mille järel duseel klaasvardal kogunes teatud positiivne elektrilaeng (elektroonide hõrendus), siis võrdne, kuid negatiivne elektrilaeng (elektroonide kuhjumine) pidi tekkima nahale. Hõõrudes eboniiti villase riidega elektriseerime eboniidi negatiivse laenguga, kuna riie samal ajal elektriseerub võrdse positiivse laenguga. On selge, et kehade elektriseerimisel meie kunagi ei loo juurde ega hävita jäljetult elektrihulke; küll aga moodustame ühedel kehadel vabade elektroonide hõrenduse (positiivne laeng), teistel samal ajal — vastava elektroonide kuhjumise (negatiivne laeng). See on n. n. **elektrihulkade jäädavuse seadus.**

Elektriseerimise protsessi s. t. elektroonide kuhjumise ja hõrenduse teostamiseks on vaja alati kulutada teatud energiat (mehhaaniline hõõrumine, keemiline energia, soojusenergia j. n. e.), mis siinkohas transformeerub elektrienegiaks.

Elektrinähete selgitamiseks tarvitati mitmesuguseid hüpoteese. Nendest üks vanematest, n. n. **dualistlik** hüpotees (Symmer 1759. a.) seletas, et looduses on olemas **kahte** liiki elektrit. Igas neutraalses kehas peitub mõlemat elektrit piiramata, kuid võrdse arvu, mis väliselt ei avaldu, kuna ühe elektri mõju neutraliseerub teise elektri mõjuga. Keha elektriseerumine seisab selles, et välise töö tagajärjel, näit. hõõrumisel, saavad mõlemad elektrid üksteisest lahutatud, millejuures hõõrumisel olnud kehad elektriseeruvad võrdsete, kuid vastupidiste laengutega.

Unitaarne hüpotees (Franklin) sellevastu seletas, et looduses on olemas vaid ühte liiki elektrit, mis normaalsel hulgal kehale kogutuna väliselt ei avaldu. Keha elektriseerumine seisab selles, et teatud tingimustel saab kehale kogutud elektrit rohkem või jääb elektrit vähem, kui seda nõuab normaalne seisukord. Elektri rohkus või puudus avaldubki kaheksaükses elektrisatsioonis.

Nagu näha, seisib viimane hüpotees moodsatele vaadetele lähemal, kuigi ta ei seletanud ligemalt elektri struktuuri.

§ 5. Elektripinge ehk potentsiaal. Elektroskoop. Elektromeeter.

Keha elektrilist seisukorda ei iseloomusta ainult kehale kogutud elektrilaeng, nagu ei iseloomusta keha soojuslist seisukorda ainult kehasse kogutud soojusehulk (kalorid). On ju teada, et sama kalorete hulk võib mitmes kehas anda üldiselt isesuguseid soojuslisi seisukordi. Soovides keha soojuse kohta saada täieliku pildi, peame teadma ühelt poolt — milline on kehasse kogutud soojusehulk (kalorites) ja teiselt poolt — milline on keha temperatuur.

Üks ja sama elektrihulk annab isesugu kehadel üldiselt isesuguseid elektrilisi seisukordi, kuna kuhjunud või hõrendatud vabade elektroonide hulk asub kehal kord suuremal, kord väiksemal pingulolekul võrreldes maakera elektroonide normaalse pingulolekuga, millist praktiliselt loetakse suhteliseks nulliks, kuna see väliselt ei avaldu. Elektroonide tähendatud pingulolek elektriseeritud kehadel nimetatakse elektrilaengu **pingeks** ehk **potentsiaaliks**. Teades kehale kogutud elektrihulka ja teiselt poolt selle potentsiaali, võime öelda, et oleme keha elektrilisest olukorrast täielikult informeeritud. Elektripinge ühikuks on 1 volt = 1000 millivolti. See on 1 sm raadiusiga kera potentsiaal, mille elektrilaeng on 1/300 el. stat. elektrihulga ühikut.

Antud kehal olev **elektripinge** on **võrdeline (proportsionaalne) kehale kogutud elektrilaenguga**, s. t. pinge tõuseb (kahaneb) niimitu korda, mitu korda suurendame (vähen-dame) keha elektrilaengut.

Näit. on keha elektrilaeng

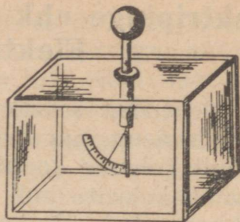
2 kulooni ja pinge osutub	7 volti, siis andes kehale
6 kulooni, osutub pinge	21 volti; " "
10 kulooni, osutub pinge	35 volti j. n. e.

Praktiliselt ei ole võimalik keha potentsiaali lõpmata kõrgele tõsta elektrilaengute järjekindla juurdelisamisega, kuna teatud piirini pingule aetud elekter hakkab õhkkonna puudulikkude isolatsiooniomaduste tõttu kehalt ära valguma. Negatiivse laengu juures (elektroonide kuhjumine) nähtavasti valgub osa elektroone õhu kaudu maasse; liigse positiivse laengu juures (elektroonide hõrendus) hakkab maakeralt vabu elektroone kehale tagasi valguma.

Elektripinge näitajaks on n. n. **elektroskoop** (joon. 1). Isoleerivate omaduste poolest kõrgeväärtulikust klaasist tehtud purki on asetatud kummikorgi a kaudu metallvarras b nupuga. Varre teisele otsale on vabalt riputatud kaks kerget



Joon. 1.



Joon. 2.

lehekest siidpaberist, allumiiniumist või kullast. Kui nüüd elektroskoobi varras ühendada metalljuhe abil mõne elektriseeritud kehaga, siis läheb osa elektrilaengut üle vardale ja elektriseerib lehekesed samanimelise elektriga. Ühesuguse elektriga elektriseeritud lehekesed tõukuvad üksteisest eemale ja seda rohkem, mida rohkem elektrit on elektriseeritud kehal, s. t. mida kõrgem on tema potentsiaal.

Elektroskoopi võib varustada skaalaga, nagu see näidatud joon. 2. Sel juhul on üks lehekestest tehtud liikumatuks. Tähendatud aparadiga ehk n. n. **elektromeetriga** on võimalik näidata näit., et ühe keha elektripinge on teise omast suurem või väiksem; on võimalik pinget ligikaudu isegi mõõta (voldides).

Elektroskoobi abil võime korda saata rea huvitavaid katseid:

1) Tundeliku elektroskoobiga võib näidata, et kõik kehad elektriseeruvad hõõrumisel — üks positiivse, teine negatiivse laenguga. Katse sooritamiseks on vaja kehad varustada hästi isoleerivate varrastega.

2) Soovides kindlaks teha, kas keha on elektriseeritud või mitte, — jaataval korral, kas positiivselt, või negatiivselt, — elektriseerime elektroskoop teatud märgi laenguga. Tuues nüüd katsetava keha elektroskoobi nupu lähedale vaatame, mis sünnib elektroskoobi lehekestega. Lähedavad rohkem laiali, siis on keha potentsiaal samanimeline ja ümberpööratud. Jäävad lehekesed rahule, siis on keha elektriseerimata (§ 8.).

3) Isesuguste kehade hõõrumisel elektriseeruvad mõlemad kehad võrdse, kuid vastupidise potentsiaalini.

4) On kaks täiesti ühesugust elektroskoopi elektriseeritud võrdse, kuid vastupidise potentsiaalini, siis nende elektroskoopide ühendamisel mõlemad neutraliseeruvad.

On kaks keha elektriseeritud isesuguste pingeteni, siis on nende kehade vahel olemas teatud **pingevahe**. Näit.:

- | | | | |
|----------------------|---|------|------------------------------|
| a) ühe keha pinge on | + | 4 v | } pingevahe on siin 6 volti; |
| teise „ „ „ | + | 10 v | |
| b) ühe keha pinge on | — | 3 v | } pingevahe on siin 2 volti; |
| teise „ „ „ | — | 5 v | |
| d) ühe keha pinge on | — | 5 v | } pingevahe on siin 5 volti. |
| teise „ „ „ | | 0 v | |

Kui kõik nimetatud kaks isesuguste pingeteni elektriseeritud keha ühendame omavahel juhega, siis tekib hetkeks vabade elektroonide liikumine ja alati nii, et kõrgema pinge laeng kahaneb ja madalama pinge laeng tõuseb, seni kui mõlemal kehal kujuneb ühesugune teatud keskmine pinge (sama-märgiline).

On kaks keha elektriseeritud võrdsete ja samamärgiliste pingeteni, siis ei too nende ühendamine juhega kaasa mingit elektriliikumist, kuna selleks puudub vajalik surve. Elektrivoolu ehk elektroonide liikumise põhjuseks tuleb lugeda alati ja ainult pingevahet, mis olemas elektriseeritud kehade vahel.

Juhul a, kus pingevahe 6 volti, oli elektroonide hõrendus ja seega nende pingulolek suurem teisel kehal (+ 10 v); juhega ühendamisel jookseb seega osa elektroone üle esimeselt kehalt teisele, suurendades veelgi esimese keha elektroonide hõrendust ja tõstes seega tema pinget ja teiselt poolt vähendades teise keha elektroonide hõrendust ja pinget.

Juhul b jooksevad vabad elektroonid teiselt kehalt osalt üle esimesele kehale, kuna surve teise keha poolt on kõrgem (—5 v).

On üks keha elektriseeritud positiivselt, näit. + 3 v; teine keha samal ajal negatiivselt, näit. — 7 v, siis on kehade ühendamisel elektrijuhega teisel kehal kuhjunud elektroonide surve esimese keha hõrendatud elektroonide poole **veelgi suurem**, kui see oleks olnud ühemärgiliste potentsiaalide juures, nii et tegelikult on sel juhul olemas pingevahe 10 volti. Näiteks, akkumulaatori üks poolus on laetud seisukorras elektriseeritud pidevalt pingeni + 1,1 volti, teine poolus samal ajal pingeni — 1,1 volti; seega on pooluste vahel tegutsemas pingevahe 2,2 volti. Linna valgustusvõrgus on üks magistraaljuhe elektriseeritud pidevalt, näit. +110 v, teine samal ajal —110 v; seega on võrgus tegutsemas pingevahe 220 v. Seesuguste pooluste ja magistraaljuhede vahel tekib alati elektroonide liikumine (elektrivool), kui nad omavahel ühendame kolmanda juhega.

Maakera elektrilaengu pinget loetakse võrdseks nullile, kuna see pinge väliselt ei avaldu. Kui mõni elektriseeritud keha ühendame maaga, siis jookseb vastav arv vabu elektroone kehalt maakerale või maakeralt kehale olenevalt sellest, milline märk oli keha elektrilaengul. Loomulikult ei suuda ükski elektriseeritud keha oma laenguga maakera potentsiaali nime-tamistväärselt muuta, kuna samal ajal keha oma potentsiaal langeb praktiliselt võrdseks maakera potentsiaalile, s. o. nullile. Teiste sõnadega, iga elektriseeritud keha pinge langeb nullile, kui teda juhe kaudu ühendame maaga.

Tuleb veel kord rõhutada, et elektroonide liikumise ainsaks põhjuseks on potentsiaalide vahe kahe keha vahel, **olene-mata kehadele kogutud elektrilaengutest**. Oletame näit., et nööpnõelale on antud negatiivne laeng 10 abs. el. stat. ühikut ja ta omab potentsiaali -300 v; samal ajal on suurele plekk-pangele antud samuti negatiivne laeng, kuid suurusega 100 abs. el. stat. ühikut; pange potentsiaal aga osutus -200 v. Kui nüüd need mõlemad kehad ühendame traatjuhega, siis jookseb osa elektroone ikkagi nööpnõelalt pangele, kuna surve selles suunas on suurem, kuigi elektroonide hulk nööpnõelal on 10 korda väiksem. Tasakaal saabub, niipea kui elektroonid mõlemal kehal korralduvad ühise potentsiaali alla, mis väärtuselt on vahepealne kummagi algpotentsiaali vahel. Arvestades kehade suhtelist suurust, võib juba ette arvata, et nööpnõela potentsiaal langeb üsna lähedale pange potentsiaali väärtusele, kuna viimane samal ajal vaid veidi tõuseb üle oma algväärtuse -200 v.

Analoogiline nähe sünnib soojuse üleminekuga ühelt kehalt teisele nende ühendamisel. Teatud hulk kaloreid läheb ära ikka sellelt kehalt, mille temperatuur on kõrgem, olene-mata kehasse kogutud kaloreite hulgast.

§ 6. Elektrilaengu korraldus kehal. Teravikkude mõju. Piksevarras. Hõõrumise elektrimasin.

Eespool selgitasime (§ 4), et juhul, kui keha on elektriseeritud, on temas tekkinud kas vabade elektroonide kuhjumine või nende hõrendus (negatiivne või positiivne laeng).

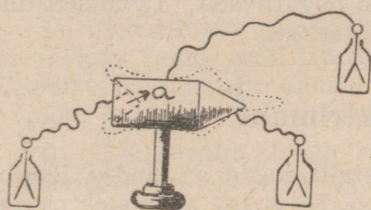
Katse näitab, et tähendatud kuhjumine või hõrendus korraldub kehal üldiselt ebahühtlaselt; nimelt on elektroonide kuhjumine või hõrendus **suurem nurkadel ja eriti teravikkudel**. Ainult keral on elektrikorraldus igas punktis ühtlane. Seejuures asuvad kõik vabad elektroonid ainult keha **välispinnal**, nii et näit. õõnsuses a (joon. 3) elektrilaengut üldse ei ole. Nähtavasti on vabadel elektroonidel tung üksteisest eemalduda võimalikult kaugemale ja seda suurema jõuga, mida kõrgem on potentsiaal. Isegi keha välispinnal asudes püüavad elektroonid üksteisest eemalduda, mille tõttu kehapiinal tekib n. n. **elekt-rostaatile rõhumine**.

Soovides ühelt kehalt elektrilaengu tervelt üle anda teisele kehale, peame viimast puudutama esimese kehaga seotud juhega **seespoolt** (läbi avause või õnaruse), vastasel korral jääb esimesele kehale teatud laeng ikkagi püsima.

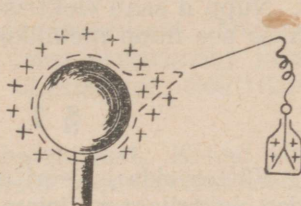
Joon. 3 näidatud katse tõendab teiselt poolt, et olgu elektrilaengu korraldus kehal missugune tahes, **potentsiaal**

jääb igas punktis, välispinnal ja sisepinnal, ikka üheks ja samaks, kuna elektroskoobi lehekeseid löövad lahku ikka sama nurga all. Potentsiaal väheneb või suureneb ainult elektrilaengu äravõtmisel või lisamisel.

On keha varustatud terava ora või nõelaga, siis on elektrilaengu korraldus teraviku ümber eriti tihe; isegi võib olla niivõrd tihe, et elektroonid hakkavad teraviku kaudu kehalt välja voolama (positiivse laengu juures väljaspoolt sisse voolama) ja potentsiaal peagi langeb nullini. Teiselt poolt võib tähele panna, et kui elektriseeritud kehale ligi tuua metalltera (joon. 4), siis kogub elektrilaeng **tihedamalt tera poole** ja võib jällegi sündida elektroonide välja- või sissevoolamine ja ühes sellega elektrilaengu neutraliseerumine, mis on eriti kiire, kui metalltera on ühendatud maaga.



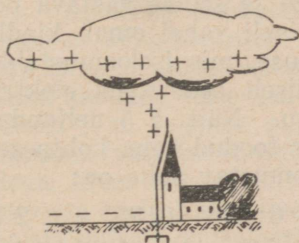
Joon. 3.



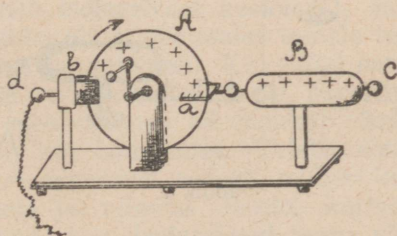
Joon. 4.

Kirjeldatud teravikkude mõju põhimõttel on ehitatud harilikud **piksevardad**. Need kujutavad enesest isoleerimata metalljuhet, mis ühe otsaga on tõstetud õhku, hoone tippu ja lõpeb metallteravikuga. Viimane sagedasti kallatakse oksüdeerumise ärahoidmiseks. Piksevarda teine ots juhitakse metallplaatide või metallvõrgu abil maasse (joon. 5).

Veeauru tihenemisel, auruosakeste hõõrumisel ja teiste atmosfääriliste nähete mõjul sünnib vabas õhus ja teiselt poolt maakera pinnal kohati elektroonide kuhjumine või hõrendus,



Joon. 5.



Joon. 6.

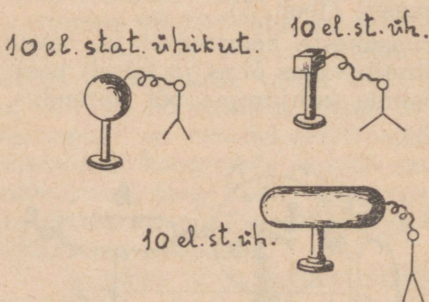
mis on üldiselt tuntud **atmosfäärilise** elektri nimetuse all. Looduse määratumatate jõudude kaastegevusel võivad äikese ajal sarnasel viisil tekkida näit. pilvede ja maapinna vahel, või pilvede eneste vahel määratumad pingete vahed, mis sageli lahenduvad pikse kujul.

Juhul, kui üle hoone liigub elektriseeritud pilve, jookseb selle elektrilaeng rahulikult piksevarda kaudu maasse ja pilve neutraliseerub, ilma et selleks tingimata peaks tekkima pikne.

Teravikkude omadusel on ehitatud harilik hõõrumise **elektrimasin**. See kujutab enesest klaasdiski A (joon. 6), mille pind pöörlemisel hõõrub amalgaamitud nahkpadja b vastu. Hõõrumise tagajärjel elektriseerub klaas positiivselt. Klaasi positiivsed laengud jooksevad kahvli a metallhammast kaudu konduktorile B ja elektriseerivad selle ühes nupuga C positiivselt. Nupp d saab elektriseeritud negatiivselt. Tavaliselt ühendatakse see nupp metallketi abil maaga.

§ 7. Elektrimaht.

Võttes rida isoleeritud metallkehasid ja andes igäihele võrdse elektrilaengu, leiame (joon. 7), et iga keha elektriseerub üldiselt isesuguse potentsiaalini. Tähendatud asjalugu sünnib selletõttu, et igal kehal on oma, üldiselt isesugune, n. n. **elektrimaht**. Nimelt on selle keha elektrimaht suhteliselt suurem, mis ühesuuruse elektrilaengu all annab väiksemat potentsiaali. Kui nööpnöelale ja pangele anname kummalegi võrdse elektrilaengu, siis nööpnöel näitab kõrgemat potentsiaali, kuna tema elektrimaht on väiksem plekkpange elektrimahust.



Joon. 7.

Eespool nägime, et antud keha elektripinge on võrdeline keha elektrilaenguga. Sellest järgneb, et antud keha kohta suhte elektrilaengu ja sellele vastava potentsiaali vahel omab kindla väärtuse, mis iseloomustabki arvuliselt selle keha elektrimahtu. Näit. § 5 neljandas lõikes toodud keha kohta see iseloomustav suhe on:

$$2:7 = 6:21 = 10:35, \text{ s. t. } 2/7.$$

Iga teise keha kohta tähendatud suhe, s. t. elektrimaht, on üldiselt isesugune. Elektrimahu ühikuks on **1 faraad (F)**;

see on seesuguse keha elektrimaht, mis 1 kulooni suuruse elektrilaengu juures annab potentsiaali 1 volt, (seega suhe $1 : 1 = 1$). Eespool toodud näites on keha elektrimaht $2/7$ faradi.

Praktiliselt osutub faraad äärmiselt suureks elektrimahu ühikuks, mille tõttu tarvitamisel on väiksema ühikuna **1 mikrofaraad (MF)**, mis on üks miljondik faraadist. Isegi mikrofaraad on õige suur elektrimahu ühik; näit. on maakera elektrimaht umbes 75 MF ehk 0,000075 faraadi suur.

Teine praktiline elektrimahu ühik on **1 sentimeeter**; see on metallkuuli elektrimaht, mille raadius on 1 sm. Üks MF = = 900.000 sm.

Kui hakkame üksikute kehade potentsiaale elektromeetriga omavahel võrdlema, andes iga kehale võrdse elektrilaengu, siis leiame, et keha elektrimaht oleneb järgmistest teguritest:

1) Elektrimaht oleneb keha **pinnasuurusest**. Mida suurem on keha pind, seda suurem on tema elektrimaht ja seda väiksemat potentsiaali annab tema ühesuuruse elektrilaengu all (joon. 8).

2) Elektrimaht oleneb keha **pinnakujust**. Kehad võivad pinnasuuruse poolest olla võrdsed, kuid kuju poolest isesugused, näit. kera, kuup, silinder j. n. e. Ühesuguse elektrilaengu all näitab väiksemat potentsiaali, s. t. omab suurema elektrimahu see keha, millel võrdse pinnasuuruse juures on rohkem igasugu nurki ja teravikke (joon. 9).



Joon. 8.



Joon. 9.

3) Keha elektrimaht oleneb **isoleerivast keskusest**, millesse on keha asetatud. Asub keha õhus, siis andes temale teatud laengu, näitab keha vastavat potentsiaali. Kui nüüd sama keha asetame teise isoleerivasse keskusesse, näit. õli, parafiini, klaasi j. n. e. sisse, siis sama elektrilaengu all hakkab keha näitama väiksemat potentsiaali, kui õhus olles. Teiste sõnadega, keha elektrimaht suureneb olenevalt sellest, millise keskusesse meie teda õhust asetame ja niimitu korda, kuimitu korda suurem on isoleeriva keskuse n. n. **isolatsiooni tegur** võrreldes õhu isolatsiooni teguriga, mis võetakse võrdseks 1.

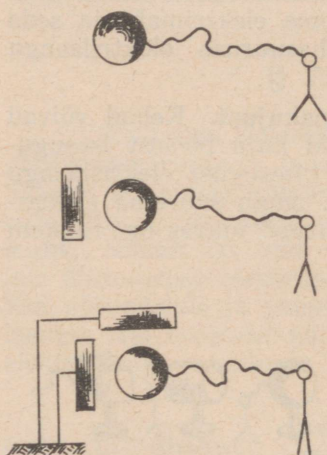
Isolatsiooni tegurite tabel.

Õhk	1	Parafiin	2	Bakeliit	4,8—5,3
Paber	1,8—2	Vilgukivi (klimmer)	5—8	Troliit	5,9
Klaas	4—10	Kvartsklaas	3,7	Tselluloid	4,1
Eboniit	2—4	Mikaniit	4,5—6	Kondentsa	40

4) Keha elektrimaht **ei olene keha ainest**. Keha võib olla tehtud ükspuha mis ainest — ühesuguse pinna ja vormi juures samas keskuses jääb elektrimaht endiseks, olgu keha tehtud vasest, rauast, kullast või muust juhtainest.

5) Keha elektrimaht oleneb **ümbritsevatest juhtkehadest**. Katse tõendab, et kui elektriseeritud keha lähedale toome mõne juhtkeha (joon. 10), siis esimese keha elektripingega otsekohe langeb; viime see juhtkeha eemale, siis tõuseb pinge endisele väärtusele. See näitab, et keha **elektrimaht läheb iseenesest suuremaks, kui kehale ligi toome teise juhtkeha**.

Tähendatud elektrimahu suurenemine on seda mõjuvam, mida **rohkem** on ümbritsevaid juhtkehasid; eriti veel, kui viimased on ühendatud maaga. Elektrimaht suureneb ühes sellega, mida **ligemale** antud kehale asuvad ümbritsevad juhtkehad; eriti silmapaistvalt suureneb elektrimaht siis, kui antud keha ja ümbritsevate kehade vahel õhukihi asemele asub kiht teisest **suurema isolatsiooni teguriga** ainest (näit. vilgukivi, klaas, eboniit).



Joon. 10

Viimase punkti all kirjeldatud nähted on ärakasutatud kondensaatrite (§ 9) ehitamisel. On kehade elektrimahud võrdsed, siis ühesuurused elektrilaengud tekitavad nendes kehaes võrdseid potentsiaale. On aga kehade elektrimahud isesugused, siis soovitud potentsiaali saamiseks on selle kehale tarvilik anda suuremat elektrilaengut, mille elektrimaht on suurem.

On kaks **võrdse** elektrimahuga keha elektriseeritud üks positiivse, teine negatiivse, kuid võrdse, potentsiaalini, siis nende kehade ühendamisel metalljuhega neutraliseeruvad mõlemad laengud lõpuni ära ja mõlema keha potentsiaalid langevad nullini.

On kaks **isesuguse** elektrimahuga keha elektriseeritud üks positiivse, teine negatiivse, kuid võrdse, potentsiaalini, —

siis nende kehade ühendamisel metalljuhega neutraliseerub selle keha laeng, mille elektrimaht on väiksem; kuid see keha saab otsekohe teise keha poolt elektriseeritud vastupidise elektrilaenguga teatud potentsiaalini, milleni langeb ka suurema elektrimahuga keha potentsiaal.

Kõik need nähted lasevad endid kergelt seletada kuhjunud ja hõrendatud vabade elektroonide teooriaga (§ 4).

§ 8. Elektrostaatiline induksioon.

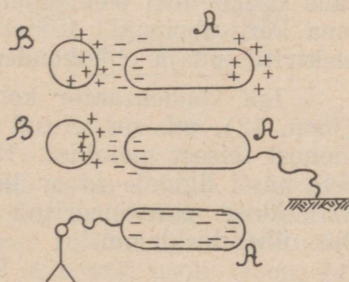
Eespool (§ 1) kirjeldatud elektriseerimise viiside kõrval on keha võimalik elektriseerida veel teise elektriseeritud keha mõjumise kaudu.

Võtame vaatluse alla isoleeritud, kuid elektriseerimata keha A (joon. 11). Kui selle keha lähedusse asetame külge puudutamata teine keha B, mis on elektriseeritud näit. positiivselt, siis tõmbab keha B laeng kehas A asuvad vabad elektroonid oma poole, tekitades ligemal otsal elektroonide kuhjumise ja seega teatud negatiivse elektrilaengu (n. n. seotud elekter); on loomulik, et kaugemal otsal samal ajal tekib elektroonide vastav hõrendus, seega võrdne vastupidine laeng (n. n. vaba elekter).

Kui nüüd keha B eemale viime, siis neutraliseerib elektroonide tihedus vastava hõrenduse ja keha A jääb endiselt neutraalseks. Kui aga enne keha B eemaldamist ühendame keha A maaga (näit. puudutame sõrmega), siis jookseb maapinnalt kehale A selle kaugema otsa elektroonide hõrenduse likvideerimiseks tarvilik arv uusi elektroone. Kui nüüd keha

A lahutame maast ja selle järele (mitte enne!) viime keha B eemale, siis ei leia keha A ligemal otsal kuhjunud elektroonid enam neutraliseerumist ja keha A jääbki elektriseerituks negatiivselt, s. t. **vastupidi** sellele pingele, millega oli elektriseeritud keha B. Kirjeldatud elektriseerimiseviisi teise elektriseeritud keha mõjumisega nimetatakse **elektrostaatiliseks induksiooniks**.

On indutseeriva keha B laeng negatiivne, siis surub ta indutseeritavas kehas A asuvad vabad elektroonid kaugemale otsale, kus nad maaiühenduse kaudu ära jooksevad, jättes peale keha B eemaldamist kehas A püsima elektroonide hõrenduse;



Joon. 11.

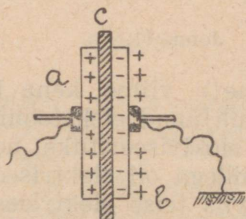
teiste sõnadega keha A jääb elektriseerituks positiivselt, s. t. jällegi **vastupidi** indutseeriva keha B elektrilaengule.

Induktsioon on seda tugevam, s. t. indutseeritud laeng ja pinge seda suurem, **mida tugevam on indutseeriva keha B potentsiaal ja mida ligemale on toodud keha B**. Induktsioon oleb veel sellest, milline **isoleeriv keskus** asub kehade A ja B vahel.

§ 9. Kondensaatorid.

Kui antud kehale järjest lisame elektrilaenguid, siis hakkab tõusma võrdeliselt (proportsionaalselt) selle keha potentsiaal. Nagu eespool öeldud (§ 5), on võimalik elektrihulka kehale koguda vaid teatud piirini, kus liig kõrge potentsiaali tõttu enam kehale püsima ei saa jääda uued lisatud laengud, vaid valguvad kehalt õhu kaudu välja. On keha tähendatud potentsiaali piirini laetud, siis võiksime kehale uusi laenguid lisada ainult tingimusel, et kunstliselt suurendame keha elektrimahtu, näit. § 7 p. 5 all kirjeldatud viisil, s. t. toome ligi teise juhtkeha. Suurenenud elektrimahu tagajärjel kõrguse piirini tõstetud pinge otsekohe langeb, mille järel võime kehale jälle lisada uusi elektrilaenguid, senikui pinge uuesti tõuseb oma kõrgusepiirini. Kirjeldatud meetodil ongi ehitatud n. n. elektritihendaja ehk **kondensaator**.

Iga kondensaator koosneb **kahest metallpinnast a ja b** (joon. 12), mis on tehtud vasest, allumiiniumist, tinast või mõnest teisest metallist. Need kaks pinda on asetatud üksteisele hästi ligidale ja on lahutatud **isoleeriva kihiga c** (vilgukivi, klaas, parafineeritud paber, õli). Kummalgi pinnal on oma **ühendusklenn**.



Joon. 12.

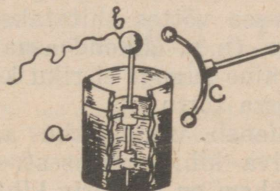
Kui seesuguse kondensaatori üks pind (näit. vasakpoolne) elektriseerida, näit. positiivselt, siis elektrostaatilise induktsiooni tõttu (§ 8) vastases pinnas seob end seesmisel küljel teatud negatiivne laeng (vaba positiivse laengu võib juhida maasse). Nüüd on kondensaator **laetud**. Selge on, et kondensaatori üksiku pinna elektrimahut omaette on märksa väiksem, kui sama pinna elektrimahut kondensaatori koosseisus § 7 p. 5 all tähendatud põhjustel.

Kui laetud kondensaatori pinnad ühendame omavahel mõne elektrijuhega, siis sünnib elektrisädeme kujul n. n. kondensaatori **lahendus**; sellejuures mõlemad pinnad neutraliseer-

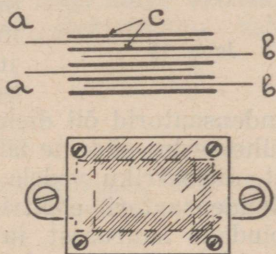
ruvad, kuna nende elektrilaengud ja pinged on vastupidised ja võrdsed.

Ajalooliselt väga tuntud kondensaatori tüüp on **Leideni purk** (joon. 13). See koosneb klaaspurgist, mille välis- ja sisepinnale on kleebitud inglüstina- ehk **stanniool-lehed a**. Sisemise lehega on ühendatud metallvarras **b**, mille otsas asub metallnupp. Stanniool-lehed moodustavad siin kondensaatori pindu, klaassein nende vahel — isoleeriva kihi. Kui hoida purk käes ja puudutada nupuga **a** teist elektriseeritud keha (näit. elektrimasina konduktorit), siis saab Leideni purk laetud, kuna vaba elekter jookseb käe kaudu maasse. Ühendades pinnad omavahel lahendajaga **c**, tekitame silmapilkse sädeme ja Leideni purgi lahenduse.

Väga levinenud on n. n. **lehtkondensaator**. Selle koostamiseks võetakse tavaliselt neljakandilised stanniool- või vasklehed ja asetatakse nende vahele lehed isoleerivast ainest (näit.



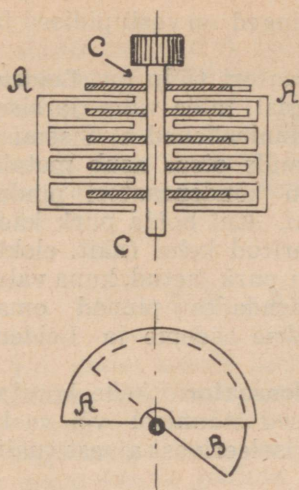
Joon. 13.



Joon. 14.

vilgukivi, vahapaber, parafineeritud paber jne.); isoleerivad lehed on pinnalt metallehtedest veidi suuremad. Metallehed kogutakse kokku nii, et nende ääred tulevad isoleerivate lehtede **c** alt välja kordamööda ühelt ja teiselt poolt (joon. 14). On kõik lehed sel viisil kogutud, siis ühendatakse ühed metallehed äärtega **a** ühe klemmi alla kondensaatori üheks pinnaks ja teised vahepealsed lehed äärtega **b** teise klemmi alla teiseks pinnaks. Kogu aparat asetatakse karpi või kasti, mis täidetakse üleni parafiiniga. Sarnasel viisil on võimalik väikeses kogus koondada õige suuri metallpindu ja õige õhukese isolatsioonikihi tõttu ehitada väga suure elektrimahuga (mitu **MF**) kondensaatoreid.

Kirjeldatud kondensaatorid on kõik püsiva elektrimahuga. Joon. 15 on kujutatud **muutliku elektrimahuga** kondensaator, mis leiab laialdast tarvitamist raadiotehnikas. Siin koosneb kondensaatori üks metallpind paigalseisvatel ja omavahel ühendatud poolringidest **A**. Teine pind koosneb teljel **C—C**



Joon. 15.

ühendatud väiksematest poolringidest ja annab end telje ümber pöörata. Tavaliselt on siin isoleerivaks kihiks õhk ja sellepärast nimetatakse neid aparate veel **õhukondensaatoriteks**.

Lükates pöörlev pind paigalseisva pinna vahele, suurendame pidevalt kondensaatori elektrimahtu ja ümberpöördu.

Kõva dielektrikuga kondensaatorid konstrueeritakse vastavale pingele, millest kõrgema pingele alla ühendamine oleks seotud kondensaatori läbilöömise ohuga. Saab aga kondensaatori isoleeriv kiht ühes kohas elektrisädemest kord läbilöödud, siis on kondensaator rikutud, kuna samast kohast järgmine säde läbib juba märksa madalama pinges juures.

Seda arvesse võttes ehitatakse suured kondensaatorid õli dielektrikuga (n. n. **õlikondensaatorid**), milles ühekordne sädeme läbikargamine sugugi ei riku kondensaatorit, dielektriku vedela seisukorra tõttu.

Kondensaatori elektrimaht oleneb vastastikku asuvate metallpindade suuruselt ja isoleeriva kihi paksusest. **Mida suuremad on metallpinnad ja mida õhem on isoleeriv kiht, seda suurem on kondensaatori elektrimaht.** Teiselt poolt oleneb kondensaatori elektrimaht veel dielektriku **isolatsioonitegurist** (§ 7 p. 3).

Elektrimahu varieerimiseks ühendatakse kondensaatorid patareidesse. Ühendusviise on üldiselt kolm.

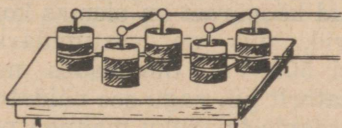
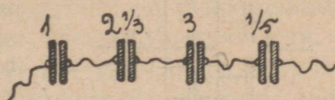
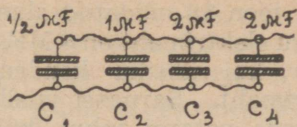
a) **röövik ühendus.** Ühe metalljuhega ühendame omavahel kõikide kondensaatorite ühed pinnad; teised pinnad ühendame omavahel teise juhega (joon. 16).

Selle ühendusviisi juures kogu patarei elektrimaht võrdub üksikute kondensaatorite elektrimahtude **summale**

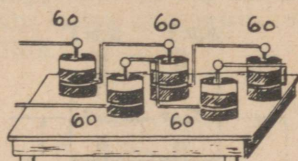
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \dots$$

Näit. (joon. 16) $C = \frac{1}{2} + 1 + 2 + 2 = 5\frac{1}{2}$ MF.

b) **järjestikku ühendus.** Esimese kondensaatori üks pind jääb patarei üheks välispinnaks, kuna teine pind ühendatakse metalljuhe abil teise kondensaatori vabalt valitud pinnaga; selle ülejäänud pind ühendatakse kolmanda kondensaatori ühe pinnaga jne. Viimase kondensaatori vabaks jäänud pind jääb patarei teiseks välispinnaks (joon. 17).



Joon. 16.



Joon. 17.

Selle ühendusviisi juures patarei elektrimaht **väheneb**; ta jääb väiksemaks ühenduses oleva isegi kõige väiksema kondensaatori elektrimahust. Patarei elektrimahu valem on järgmine

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \dots$$

Et selle valemi järgi leida patarei elektrimaht, tuleb toimida järgmiselt: Võtame üksikute kondensaatorite elektrimahtude pöördväärtused ja arvame nad kokku, näit. joon. 17 juhul

$$\frac{1}{1} + \frac{3}{7} + \frac{1}{3} + \frac{5}{1} = 6 \frac{9+7}{21} = 6 \frac{16}{21} = \frac{142}{21} = \frac{1}{2} \frac{21}{142}$$

Patarei elektrimahu leiame nüüd otsekohe, kui võtame saadud arvu asemel jällegi selle pöördväärtuse, s. t. $C = \frac{21}{142}$ ehk umbes $\frac{1}{7}$.

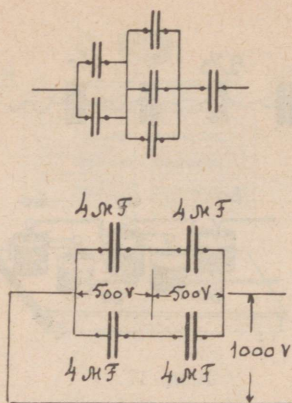
On järjestikku ühendatud kondensaatorite elektrimahud kõik **ühesuursed**, siis on patarei elektrimaht niimitu korda väiksem üksiku kondensaatori elektrimahust, kuimitu kondensaatorit on järjestikku ühendatud.

$$C = c : n$$

Näit. joon. 17 näidatud Leideni purkide kogumaht $C = 60 : 5 = 12$ MF.

d) **segahenduse**: võetakse rööbiti ühendatud kondensaatorite grupid ja need grupid ühendatakse omavahel järjestikku; või ümberpööratud, — järjestikku ühendatud kondensaatorite grupid ühendatakse omavahel rööbiti (joon. 18).

Kogu patarei elektrimahu arvestamiseks on vaja kõigepealt leida üksiku grupi elektrimaht ja selle järele arvutada üldine elektrimaht käesoleva § punkt a või b reegli kohaselt.



Joon. 18.

Näit. joon 18 näidatud alumise patarei kogu elektrimaht on 4 MF, s. t. sama suur, kui üksiku kondensaatori elektrimaht. Sarnasel viisil tuleks koostada patarei juhul, kui on vaja lüüda suurema pinge, näit. 1000 V, alla kondensaator mahuga 4 MF, kuid käepärast on olemas kondensaatorid, mis on vastupidavad vaid kuni 500 V. Ühendades neli kondensaatorit nii, nagu see näidatud joon. 18, saame tarviliku mahuga patarei, milles üksiku kondensaatori kohta tuleb ainult pool välist pinget, s. o. 500 V.

Kondensaator omab erilise tähtsuse vahelduva voolu elektrotehnikas; vastavate omadustega tuleb meil tutvuneda allpool.

§ 10. Elektriväli ja selle tungjooned. Elektrivälja potentsiaal.

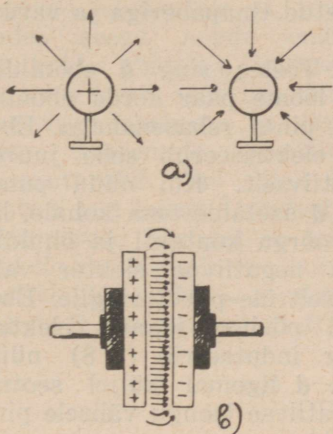
Ruumala, milles võib veel ära tunda kehal asuva elektrilaengu mõju, nimetatakse selle keha elektriväljaks. Elektriväli on igas punktis iseloomustatud oma kindla **suuna** ja **tugevuse** poolest; viimaseid hinnatakse selle järele, millist mõju avaldab elektriväli antud punkti asetatud **positiivse** el. stat. elektrilaengu ühikule. Elektrivälja suund antud punktis määratakse selle järele, kuhu poole hakkaks liikuma selle punkti paigutatud positiivne el. stat. elektrihulga ühik, kuna elektrivälja tugevust hinnatakse jõu järele, millega elektriväli mõjub antud punkti asetatud ühikule. On selge, et see mõju on tugevam elektriseeritud keha läheduses ja nõrgeneb kiiresti ühes kaugusega.

Piltlikult kujutatakse elektriväli n.-n. **tungjoontega**. Punktides, kus elektriväli tugevam, võetakse neid tungjooni tihedamalt. Silmas pidades eespool selgitatud elektrivälja suuna mõistet, tuleb tungjoontele märkida suundi, mis väljub positiivselt elektriseeritud kehalt ja suundub negatiivselt elektriseeritud kehale (joon. 19-a).

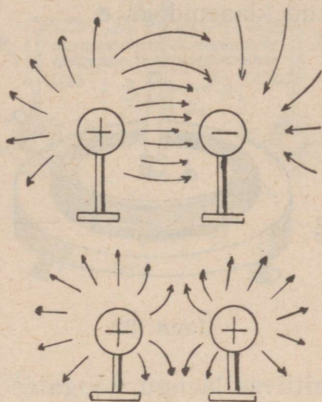
Elektriväli, mis igas punktis omab sama suuna ja sama tugevuse, nimetatakse **ühtlaseks** elektriväljaks. Seesugune

elektriväli tekib näit. suure kondensaatori pindade vahel, nende laadimisel (joon. 19-b). Ühtlane elektriväli on iseloomustatud rööpjoones ja ühesuguse tihedusega võetud tungjoontega.

Kuna tungjooned **kunagi ei ristle**, siis omab elektriväli ühenimeliselt või vastunimeliselt elektriseeritud kehade vahel pildi, nagu see kujutatud joon. 20. Tungjoonte mööda hakkab liikuma elektrivälja sisse paigutatud vaba laeng, näit. positiivne või negatiivne el. stat. elektrihulga ühik.

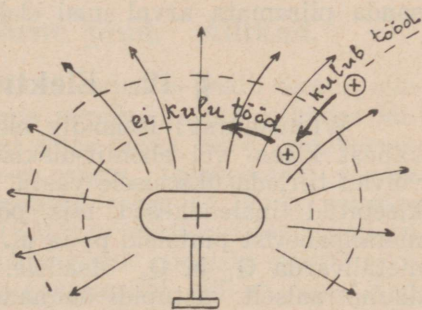


Joon. 19.



Joon. 20.

Elektriväli sisaldab eneses teatud hulk potentsiaalset energiat. See energia tuleb avalikuks, kui näit. tahaksime elektrivälja antud punkti väljaspoolt juurde tuua samanimelise elektrilaengu ühiku (joon. 21). Elektrivälja antud punkti **potentsiaali** hinnataksegi tööhulgaga, mis kulub selleks, et tuua samanimelise el. stat. elektrihulga ühiku lõpmatuses antud punkti. Elektrivälja punktid, milledes potentsiaalid on võrdsed, moodustavad elektrivälja potentsiaali n.-n. **nivoo-pindu**. Elektrilaengu liikumine nivoo-pinna ei nõua mingisugust energiakulu.



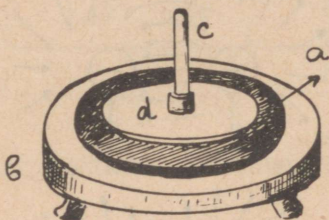
Joon. 21.

Elektrivälja antud punkti potentsiaal on **1 volt**, kui sama-

nimelise 1 kulooni suuruse laengu toomiseks lõpmatuses antud punkti kulub tööd üks joule (loe dzoul).

§ 11. Elektrofoor.

See on aparat, mille abil elektrostaatilisest induktsiooni alusel on võimalik antud laenguga saada piiramata arvul uusi laenguid. Elektrofoor (joon. 22) koosneb eboniitringist **a**, mis asetatud puust alusele **b**. Eboniitringile paigutatakse puust ring **d**, mis mõlemil küljel kaetud tinapaberiga ja varustatud klaaspidega **c**.



Joon. 22.

Tõstes ring **d** eboniidilt ära, lööme paar korda eboniitringi pihta rebasenahaga. Eboniit elektriseerub selle juures negatiivselt. Kui nüüd puust ring **d** asetame oma kohale, läheb nõrga kontakti ja õhukihi tõttu negatiivne elekter vaid osaliselt üle puust ringile. Eboniidil püsima jäänud elektrilaeng indutseerib (§ 8) nüüd ringi **d** ligemal küljel seotud

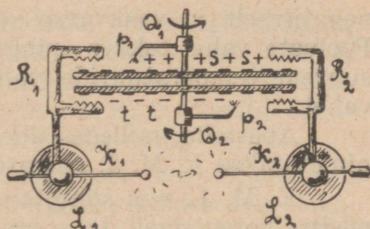
positiivse laengu, tõugates vaba negatiivse laengu välisele pinnale, kust võime teda maasse juhtida.

Nüüd jääb puust ringile püsima vaid seotud positiivne laeng. Tõstes ring **d** üles, võime selle laengu ära kasutada, näiteks saades elektrisädet puudutamise teel. Peale lahendust võime puust ringi uuesti laadida endisel viisil, asetades ring tagasi eboniidile, millel kord antud negatiivne laeng jääb püsima õige kaua. Sel viisil ühe elektrilaengu abil on võimalik saada piiramata arvul uusi elektrilaenguid.

§ 12. Elektrofoormasin.

Whimshurst'i iselaadiv elektrimasin (joon. 23) koosneb kahest klaas- või eboniid-diskist, mis asuvad ühisel teljel ja võivad tiirleda üksteisele vastu. Ringide välistele külgedele on kleebitud tinalehekesed, mis pöörlemisel kergelt puudutavad metallpaberist pintslaid p_1 ja p_2 . Viimased on kinnitatud kahe metallvarda Q_1 ja Q_2 otsadele. Vardad omakorda asetuvad diametraalselt vastupidi suunades. Ringe haaravad mõlemalt küljelt 4 metallkahvli R_1 ja R_2 , mis on paarikaupa ühendatud omavahel ja lahendaja varrastega K_1 ja K_2 . Tugevama säde saamiseks on viimaseid võimalik ühendada Leideni purkidega L_1 ja L_2 .

Masina tööpõhimõte seisab järgmises. Tuleb arvata, et mõlemil diskil leidub alati, olgugi kõige nõrgemaid, vastunimelineid elektrilaenguid. Oletame, et joon. 23 näidatud tiirlemise suuna juures pintsel p_1 elektriseerub negatiivselt, lehekesed s samal ajal positiivselt. Need lehekesed möödudes teisest pintslist p_2 , indutseerivad viimases negatiivseid soetud laenguid, millised satuvad lehekestele t . Need lehekesed möödudes pintslist p_1 , indutseerivad (§ 8) viimases omakorda positiivseid soetud laenguid, mis satuvad lehekestele s , suurendades seega nende endiseid laenguid. Pintslit p_1 endine negatiivne laeng saab aga neutraliseeritud lehekeste s järgnevate suuremate positiivsete laengute abil. Sel viisil lehekeste s ja t laengud vastastikku kõvendavad üksteist ja hakkavad lõpuks üle minema konduktoritele K_1 ja K_2 — esimesed kahvli R_1 , teised kahvli R_2 kaudu.



Joon. 23.

II. OSA.

ALALINE ELEKTROMOTOORNE JÕUD JA ELEKTRI VOOL.

§ 13. Elektromotoorne jõud. Allikad.

Mõnedes kehaes ja kehaes ühendustes tekib teatud olukorras eriline seesmine jõud, mis surub ühe osa kehaes leiduvatest vabadest elektroonidest ühte paika (n.n. **miinuspoolus**), tekitades samal ajal teises paigas (**pluspoolus**) võrdse elektroonide hõrenduse. Tähenadatud seesmist jõudu nimetatakse **elektromotoorseks jõuks** (EMJ); viimase väljenduseks on asjalugu, et keha saab kahes paigas ehk poolusis elektriseeritud võrdse, kuid vastupidise potentsiaalini, nii et nimetatud kahe poolusi vahel tekib **pidev pingevahe**.

Näiteks, asetame lahustatud väävlihappega täidetud nõusse üks tsink- ja üks söeplaat. Tähenadatud plaatide ja hape omavahelise keemilise koosmõju järeldusel tekib selles

aparadis ehk n.-n. **Galvani elemendis** E. M. J., mis kuhjab vabad elektroonid tsinkplaadile, tõmmates nad vastavas arvus välja söeplaadilt. Tulemus on, et tsink elektriseerub negatiivselt umbes $-\frac{1}{2}$ V ja süsi positiivselt $+\frac{1}{2}$ V, nii et pooluste vahel tekib pingevahe umbes 1 volt.

Kui võtame näit. vaskvarda ja joodame see ühe otsaga terasvarda külge ning hakkame küünlatulel jootmiskohta soojendama, siis tekib jällegi E. M. J., mis kuhjab vabad elektroonid vaskvardalt terasvardale ja elektriseerib terasvarre otsa negatiivselt ja vaskvarre otsa positiivselt (Termoelekter). Pooluste vahel tekkiv pingevahe on siin seda suurem, mida suurem temperatuuride vahe jootmiskoha ja lahtiste otsade vahel.

Aparadid, milleles ühel või teisel põhjusel tekib E. M. J., nimetatakse E. M. J. **allikateks**.

E. M. J., mis sünnitab poolustel vastupidise, võrdse, kuid **püsiva** potentsiaali ja seega pooluste vahel püsiva pingevahe, nimetatakse **alaliseks** E. M. J. ja selle allikad vastavalt **alalise** E. M. J. **allikateks** (Galvani element, akkumulaator, dünamo, termoelement).

On olemas E. M. J., mis elektriseerivad ühe poolusi kestvalt positiivselt ja teise negatiivselt, kuid muutliku (kord kõrgema, kord madalama) potentsiaalini; need on n.-n. **muutlikud** E. M. J.

Vahelduvaks E. M. J. nimetatakse seesugust E. M. J., mis pidevalt muudab pooluste potentsiaali nullist teatud maksimumini ja tagasi nullini, ühtlasi elektriseerides poolused vaheldumisi kord positiivselt, kord negatiivselt. Vahelduva E. M. J. allikatest tuntumad on elektromagnetilise induktsiooni masinad ja aparadid (vaat. allpool).

E. M. J. väärtust hinnatakse selle pingevahe järele, mille ta moodustab poolustel ja mõõdetakse seega **voltides**.

§ 14. Elektrivool. Ahel.

Eespool selgitasime (§ 5), et kui ühendada elektrijuhega kaks isesuguse potentsiaalini elektriseeritud keha, siis tekib juhes elektroonide liikumine, senikui mõlema keha potentsiaalid saavad võrdseteks. See liikumine sünnib valguse kiirusega (umb. 300.000 km. sekundis) ja seega praktiliselt **silmapilkselt**. Ühtlasi silmapilkselt lõpeb ka elektroonide liikumine, kuna puudub põhjus, mis seda liikumist alal hoiaks.

Võttes eelmises § kirjeldatud Galvani elemendi ja ühen-

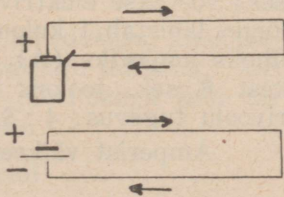
dades selle poolused omavahel mõne elektrijuhega, näit. vasktraadiga, hakkavad selles juhes leiduvad vabad elektroonid tsinkplaadil kuhjunud elektroonide survele liikuma ja jooksema üle söeplaadile, kus olemas elektroonide hõrendus. Keemilise energia mõjul tekkiv E. M. J. kisub need elektroonid söeplaadilt kohe välja ja surub nad uuesti tsinkplaadile, kust nad juhe mööda jällegi edasi kihutavad. Elemendis tekkiva E. M. J. tõttu sünnib pidev elektroonide liikumine ehk n.-n. elektrivool.

Elektrivoolu tekkimise tingimuseks on seega E. M. J., milleta elektrivool tekkida ei või. Teiselt poolt annab E. M. J. elektrivoolu ainult siis, kui E. M. J. allika poolused on ühendatud omavahel mõne elektrijuhega suletud ringi; teiste sõnadega, kui on moodustatud n.-n. elektrivoolu ahel.

Alalisest E. M. J. tekkinud elektrivool on iseloomulik sellepolest, et siin pannakse ahelas liikvele kindel arv elektroone kindlas suunas, mille tõttu seesugune vool nimetatakse alaliseks vooluks.

Elektroonide liikumine ahela välises osas on suunatud E. M. J. allika miinus-pooluse poolt plus-pooluse poole ja ahela sisemises osas (E. M. J. allika sees) — plus-pooluse poolt miinus-pooluse poole.

Jäädes vana õpetuse juurde, mis arvas, et ahelas on tegemist kahesugu elektri liikumisega (positiivse ja negatiivse), nimetame alalise voolu suunaks välisahelas liikumise plus-pooluse poolt miinus-pooluse poole ja siseahela osas — liikumise miinus-pooluse poolt plus-pooluse poole. Rahva suu ütleb, et „vool jookseb plussist välja miinusist sisse“, kuigi tegelikult sünnib elektroonide liikumine vastupidi (joon. 24).



Joon. 24.

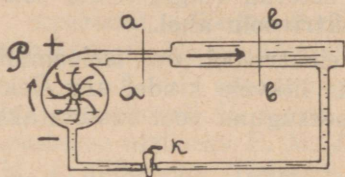
Alaline vool jookseb ahelas, senikui ahel saab mõnes kohas katkestatud. Kinnises ahelas võib elektrivool muidugi püsida ainult, senikui püsib ahelas E. M. J.

§ 15. Elektrivoolu tugevus. Amper. Ampermeeter.

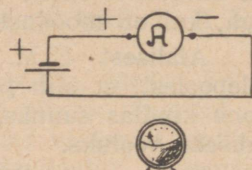
Alalise elektrivoolu tekkimine ahelas on väga sarnane veevoolu nähtele torustikus. Et torustikus vee voolama panna, on tarvilik selles tekitada veerõhumist („veemotoorne jõud“)

ja moodustada torustikus kinnise ringkäigu („ahela“) —
 joon. 25. Senikui kraan **k** on suletud, veevool tekkida ei saa,
 kuigi pump **P** (E.M. J.) töötab ja rõhub. Niipea aga, kui
 kraan **k** avame, algab vee liikumine kõrgema rõhu (+) poolt
 madalama rõhu (—) poole.

Sellejuures nimetame veevoolu tugevuseks veehulga, mis
 läbib ühe sekundi vältel torustiku põiklõiget. Arvestades
 vedelikkude kokkusurumatuse omadust, on selge, et veevoolu
 tugevus torustiku igas kohas on üks ja seesama: kitsamas
 kohas **a—a** jookseb vesi kiiremini, laiemas kohas **b—b** aegla-
 semalt, kuid ikka nii, et 1 sekundis igat põiklõiget läbib ikka
 üks ja seesama hulk vett.



Joon. 25.



Joon. 26.

Analoogiliselt nimetame **elektrivoolu tugevuseks** elektri-
 hulka, mis läbib 1 sekundis ahela põiklõiget. Mõõtmise alu-
 seks võetakse elektrivool, milles 1 sek. jooksul juhe igat põik-
 lõiget läbib 1 kuloon elektrit; see voolutugevus nimetatakse
 üheks **amperiks (A)**. Näit., kui leiti, et vooluahelas põiklõi-
 kest 8 sek. jooksis läbi 4 kulooni elektrit, siis on elekt-
 rivoolu tugevus: $4 : 8 = 0,5$ amperi.

Amperist väiksemad ühikud on

$$\begin{aligned} 1 \text{ milliamper} &= 0,001 \text{ A ja} \\ 1 \text{ mikroamper} &= 0,000001 \text{ A.} \end{aligned}$$

Voolutugevuse näitajaks on **ampermeeter**, mis lülitakse ahe-
 lasse nii, et terve elektrivool jookseb temast läbi. Katse näitab,
 et **elektrivoolu tugevus ahelas on igas kohas üks ja seesama**,
 nii et ampermeeter võib ahelasse ühendada vabalt valitud kohta.

Suurem osa alalise voolu ampermeetreid näitavad õieti
 ainult siis, kui vool saab ampermeetrisse juhitud selleks ette-
 nähtud kindlas suunas. Nimelt on mõõduriista kaks klemmi
 märgitud: üks (+), teine (—); ampermeeter tuleb lülida ahe-
 lasse nii, et (+) klemm oleks ühendatud E. M. J. allika (+)
 poolusiga ja (—) klemm allika (—) poolusiga (joon. 26).
 Ühendamisel vastupidi lööb ampermeetri osut end välja null-
 punktist teisele poole ja põrkab tõkke vastu.

§ 16. Takistus. Eritakistus. Takistuste ühendused.

Lülides samasuuruse E. M. J. mitmesugu ahelatesse, leiame, et igas ahelas voolutugevus osutub üldiselt isesuguseks, kuna ahelad avaldavad voolule isesugust **takistust**. Analoogiline nähe sünnib veektorustikkudes, kus ühesuguse jõuga töötav veepump (joon. 25) annab ühes või teises torustikus isesuguse voolutugevuse olenevalt torustiku takistusest.

Mida suurem on ahela takistus, seda väiksem on elektri- voolu tugevus sama E. M. J. juures. Takistuse seisukohast vaadates jaguneb elektrivoolu ahel kahte ossa — väljaspool E. M. J. allikat asuv ahela osa moodustab n.-n. **välisakistuse**, kuna E. M. J. allika enese takistus nimetatakse **sisetakistuseks**. Mõlemad takistused annavad koos ahela **üldtakistuse (R)**.

Elektrijuhe takistuse ühikuks on o o m (Ω). See on juhe takistus, milles jookseb vool tugevusega 1 amper, kui juhe otsade vahel tegutseb pingevahe 1 volt.¹⁾

$$1.000.000 \text{ oomi} = 1 \text{ megoom (M}\Omega\text{)}.$$

Elektrijuhe takistus oleneb juhe **pikkusest, jämedusest ja ainest**. Täpsemalt öeldes, on juhe takistus võrdeline pikkusega ja pöördvõrdeline jämedusega. Teiste sõnadega, takistus on seda suurem, mida suurem on juhe pikkus ja mida väiksem on juhe põiklõike pind.

Võttes juhed ühesuguse pikkuse ja jämedusega, kuid isesugu ainest, leiame, et igal ainel on oma isesugu takistus. Antud ainest tehtud 1 m pikkuse ja 1 mm² põiklõikega juhe takistus nimetatakse selle aine **eritakistuseks**.

Näit. Vase	eritakistus	= 0,0175	oomi
Hõbeda	„	= 0,0159	„
Raua	„	= 0,15	„
Allumiinium	„ umb.	= 0,027	„
Nikeliini	„	= 0,4—0,5	„
Manganiini	„	= 0,42	„
Tsingi	„	= 0,599	„
Konstantaani	„	= 0,53	„

Näide: Arvutada raudjuhe takistus, mille pikkus on 2 km ja põiklõige 3 mm².

Vastus: Raudjuhe takistus pikkusega 1 m ja põiklõikega 1 mm² on 0,15 oomi;

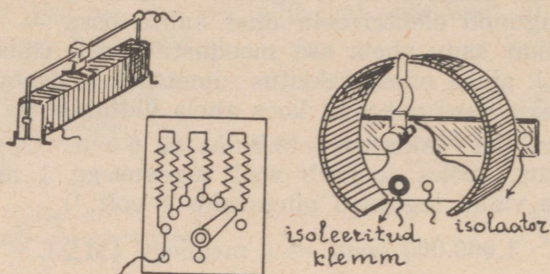
¹⁾ Seesuguse takistuse avaldab 0° C juures elavhõbeda sammas, mille pikkus 106,3 mm ja põiklõige 1 mm².

2000 m pikkuse ja 1 mm² põiklõikega juhe takistus on 2000 korda suurem, ehk $0,15 \times 2000$ oomi;

2000 m pikkuse ja 3 mm² põiklõikega juhe takistus on viimasest arvust 3 korda väiksem; seega otsitav

$$R = \frac{0,15 \times 2000}{3} = 100 \text{ oomi.}$$

Eespool toodud tabelist on näha, et elektrivoolu parimateks juhtijateks on hõbe ja vask. Praktilises elus tuleb sagedasti ette tarvidus ahelatesse sihilikult lüüda kunstlikke takistusi. Kunstlik ja muutlik takistus nimetatakse **reostaadiks**.



Joon. 27.

Ruumi kokkuhoidmiseks valmistatakse reostaadid tavaliselt aineist, millel suur eritakistus (nikeliin, konstantaan). Joon. 27 on näidatud mõned reostaatide tüüpe.

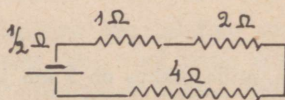
Üksikud takistused võib ühendada omavahel elektrivoolu ahelasse kolmel viisil:

1) Järjestikku ühendus: esimese takistuse üks ots ühendatakse teise takistuse vabalt valitud otsaga, ülejäänud ots kolmandaga jne. (joon. 28). Sarnaselt ühendatud takistuste kogutakistus võrdub üksikute takistuste summale,

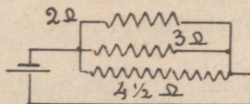
$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$$

Näit. (joon. 28)

$$R = \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 = 7\frac{1}{2} \text{ oomi.}$$



Joon. 28.



Joon. 29.

2) **Rööbik** (paralleelne) ühendus: kõikide takistuste ühed otsad ühendatakse omavahel ühe juhega, ülejäänud otsad

omavahel teise juhega (joon. 29). Sarnaselt ühendatud takistuste kogutakistus väheneb; ta on väiksem isegi kõige väiksemast ühenduses olevatest takistustest. Kogutakistuse valem on järgmine:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots$$

Et selle valemi järel kogutakistus arvutada, toimetame järgmiselt (näide joon. 29). Võtame üksikute takistuste pöördväärtused ja arvame nad kokku:

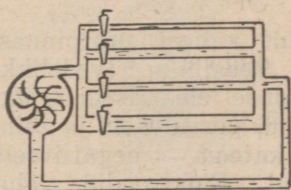
$$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{2}{9} = \frac{9+6+4}{18} = \frac{19}{18}$$

Otsitav kogutakistus leidub nüüd otsekohe, kui saadud arvust võtame uuesti selle pöördväärtus ehk $R = \frac{18}{19}$ oomi. Teiste sõnadega, kolm skeemil toodud takistust avaldavad voolule sama takistust, mis avaldaks üksik takistus $= \frac{18}{19}$ oomi.

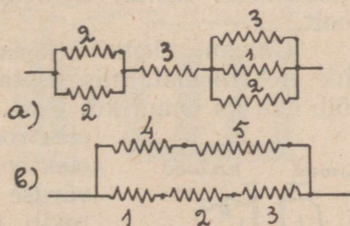
On rööbiti ühendatud takistused kõik **ühesuurused**, siis läheb kogutakistus üksiktakistusest niimitu korda väiksemaks, kuimitu takistust on rööbiti ühendatud:

$$R = r : n, \text{ kus } n \text{ on takistuste arv.}$$

Et ühele takistusele teiste takistuste rööbik juurdelülimine vähendab kogutakistust, selgub veektorustiku analoogiast.



Joon. 30.



Joon. 31.

Joon. 30 näidatud skeemil on torustikku asetatud mitu toru rööbiti. On selge, et kui siin hakkame kraanid üksteise järele avama ja seega järjest rööbiktakistusi eelmistele juurde lülma, siis leiab vesi järjest kergemat läbipääsu, — teiste sõnadega, torustiku kogutakistus väheneb. Torude ühendamine järjestikku üksteise otsa teeks samal ajal kogutakistuse suu-remaks.

3) **Segaühendus:** rööbiti ühendatud takistuste grupid ühendatakse omavahel järjestikku või järjestikku ühendatud takistuste grupid ühendatakse omavahel rööbiti (joon. 31).

Kogutakistuse väljaarvutamine ei paku siin raskusi.

Näit. (joon. 31).

$$a) R = 1 + 3 + 1^{5/6} = 5^{5/6} \text{ oomi};$$

$$b) \frac{1}{R} = \frac{1}{9} + \frac{1}{6} = \frac{5}{18} \text{ ehk } R = 3^{3/5} \text{ oomi.}$$

§ 17. Galvani elemendid. Voltmeeter. Leclanché ja Danieli tüüp.

Galvani element on alalise E. M. J. allikas, mis töötab keemilise energia alusel. On nimelt tähele pandud, et kui asetame mõni metallplaat hape- või soolalahusse, mis keemiliselt mõjub võetud metallile, siis kuhjuvad vabad elektroonid otsekohe metallplaadile; teiste sõnadega, metallplaat saab elektriseeritud negatiivselt, vedelik samal ajal võrdse potentsiaalini positiivselt. Kui nüüd sama vedelikku asetame veel teise juhtiva plaadi, millele vedelik keemiliselt tunduvalt ei mõju, siis kandub puuduv arv elektroone sellelt plaadilt vedelikku ja plaat ise elektriseerub positiivselt.

Aparat, milles kõvade elektrijuhede ja vedelikkude keemilise koosmõju tagajärjel tekib E. M. J., nimetatakse **Galvani elemendiks**, selle leiutaja (1790) itaalia füüsiku Galvani auks. Teaduslikult saivad elemendid läbiuuritud veidi hiljem **Volta** poolt.

Galvani element koosneb järelikult kahest juhtpinnast ehk **elektroodist**, mis asetatud teatud vedelikku (vedelikke võib olla ka enam kui üks). Selle järelduel elektriseerub üks elektrood, n.n. **anood**, positiivselt ja teine elektrood ehk n.n. **katood** — negatiivselt, võrdse potentsiaalini. Elektroodide vahel tekib, ühe sõnaga, pidev pingevahe.

Elemendi E. M. J. mõõtmiseks tarvitatakse n.n. alalise voolu **voltmeetrid**, milised pingevahe mõõtmiseks tuleb lülida oma kahe klemmiga rööbiti nende punktide vahele, millede vahel pingevahet tahetakse mõõta; sellejuures voltmeetri plusklemm tuleb ühendada E. M. J. plus-poolusi poole, miinus-klemm — miinus-poolusi poole (joon. 32).

Seesuguse voltmeetriga teeme kindlaks, et mitmesugu

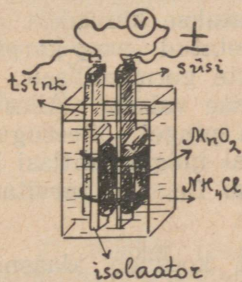
ainetest koostatud elemendid annavad isesuguseid pingeid; kuid **antud ainetest koostatud element** annab alati teatud **kindla pinge**, vaatamata elektroodide suurusele ja vedeliku hul-

gale. Kuna E.M.J. tegutseb elemendis, senikui jätkub temas keemilist energiat, siis elemendi suurus mõjutab vaid tema tööiga. On keemiline energia elemendis lõpule jõudnud, siis lõpeb ka elemendi tööiga ja selle uuendamiseks on tarvilik võtta uued ained.

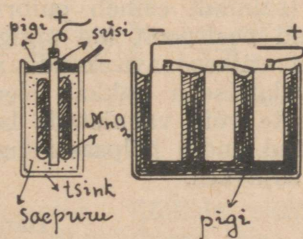
Galvani elemente on olemas õige mitmeid tüüpe, kuid kõige enam tarvitust leiavad Leclanchè ja osalt Danieli elemendid.

Leclanchè element koosneb klaaspurgist (joon. 33), millesse on asetatud tsinkpulk või tsinksilinder ja teiselt poolt söeplaat; vedelikuks on küllastatud salmiaku lahu. Seesuguses elemendis tsink elektriseerub negatiivselt potentsiaalini — 0,7 V ja söeplaat positiivselt + 0,7 V, nii et elektrodide vahel tekib pingevahe 1,4 V.

Söeplaat ja tsink on üksteisest isoleeritud klaasi või ebooniidiga; osad hoitakse koos kummipaelaga. Kui elemendi elektrodid ühendame omavahel mõne elektrijuhega, siis hakkab ahelas jooksuma alaline elektrivool. Üldiselt on aga teada, et alalise elektrivoolu läbistamisel sünnib vedelikus keemiline reaktsioon, millejuures teatavil põhjusil anoodil eristub vesinik. Ka Leclanchè elemendis sünnib elektrivoolu läbistamisel sama nähe, millejuures vesinik gaasimullidena jääb osaliselt



Joon. 33.



Joon. 34.

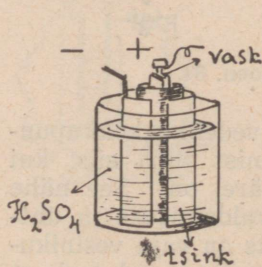
püsima söeplaadi pinnale, takistades seega vedeliku kokkupuutumist tsingiga ja halvates E.M.J. tekkimist juba siis, kui elemendis keemilist energiat veel küllalt järel on. See nähe nimetatakse polarisatsiooniks. Viimase kõrvaldamiseks ja ühtlasi Leclanchè elemendi tööiga pikendamiseks on vaja vesinikumullid tsingilt kõrvaldada, mis sünnib keemiliselt sel teel, et söeplaadi ümber asetatakse ained, millised energiliselt ühinevad vesinikuga. Sarnaseks aineks, ehk n.n. depolarisaatoriks, Leclanchè elemendis on mangaanumi ülihapend (MnO_2), — koksitaoline mass, mis rohke hapniku sisaldavuse tõttu hästi ühineb vesinikuga.

Leclanché element on väga lihtne aparat ja lihtne on ka tema hooldamine. Tuleb vaid jälgida, et vedelikku oleks elemendis küllaldaselt; on vedelik lahja, siis tuleb juurde riputada salmiaku soola, nii et lahu oleks küllastatud (osa soola jääb põhja).

Kirjeldataud märja elemendi kõrval on õige laialt tarvitusel Leclanché n.n. **kuiv element** (näit. taskulambi patareid, anoodpatareid raadiovastuvõtjates). Siin kannab tsinkelektrood väikese purgikese kuju (joon. 34), kuna söepulk ühes külge seotud depolarisaatori kotikesega on asetatud selle purgikese sisse. Söeelektroodi ja tsingi vahele on asetatud salmiaku lahuga läbiimbutatud saepuru või marle; purgike on pealtpoolt kinni valatud pigiga, et sisemine niiskus ei auraks. Seesuguseid elemente ühendatakse tavaliselt patareidesse järjestikku (§ 18); näit. taskulambi patareid sisaldab 3 järjestikku ühendatud elementi.

Ostes kauplusest kuivi elemente (mis tõeliselt ei olegi „kuivad“), peab hoolitsema selle eest, et elemendid oleksid värsked, kuna kuiv patareid ladus seismisel ajajooksul ise kulub ja kaotab oma E.M.J.

On olemas veel kolmas liik Leclanché elemente, n.n. **poolkuivad** elemendid. Viimased koostatakse kuivadest ainetest (salmiak esineb pulbris), mis asetatud papp-karpi ja valatud pealtpoolt üle pigiga, kuid mitte germeetiliselt, vaid nii, et väikese ava kaudu võib vett sisse valada. Alles vee sissevalamisega hakkab element andma pinget. Seesuguseid elemente võib valmistada lattu suuremal hulgal, ühtlasi lasuvad nad endid hõlpsasti transporteerida. Leiavad tarvitamist eriti sõjaväes.



Joon. 35.

Danieli element koosneb klaasnõust, milles nõrga väevlihape lahu sisse on asetatud tsinksilinder (joon. 35). Silindri keskele on mahutatud pooriliste seintega savinõu, millesse on valatud vasevitriooli lahu ja asetatud vaskplaat. Poorne savinõu takistab vedelikkude ühinemist, andes pooride kaudu siiski küllaldast kontakti. Element annab pinget 1,1 volti, millejuures tsink elektriseerub negatiivselt ja vask positiivselt.

Element on võrreldes Leclanché elemendiga vähem levinenud, kuna pinge on madalam ja koosseis keerulisem ning väevlihape sisaldavuse tõttu ebamugav.

§ 18. Elementide ühendamine patareidesse.

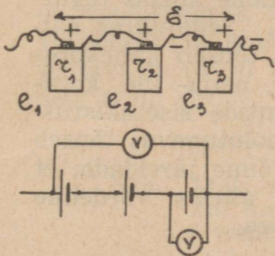
Galvani elemente võib ühel või teisel otstarbel omavahel ühendada patareidesse. Elementide ühendusviise on üldiselt kolm.

1) **Järjestikku** ühendus. Esimese elemendi, näit. plus-poolus ühendame teise elemendi miinus-poolusiga; selle plus-poolus järgmise elemendi miinus-poolusiga jne., kuni kõik elemendid on ühendatud (joon. 36).

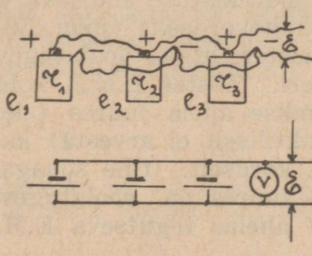
Esimese ja viimase elemendi lahtiseks jäänud pooluste vahel saame nüüd E.M.J., mis võrdub üksikute elementide E.M.J. summale:

$$E = e_1 + e_2 + e_3 + \dots$$

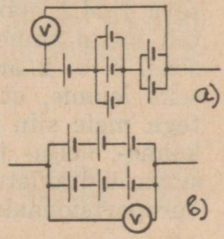
Ühendades elemendid omavahel järjestikku, saame seega ahelas kõrgema E.M.J. Tuleb vaid silmas pidada, et selle ühendusviisi juures elementide sisetakistused saavad ühendatud ahelasse samuti järjestikku, milletõttu tõuseb patarei üldine sisetakistus.



Joon. 36.



Joon. 37.



Joon. 38.

2) **Rööbitik** (paralleelne) ühendus. Kõikide elementide plus-poolusid ühendatakse omavahel ühe juhega; teise juhega ühendatakse omavahel kõik miinus-poolusid (joon. 37). Sel viisil koostatud patarei üldine E.M.J. jääb **muutmataks**, s. t. võrdseks üksiku elemendi E.M.J., mis on ka arusaadav, kuna rööbiti koostatud patarei tegutseb kui üksik element, ainult suurendatud elektrodidega.

$$E = e_1 = e_2 = e_3 = \dots$$

Selge on, et rööbiti võib omavahel ühendada vaid ühetüübilisi elemente, millede üksikud E.M.J. on kõik võrdsed. Vastasel korral, oletades näit., et elemendi e_1 E.M.J. on kõrgem kui elemendi e_2 E.M.J., saame nende kahe elemendi paralleelsest ühendusest omavahelise kinnise ahela, milles tegutseb üldine E.M.J. $(e_1 - e_2)$ volti ja ühtlasi kasuta jookseb selles ahelas ringi elemente nõrgestav elektrivool.

Kuigi üldine E.M.J. kirjeldatud ühendusviisi juures jääb endiseks, tõuseb patarei elektrienergia ja ühtlasi tööiga. Peab veel märkima, et rööbitu ühendusviisi juures üksikute elementide sisetakistused saavad ahelasse ühendatud samuti rööbiti, milletõttu läheb väiksemaks kogu patarei sisetakistus.

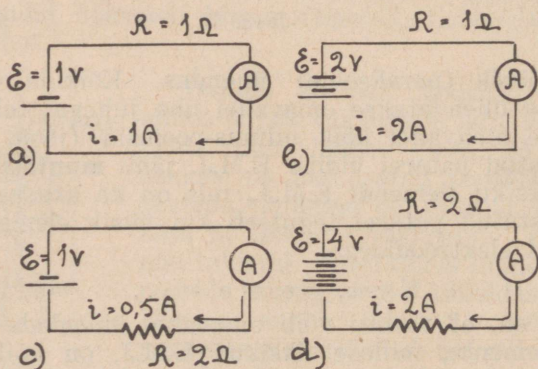
3) **Segaühendus.** Rööbiti ühendatud elementidest koostatud grupid ühendatakse omavahel järjestikku (joon. 38-a); või järjestikku ühendatud elementide grupid ühendatakse omavahel rööbiti (joon. 38-b).

Sel viisil koostatud patareide üldist E.M.J. ja üldist sisetakistust on kerge välja arvutada käesoleva § p.p. 1 ja 2 alusel.

§ 19. Oomi seadus.

Koostame elektrivoolu ahela, milles tegutseb E.M.J. = 1 volt ja mille üldtakistus $R = 1$ oom. Nagu eespool nägime (§ 16, kolmas lõik), peab seesuguses ahelas voolutugevus olema 1 amper (joon. 39-a).

Jättes ahela üldtakistuse endiseks, tõstame ahelas tegutseva E.M.J. näit. kahekordseks (joon. 39-b). Sellejuures näitab meie ampermeeter, et ka voolutugevus tõuseb kahekordseks, s. o. 2 amperi. Tõstes E.M.J. kolme-, nelja- jne. kordseks leiame, et endise ahela juures (elementide sisetakistustega meie siin praktiliselt ei arvesta) ka voolutugevus tõuseb kolme-, nelja- jne. kordselt. Ühe sõnaga, võime järeldada, et sama üldtakistuse juures on voolutugevus ahelas võrdeline (proportsionaalne) ahelas tegutseva E.M.J.-ga.



Joon. 39.

Võttes nüüd ahelad ühesuguste E.M.J.-ga (joon. 39-a ja c), kuid üks ahe! kaks korda väiksema takistusega kui teine,

leiame, et ka voolutugevus viimases on kaks korda väiksem kui esimeses. Suurendades sama E.M.J. juures ahela üldtakistuse kolme-, nelja- jne. kordselt, leiame, et voolutugevus langeb vastavalt kolme-, nelja- jne. kordselt. Teiste sõnadega, sama E.M.J. juures on **voolutugevus ahelas pöördvõrdeline ahela üldtakistusega.**

Ahela **c** on kerge üle minna võrdse takistusega ahelale **d** ja eespool toodud reegli järele juba ette ütelda, et selles voolutugevuses on neli korda suurem, kui ahelas **c**, mida tõestab ka ampermeeter. Kokkuvõttes võime öelda, et **voolutugevus ahelas võrdub E.M.J. jagatud üldtakistusega.**

$$J = E : R \dots \dots \dots I$$

kusjuures E.M.J. ehk E väljendatakse voltides, üldtakistus R oomides ja voolutugevus J amperides. See on n. n. **Oomi seadus.** Näit. joon. 39-d näidatud juhul on voolutugevus

$$J = 4 : 2 = 2 \text{ amperi.}$$

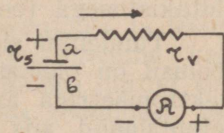
Oomi seaduse abil võime alati välja arvutada, kui suur on voolutugevus ahelas, kui teada on ahelas tegutsev E.M.J. (voltides) ja ahela üldtakistus (oomides). Viimane koosneb teatavasti (§ 16 teine lõik) sisetakistusest r_s ja välistakistusest r , nii et

$$R = r + r_s$$

Näit. Ahela sisetakistus on 0,5 oomi, väline takistus 4 oomi. Kui suur on voolu tugevus, kui ahelas tegutseb E. M. J. 3 volti?

Vastus: Üldine takistus $R = 4 + 0,5 = 4,5$ oomi;
voolutugevus $J = 3 : 4,5 = \frac{2}{3}$ amp.

Oomi seaduse väljendusele võib anda veel teise kuju. Oletame näit., et ahelas tegutsev E. M. J. on meil teada ja teada on ka voolutugevus, kuna teadmatuks jääb üldtakistus. Kui suur peaks see olema? Võtame, näit. E. M. J. = 8 volti ja voolutugevus $J = 2$ amperi.



Joon. 40.

Oomi seaduse eelmise väljenduse kohaselt peab üldtakistus (oomides) olema nähtavasti nii suur, et kui meie 8 v sellega jagame, siis peame saama voolutugevuse 2 A. Otsitav arv leidub muidugi, kui 8 jagame 2-ga ehk

$$R = E : J \dots \dots \dots II$$

Ahela üldtakistus (oomides) võrdub E.M.J. (voltides) jagatud voolutugevusega (amperides).

Näit. Ahela (joon. 40) välistakistus on teadmata; sisetakistus on 0,5 oomi. Ahelasse on lülitatud E. M. J. 6 v ja ampermeeter näitab 4 A. Kui suur on ahela välistakistus?

Vastus: Ahela üldtakistus $R = 6 : 4 = 1,5$ oomi, välistakistus $r_v = 1,5 - 0,5 = 1$ oom.

Võib veel ette tulla, et on teada ahela üldtakistus ja ahelas tegutseva voolu tugevus. Oletame näit., et $R = 3$ oomi ja $J = 2$ amperi.

Oomi seaduse väljenduse I kohaselt peab ahelas tegutsev E.M.J. (voltides) olema nii suur, et kui meie selle jagame 3-ga (takistus), siis peame saama 2 A (voolutugevuse). Selge on, et otsitav E. M. J. leidub, kui 3 korrutame 2-ga. Teiste sõnadega

$$E = J \times E \dots \dots \dots III$$

Ahelas tegutsev E.M.J. (voltides) võrdub voolutugevusele (amperides) korrutatud üldtakistusega (oomides).

Näit. Koostada patarei järjestikku ühendatud Leclanché elementidest, millede sisetakistus on tähtsusetu väike. Kui suur E. M. J. peab ahelas tegutsema ja mitu elementi tuleb patareisse ühendada, et välistakistuse juures 9 oomi saada voolutugevuse 2 amperi?

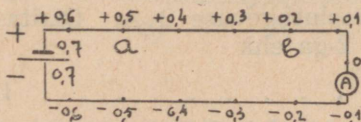
Vastus: $E = 2 \times 9 = 18$ volti; elemente tuleb võtta 18:1,4, s. o. umbes 13 tükki.

§ 20. Pingelangemine ahelas.

Oletame, et pikas ahelas (joon. 41) tegutseb E.M.J. = 1,4 volti (Leclanché element). On ahel suletud, siis jookseb selles elektrivool, mille tugevus võrdub E. M. J. (voltides) jagatud üldtakistusega (oomides).

Tundeliku elektromeetri abil leiame, et elemendi pluspoolusil on olemas potentsiaal + 0,7 volti. Kui nüüd selle elektromeetriga ära mõõta ahelat mööda üksikute punktide potentsiaalid, siis selgub, et potentsiaal ahelat mööda järjest kahaneb; kusagil ahela keskel osutub ta 0 volti, siis muutub negatiivseks ja hakkab oma väärtuses tõusma; elemendi miinus-poolusil on potentsiaal - 0,7 volti. Näeme, et elektrivoolu ahelas valitseb iga kahe punkti vahel teatud pingelangemine ehk potentsiaalide vahe.

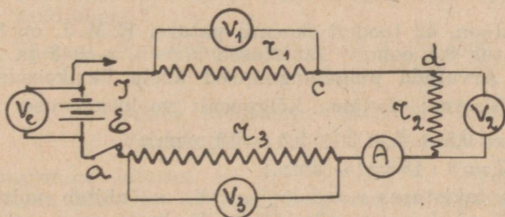
On arusaadav, et elektrivoolu juures ahela kahe punkti a ja b vahel peab valitsema teatud pingelangemine, kuna vas-



Joon. 41.

tasel korral, s. o. võrdsete potentsiaalide juures, ei võiks a ja b vahel tekkida elektriliikumist. Analoogiliselt valitseb ka veetorustikus iga kahe punkti vahel teatud surve-langemine ehk surve vahe; juhul, kui kahe punkti vahel puuduks surve-langemine, s. t. kui surved oleksid võrdsed, siis ei võiks nende punktide vahel olla mingit veeliikumist.

Katse näitab, et elektrivoolu ahelas pingelangemine kahe punkti vahel on seda suurem (võrdeliselt), mida suurem on takistus nende kahe punkti vahel. See on samuti arusaadav; kuna voolutugevus ahelas on igas kohas üks ja seesama, siis sama voolu läbisurumiseks suuremast takistusest peab viimase otsade vahel valitsema kõrgem pingelangemine.



Joon. 42.

Ühtlasi näitab mõõtmine, et ahela iga osa kohta võib rakendada Oomi seadust, kui E.M.J. asemel võtame antud ahelaosa otsapunktide vahel valitseva pingelangemise ja üldtakistuse asemel — ahela sama osa takistuse (joon. 42):

$$J \quad v_1 : r_1 = v_2 : r_2 = v_3 : r_3 \text{ jne. (A)}$$

$$\text{ehk } r_1 = v_1 : J \quad r_2 = v_2 : J \quad r_3 = v_3 : J \text{ jne. (B)}$$

$$\text{ehk } v_1 = r_1 \times J \quad v_2 = r_2 \times J \quad v_3 = r_3 \times J \text{ jne. (C)}$$

Teiste sõnadega, lause (A) kohaselt arvutame ja leiame voolutugevuse ahelas, kui on teada pingelangemine kahe punkti vahel (mille näitab punktide vahele rööbiti lülitatud voltmeeter) ja nende punktide vaheline takistus (oomides). Selleks tuleb esimene arv teisega jagada.

Näit.: oletame, et joon. 42 toodud skeemil takistuse $r_2 = 3$ oomi otsade vahel tegutseb pingelangemine 7,5 volti, mida näitab voltmeeter v_2 . Kui tugev on vool ahelas?

Vastus: $7,5 : 3 = 2,5$ amperi.

Kui suur on takistus r_3 teades, et pingelangemine selle takistuse otsade vahel on 10 volti (näitab voltmeeter v_3)?

Vastus: lause (B) kohaselt $r_3 = 10 : 2,5 = 4$ oomi.

Kui suur on pingelangemine takistuse $r_1 = 2$ oomi otsade vahel?

Vastus: lause (C) kohaselt $v_1 = 2 \times 2,5 = 5$ volti.

On üldiselt teada, et E.M.J. allikas omab teatud sisetakistuse, mille kaudu elektrivoolu läbisurumiseks läheb vaja teatud **sisemist pingelangemist**. See võrdub lause (C) kohaselt sisetakistusele korrutatud elektrivoolu tugevusega. E.M.J. allika klemmide vahele lülitatud voltmeeter ei näita meile seega üldist E.M.J. ahelas, vaid ainult **välist pingelangemist**, s. o. pingelangemist kõikides välistakistustes kokku, milline on ahelas tegutsevast üldisest E. M. J.-st väiksem sisemise pingelangemise võrra. Alles selle järele, kui ahela kusagil katkestame, näit. punktis **a**, hakkab voltmeeter v_e näitama täielist E.M.J., kuna sel juhul elektrivoolu puudumisel välisahelas puudub ka pingelangemine. Muidugi peab selle juures voltmeetri enese takistus olema küllalt suur.

Näide. Joon. 42 toodud skeemil patarei E. M. J. on 3 v; sisetakistus 0,5 oomi. Takistused $r_1 = 5$, $r_2 = 3$ ja $r_3 = 9,5$ oomi. Arvutada pingelangemised ahela üksikosades.

Vastus: Leiame kõigepealt voolutugevuse.

Üldtakistus $R = 0,5 + 5 + 3 + 9,5 = 18$ oomi;

Voolutugevus $J = 3 : 18 = \frac{1}{6}$ amp.;

Pingelangemine takistuses $r_1 = 5 \times \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$ v (näitab voltmeeter v_1);

„ „ „ $r_2 = 3 \times \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$ v („ „ „ v_2);

„ „ „ $r_3 = 9,5 \times \frac{1}{6} = 1\frac{7}{12}$ v („ „ „ v_3);

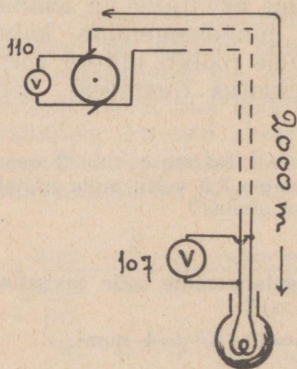
Sisemine pingelangemine $v_s = 0,5 \times \frac{1}{6} = \frac{1}{12}$ v (seda ei näita ükski mõõduriist.

Väline pingelangemine on $\frac{5}{6} + \frac{1}{2} + 1\frac{7}{12} = 2\frac{11}{12}$ v (näitab voltmeeter v_e), mis koos sisemise pingelangemisega $\frac{1}{12}$ v annab kokku E. M. J. = 3 v.

Näeme, et pingelangemine ahela üksikosas (samuti sisemine pingelangemine) oleneb kõigepealt selle üksikosa takistusest. Mida suurem ahelaosa takistus, seda antud voolutugevuse juures on suurem ka pingelangemine selles ahelaosas.

Ühendusjuhedes, mis tavaliselt on lühikesed, jämedad vaskjuhed, on takistus äärmiselt väike; selletõttu pole ka nendes juhedes praktiliselt mingisugust pingelangemist ja sarnase juhe (näit. **cd**) otsade vahele ühendatud voltmeeter näitab null volti. On E.M.J. allika sisetakistus tähtsuseta väike (näit. akkumulaa- tor, dünamomasin), siis pole olemas praktiliselt ka nimetamisväärt sisemist pingelangemist ja voltmeeter v_e näitab sarnasel juhul täielikku E.M.J.

Peab aga otsekohe tähendama, et ahela üksikosades pin-



Joon. 43.

gelangemine oleneb teiselt poolt **voolutugevusest**. Läheb mingil põhjusel elektrivool ahelas suuremaks, siis tõuseb ka pingelangemine igas üksikosas, kuigi antud üksikosade takistused jäid kõik endisteks. Tugevate voolude juures võib näit. isegi väikese sisetakistusega dünamomasin avaldada märgatavat sisemist pingelangemist.

On ühendusjuhed õige pikad, siis võib ka nendes tekkida tunduv pingelangemine ja seda suurem, mida suurem on voolutugevus.

Näide. Dünamo, mille sisetakistus tähtsuseta väike, annab E. M. J. = 110 v (joon. 43). Missugust pinget suudab see masin anda elektri hõõglambile, mille takistus 1070 oomi ja mis asub 2 km eemal, olles ühendatud dünamoga 2 mm² kaksikraudjuhega?

Vastus: Raudjuhe takistus on $\frac{0,15 \times 4000}{2} = 30$ oomi;

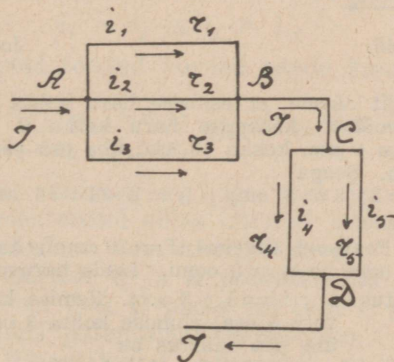
Ahela üldtakistus $R = 1070 + 30 = 1100$ oomi;

Voolutugevus $J = 110 : 1100 = 0,1$ amperi.

Seega pingelangemine juhtedes on $30 \times 0,1 = 3$ v. Pinge elektrilambi klemmide vahel on $110 - 3 = 107$ v. Selge on, et tugevama voolu juures oleks pingelangemine juhtedes olnud veelgi suurem ja lõpupinge voolutarvitaja juures veelgi väiksem. Suurema pingelangemise ärahooldmiseks tuleb ühendusjuhed teha vasest.

§ 21. Voolu hargnemine ahelas.

Senini oleme vaatlenud vaid seesuguseid elektrivoolu ahelaid, kus voolul leidus üksainus ringkäik. Juhtub aga, et ahel mingisuguses punktis jaguneb harudesse (joon. 44), siis hargneb nende harudesse ka vool J.



Joon. 44.

Kirchhof leidis, et haruvoolude tugevuste summa võrdub peavoolu tugevusele;

$$\begin{aligned} J &= i_1 + i_2 + i_3 \\ J &= i_4 + i_5 \quad \text{jne.} \end{aligned}$$

On kindlaks tehtud, et haruvool on selles harus tugevam, mille takistus on väiksem; täpsemalt öeldes — haruvoolude tugevused on pöördvõrdelised harude takistustega.

$$\begin{aligned} i_1 : i_2 : i_3 &= \frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3} \\ i_4 : i_5 &= \frac{1}{r_4} : \frac{1}{r_5} \quad \text{ehk} \quad i_4 : i_5 = r_5 : r_4 \end{aligned}$$

Tähendatud võrded on muuseas asjaolu tulemus, et pingelangemine üksiku haru mööda haruvihus on üks ja see sama. Näiteks punktide A ja B vahel valitseb pingelangemine Oomi seaduse põhjal:

$$i_1 \times r_1 = i_2 \times r_2 = i_3 \times r_3;$$

punktide C ja D vahel

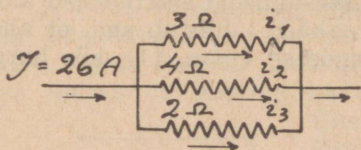
$$i_4 \times r_4 = i_5 \times r_5$$

Näide. 1) Peavoolu tugevus $J = 26$ amp.; harutakistused $r_1 = 3$ oomi, $r_2 = 4$ oomi, $r_3 = 2$ oomi. Arvutada haruvoolud (joon. 45):

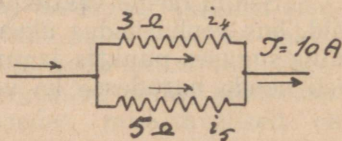
Vastus: $i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{3} : \frac{1}{4} : \frac{1}{2}$.

Et leida, mitu osa üldvoolust tuleb arvata ühe, teise ja kolmanda haru kohta, toome kõik murrud ühisele jagajale ja leiame vastavad nimetajad:

$$i_1 : i_2 : i_3 = \frac{4}{12} : \frac{3}{12} : \frac{6}{12}.$$



Joon. 45.



Joon. 46.

Siit näeme, et esimese haru kohta tuleb arvata 4 osa üldvoolust, keskmise haru kohta 3 ja kolmanda haru kohta 6 osa, kokku 13 osa; ühe osa väärtus on $26 : 13 = 2$ amp. Seega

$$i_1 = 2 \times 4 = 8 \text{ amp.}; \quad i_2 = 2 \times 3 = 6 \text{ amp.}; \quad i_3 = 2 \times 6 = 12 \text{ amp.}$$

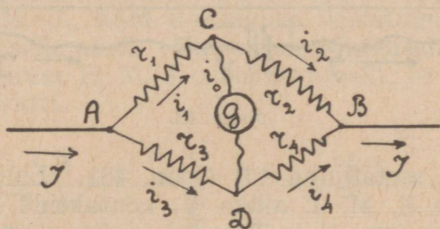
2) Peavoolu tugevus $J = 10$ amp.; harutakistused $r_4 = 3$ oomi ja $r_5 = 5$ oomi. Leida haruvoolud (joon. 46).

Vastus: $i_4 : i_5 = 5 : 3$ s. t. ülemise haru kohta tuleb arvata 5 osa, alumise kohta 3 osa, kokku 8 osa ehk ühe osa väärtus on

$$\begin{aligned} 10 : 8 &= 1\frac{1}{4} \text{ A. Seega} \\ i_4 &= 1\frac{1}{4} \times 5 = 6\frac{1}{4} \text{ A}; \quad i_5 = 1\frac{1}{4} \times 3 = 3\frac{3}{4} \text{ A} \end{aligned}$$

§ 22. Wheatstone'i sild.

Oletame, et vooluahela punktide A ja B vahel (joon. 47) elektrivool hargneb kahte harusse, milledest kummagisse on lülitatud järjestikku kaks takistust r_1 ja r_2 ning r_3 ja r_4 . Voolutugevus ühes ja teises harus oleneb (§ 21) harude takistuste vahekorra-
st, kuid pingelangemine A ja B vahel on ühesuurune — niihästi haru ACB, kui haru ADB mööda. Sarnasel juhul võime kummagis harus alati leida seesugused kaks punkti



Joon. 47.

C ja D, millede potentsiaalid on võrdsed. Selleks on vaja vaid, et pingelangemised osades AC ja AD oleksid omavahel võrdsed, samuti pingelangemised osades CB ja DB, ehk

$$i_1 \times r_1 = i_3 \times r_3 \text{ ja} \\ i_2 \times r_2 = i_4 \times r_4$$

Kui nüüd punktid C ja D ühendame omavahel juhega, siis sel viisil moodustatud harus CD ehk n. n. Wheatstone'i (loe „Uitstoni“) sillas ei tekki mingit voolu, kuna C ja D vahel puudub pingetevahe. Harusse lülitatud ampermeeter või galvanomeeter g (§ 39) ei näita voolu olemist ja nähtavasti

$$i_1 = i_2 \text{ ja } i_3 = i_4.$$

Jagades eespool toodud võrded osade kaupa, saame

$$\frac{i_1 \times r_1}{i_2 \times r_2} = \frac{i_3 \times r_3}{i_4 \times r_4} \text{ ehk } \frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$$

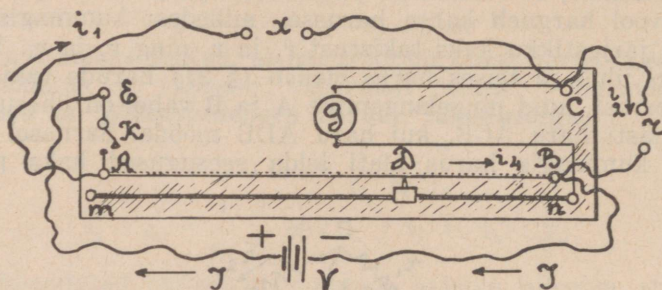
$$\text{kuna } i_1 = i_2 \text{ ja } i_3 = i_4.$$

Teiste sõnadega, elektrivool sillas on null juhul, kui kummagi haru takistuste suhed on omavahel võrdsed.

Juhul, kui punktide C ja D potentsiaalid ei ole võrdsed, tekib sillas elektrivool C-st D poole või D-st C poole, olenevalt sellest, millise punkti potentsiaal on kõrgem.

Kirjeldatud Wheatstone'i silla abil on võimalik mõõta teadmata takistusi. Selleks peavad käepärast olema mõned

teatud takistused (näit. takistuskast) ehk takistuse etaloonid ja teiselt poolt peen sirge ja ühesuurustesse osadesse (näit.



Joon. 48.

m/m) jaotatud metalljuhe AB (joon. 48). Lülides kontaktide E ja B vahele E. M. J. allika V, kontaktide A ja C vahele otsitava takistuse x ; C ja B vahele mõne teatud takistuse r , leiame takistuse x järgmiselt.

Vaotades katkestajale K, liigutame libiseva kontakti D metallvart mn mööda, senikui galvanomeetris g kaob vool. Nüüd peab takistuste x ja r suhe võrduma takistuste AD ja DB suhele (ühendusjuhede takistused on praktiliselt null). Viimane suhe võrdub AD ja DB vahel väljaloetud jaotuste suhele.

Näit. on AB jaotatud 1000 m/m ja kontakt D asub sillavoolu kadumise juures jaotusel 640. Teades, et takistus r võrdub näit. 12 oomi, leiame

$$X : 12 = 640 : 360 \text{ ehk } X = \frac{12 \cdot 640}{360} = 21 \frac{1}{3} \text{ oomi.}$$

§ 23. Elektrivõimsus ja energia.

Elektrivool kannab enesega energiat, mis väljendub ta võimetes mitmesugust tööd korda saata. On teada, et elektrivool näit. soojendab elektrijuhesid, milledes ta voolab; elektrivool paneb käima mootorid, annab valgustust, laotab vedelikke jne. Isesugu tugevusega elektrivoolud suudavad ühe ja selle sama tööhulga korda saata, kui anda võimalus nõrgematele vooludele tegutseda kauemat aega. Ahelas jooksva elektrivoolu jõu hindamise aluseks võetakse selletõttu energia- või tööhulk, millise see elektrivool suudab välja anda 1 sek. jooksul.

1 sek. jooksul elektrivoolu poolt korda saadetud tööd nimetatakse elektrivõimsuseks. Võimsuse ühikuks loetakse ahela võimsus, milles jookseb elektrivool tugevusega 1 amper,

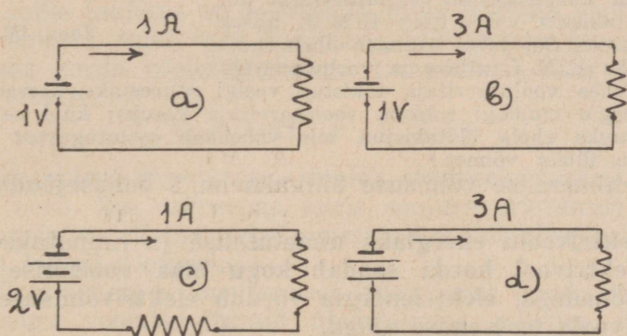
kui samal ajal ahelas tegutsev E. M. J. on 1 volt. Seesugune võimeühik nimetatakse **1 wattiks**.

1000 watti = 1 kilowatt (Kw);

100 watti = 1 hektowatt.

Katse näitab, kui võtame kaks ahelat, milledes kummagis tegutseb E. M. J. = 1 volt (joon. 49-a ja b), kuid ühes ahelas on voolutugevus suurem näit. 3 korda, siis annab see ahel ka 3 korda suuremat võimet. Teiste sõnadega, **elektrivoolu võimsus on võrdeline voolutugevusega**.

Teiselt poolt tõendab katse, et kui ahelates tegutsevad isesugused E. M. J., kuid ühesuguse voolutugevusega (joon. 49-a ja c), siis selle ahela **võimsus on võrdeliselt suurem, milles tegutseb suurem E. M. J.**; leiame nimelt, et ahelas c eristub võimet 2 watti.



Joon. 49.

Et nüüd ahelalt c üle minna ahelale d, võime eelmise reegli alusel ette öelda, et kuna viimases ahelas on vool 3 korda tugevam, siis on ka selle ahela võimsus 3 korda suurem ehk $2 \times 3 = 6$ watti. Siit järeldame:

Ahela elektrivõime (wattides) **võrdub ahelas tegutsevale E. M. J. (voltides), korrutatud voolutugevusega (ampereites).**

Näide. Joon. 50 näidatud ahela võimsus W on $E \times J$ watti, kus $E = 4$ volti;

$$J = 4 : (1 + 3 + 4) = 0,5 \text{ amperi.}$$

Seega $W = 4 \times 0,5 = 2$ watti.

Leitud võimsus korraldub ahela üksikosades järgmiselt, kui arvestada asjaoluga, et E. M. J. aset täidab nendes osades valitsev pingelangemine:

takistuses r_1 kulub $v_1 \times J$ watti;
 „ r_2 „ $v_2 \times J$ watti;
 „ r_3 „ $v_3 \times J$ watti.

Teame, et				
pingelangemine	v_1	takistuses	r_1	on $3 \times 0,5 = 1,5$ volti;
"	v_2	"	r_2	" $4 \times 0,5 = 2,0$ volti;
"	v_s	sisetakistuses	r_s	" $1 \times 0,5 = 2,05$ volti;
Seega takistuses	r_1	kulub	võimet	$1,5 \times 0,5 = 0,75$ w
"	r_2	"	"	$2,0 \times 0,5 = 1,00$ w
sisetakistuses	r_s	"	"	$0,5 \times 0,5 = 0,25$ w
			Kokku::	2 watt

Järelikult, ahela selles osas kulub rohkem (võrdeliselt) võimet, mille takistus on suurem. Juhul, kui E. M. J. allika sisetakistus on õige suur (näit. raadiolamp), peab ka välisahelasse lülitatud voolu tarvitaja takistus olema küllalt suur; vastasel korral kulub osa energiat ebaproduktiivselt E. M. J. allika sees.

Kasulikuima energia korralduse ahelas suure sisetakistusega E. M. J. allika juures saame, kui konstrueerime voolutarvitaja nii, et tema takistus võrduks E. M. J. allika sisetakistusele. Sel juhul jaguneb ahela energia pooleks E. M. J. allika ja voolutarvitaja vahel. (Tehes voolutarvitaja takistus veelgi suuremaks, korraldaksime ahela energia muidugi rohkem voolutarvitaja kasuks; kuid sellejuures läheb suureks ahela üldtakistus, mis vähendab voolutugevust ja ühes sellega ka üldist võimet.)

Mehhaanilise võimsuse ühikuks on 1 hobusejõud = 736 watt.

Elektrivoolu energiaks nimetatakse ja hinnatakse tööd, mille elektrivool korda saab kogu oma voolamise vältel. Teiste sõnadega, elektrienergia võrdub elektrivõimsusele korrutatud voolu teotsemise ajaga.

Elektrienergia ühikuteks on:

- 1 wattsekund,
- 1 watt-tund = 60 wattsekundi,
- 1 hektowatt-tund = 100 watt-tundi,
- 1 kilowatt-tund = 1000 watt-tundi.

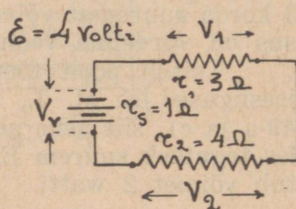
Oletades näit., et joon. 50 antud ahelas elektrivool tegutseb 30 päeva jooksul igapäev 10 tundi, leiame:

- ühel päeval annab see vool energiat $2 \times 10 = 20$ watt-tundi;
- 30 päevaga annab see vool energiat $20 \times 30 = 600$ watt-tundi ehk 0,6 kilowatt-tundi (Kw. t.).

Selge on, et sama energia hulga suudab välja anda ka nõrgema võimsusega vool, kuid vastavalt pikema aja jooksul (näit. 0,5 wattiline vool 120 päevaga). Võimsuse mõiste on alati seotud ajaühiku (sekundi) vältel ära tehtud tööhulgaga ja sellepöolest erineb ta energia hulga mõistest.

§ 24. Elektrivoolu soojustegevus. Joule'i seadus.

Kui elektrivoolu ahelas jookseb vool, siis muutub teatud osa elektrienergiast soojuseks, mis avaldub juhede temperatuuri tõus. Võttes ahelaosa takistusega 1 oom leiame, et



Joon. 50.

kui seda osa läbib elektrivool tugevusega 1 A, siis 1 sek. jooksul selles juheosas eristub **0,24 grammkalorit** soojust.

Kui nüüd võtame ahela teise osa takistusega 2, 3, 4 jne. oomi, siis 1 A voolutugevuse juures eristub 1 sekundi jooksul soojust vastavalt 2, 3, 4 jne. korda rohkem, kui 0,24 gr. kal. Teiste sõnadega, teatud ahelaosas ajaühiku vältel eristuv soojusehulk on võrdeline selle osa takistusega (sama voolutugevuse juures).

Jättes nüüd ahela osa takistus endiseks, hakkame muutama voolutugevust, suurendades seda 2, 3, 4... korda. Mõõtmised näitavad, et samas ahelaosas 1 sek. jooksul eristub nüüd soojust vastavalt 4, 9, 16... korda rohkem. Seega, ajaühiku vältel ahela teatud osas eristuv soojusehulk on võrdeline voolutugevusega teises astmes.

Et leida, mitu kalorit soojust eristub t sek. jooksul ahelaosas, mille takistus on r oomi ja mida läbib vool tugevusega i amperi, tuleb 0,24 korrutada takistusega (oomides) ja veel kaks korda voolutugevusega (amperites) ning üks kord ajaga (sek.).

$$Q = 0,24 \cdot r \cdot i \cdot i \cdot t$$

See valem nimetatakse **Joule'i seaduseks** inglise füüsiku **Joule'i** auks, kes esimesena uuris soojuse eristumist elektrivoolu ahelates. Tema auks nimetatakse elektrivoolust saadud soojust **Joule'i soojuseks**.

Elektrienergia kasutamisel tuleb hoolt kanda selle eest, et igasugu voolutarvitajaid ühendavates juhedes ei läheks elektrienergiat liigselt kaduma Joule'i soojuse kujul. Selleks tuleb võtta jämedad juhed ja võimalikult vasest. Reostaadis, kui kunstlikult ahelasse lülitatud takistuses, on energiakadu soojuse kujul möödapääsematu. Elektriahjudes, triikraudades jne., mis samuti sisaldavad kunstlikke takistusi, on see soojuse eristumine, kui eesmärk, kasulik.

Tähendatud aparadid kujutavad enesest metall-esemeid, millesse on asetatud isoleeritud takistused traatspiraalide kujul. Voolu läbijooksul need takistused kuumenevad ja annavad vajalikku soojust.

Näited. 1) Kuupalju soojust eristub 20 min. jooksul ahela osas, mille takistus on 25 oomi ja mida läbib vool 3 A?

Vastus: $0,24 \times 25 \times 9 = 54$ gr. kal. 1 sekundis;

Seega 20 min. jooksul $54 \times 1200 = 64800$ gr. kalorit ehk 64,8 kgr. kalorit.

2) Kui suur peab olema elektriteemasina takistus, et ta suudaks 1,5 liitrit jääkülma vett keema panna 15 min. jooksul? Saadav elektripingeline on 220 v.

Vastus: Et 1,5 liitrit vett soojendada 100° C võrra, on vaja $1,5 \times 100 = 150$ kgr. kalorit soojust.

Selle soojuse peab meile teemasin andma 900 sek. jooksul. Kuna voolutegevus meil teadmata, siis Joule'i seaduse valemis voolu i asemele võtame võrdse väärtuse e/r (Oomi seaduse põhjal). Seega

$$Q = 0,24 \cdot r \cdot \frac{220}{r} \cdot \frac{220}{r} \cdot 900 \text{ ehk}$$

$$Q = \frac{0,24 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 900}{r}$$

Tähendab, takistus r peab olema nii suur, et kui meie korrutise $0,24 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 900$ jagame selle takistusega, siis peame saama 150.000 (gr. kalorit).

Kerge on nüüd välja arvutada, et otsitav $r =$ umbes 70 oomi.

§ 25. Elektri hõõglamp.

Soojuse eristumine elektrijuhedes tugevate voolude juures võib olla nii mõjuv, et juhe võib kuumeneda ja hakata isegi hõõguma. Viimast asjalugu kasutas **Edisson** oma hõõglambi leiutamisel, mis üldosade poolest püsib peagu muutmattult tänapäevani.

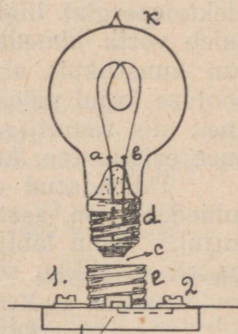
Hõõglambis on hõõguv juhe asetatud õhust tühjendatud **klaaspallongi**, kuna lahtises õhus hõõguv peenike juhe põleks otsekohe ära. Tähendatud pallongi on asetatud **hõõgniit**, mis elektrivoolu läbistumisel hakkab hõõguma. Hõõgniidi üks ots **a** (joon. 51) on ühendatud vaskplaadikesega **c** (n. n. **põhjakontakt**), kuna teine ots **b** on ühendatud elektripirni kruvikujulise **vaskkaelaga d**. Vaskkael ja põhjakontakt on omavahel isoleeritud portselaniga,

õhu väljapumpamine sünnib otsa **k** kaudu sellejärele, kui hõõgniit on pallongi asetatud. Uuemates lampides tühjaks-pumpamine sünnib lambipõhja kaudu.

Hõõgniidi omaduste poolest võib hõõglambid jaotada üldiselt kolme liiki:

1) **Söeniitlambid** on ajalooliselt esimesed ja iseloomulikud sellepoolest, et hõõgniit nendes on tehtud bambus-pilliroo söest, mis keeratud spiraali (joon. 51.) Lambid tarvitavad normaalsel põlemisel elektrivõimet umbes 3,5 watti ühe normaali valgusküünla kohta, mis praeguse aja nõuete kohaselt on väga kulukas.

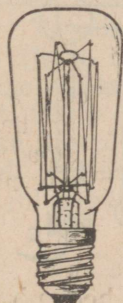
Sellevastu on need lambid vastu-pidavad põrutustele ja raputustele, mille tõttu nüüdki veel leivad tarvitamist näit. raudtee vagunites, laevades jne., eriti kus elektrienergia allikas on omast käest võtta ega nõua erilisi kulusid.



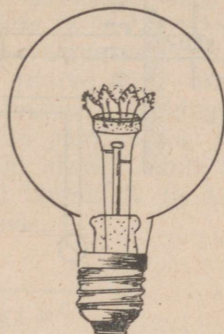
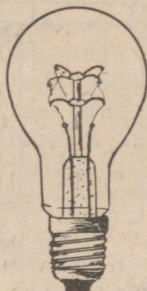
Joon. 51.

2) **Metallniit lambid**, — nendes lampides on hõõgniit tehtud metallist või teatud metallide segust (osmium, volfram, iriidium). Pikema valguspinna saavutamiseks on hõõgniit riputatud erilise klaaskronsteini varraste vahele (joon. 52).

Need lambid tarvitavad elektrivõimet umbes 1,1—1,2 watti ühe normaal valgusküünla kohta; seega on eelmistest märksa ökonoomsemad ja leiavad praktilises elus kõige suuremat levikut.



Joon. 52.



Joon. 53.

3) **Poolwatt- ehk miniwattlambid** tarvitavad elektrivõimet umbes 0,5 watti ühe normaal valgusküünla kohta. Nende hõõgniit kujutab võrdlemisi lühikest metallspiraali või loogakest (joon. 53) ja nende klaaspallongi on õige hõreda rõhumise all juhitud väike hulk põlemise suhtes inertset gaasi (lämmastik).

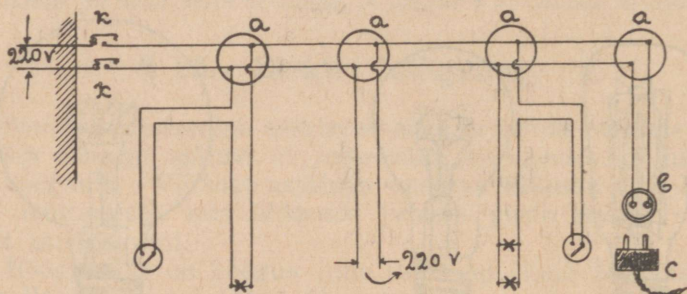
Lambid on võrdlemisi õrnad ja hinna poolest kallimad ning leiavad tarvitamist peamiselt õige suure valgusjõu (1000 küünlat ja enam) nõuete rahuldamisel.

Hõõglambi tööle rakendamiseks tuleb ta keerata n. n. **padrunisse** või **pesasse**. See kujutab enesest kruvikujulist vaskkarp **e** (joon. 51) ja sellest karbist portselaniga isoleeritud põhjakontakti **f**. Niihästi vaskkarp kui põhjakontakt on ühendatud omaette kruvidega **1** ja **2**, milledest üks on ühendatud valgustusvõrgu ühe juhega, teine kruvi — teise juhega.

Valgustusvõrk koosneb kaksiktraadist monteeritud vaskjuhestikust, mis ühendatakse elektri jaama pingele alla. Juhed on isoleeritud kummi ja puuvillaga (**litse**) ja monteeritakse seinale portselan-isolaatoritele. Viimastel aastatel on müügile ilmunud litse, mis asetatud tsinktorusse (Bergmanni, Kuulo

torud), nagu seda nõuavad omavalitsuste määrused. Seesugust toru saab nägematult monteerida seinakrohvi alla.

Harukarpides a, a (joon. 54) võetakse valgustusvõrku peajuhedele harud juurde, millesse ühendatakse hõõglampide padrunid ja pesad kontaktide 1. ja 2. kaudu (joon. 51) harilikult läbi **katkestaja**. Sagedasti on need katkestajad monteeritud padrunitesse (näit. rippuvates lampides, laualam-pides).



Joon. 54.

Valgustusvõrgu pinge juhtimiseks kantavatesse lampidesse, elektri-triikraudadesse, teemasinatesse j. n. e. monteeritakse seinale n. n. **hargipesad** (seinakontaktid) b, millised olles võrgupinge all ühendatakse volutarvitajaga **hargi** (stepsli) c ja painduva kaksikjuhe abil.

Kui nüüd valgustusvõrgu pinge all olevasse padrunisse keerata hõõglamp, kuni lambi põhjakontakt puutub kokku padruni põhjakontaktiga, siis tekib hõõgniidis elektrivool, mis panebki niidi hõõguma (kui katkestaja on sisse lülitud).

Igat hõõglampi iseloomustavad järgmised andmed: kõigepealt **elektripinge**, millele vastavalt lamp on konstrueeritud (näit. 220 v, 110 v, 65 v, 4 v j. n. e.) ja teiselt poolt **valgusjõud** (küünaltes), mille see lamp vastava pinge all annab (5, 10, 16, 25, 50, 75, 100 k. j. n. e.). Viimasel ajal küünlate arvu asemel märgitakse lambile enamasti selle poolt tarvitatav **elektrivõimsus**; näit. öeldakse: „25, 40 j. n. e. wattiline lamp“.

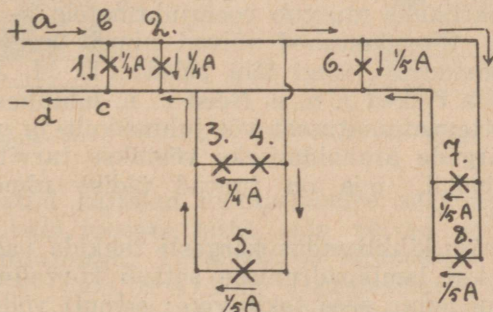
Võttes, näit. 220 voldilise metallhõõgniit lambi valgusjõuga 50 k, võime arvutada, kui suur on lambi takistus ja milline vool normaalse pinge juures lampi läbistab. Antud lamp tarvitab võimet $1,1 \times 50 = 55$ w; seega 220 v pinge all peab teda läbistava voolu tugevus olema $55 : 220 = 0,25$ A.

Hõõglambi takistus on seega $220 : 0,25 = 880$ oomi. Selge on, et väiksema valgusjõuga lamp kulutab vähem elektrivõimet ja tema takistus on suurem ning ümberpööratud.

Võttes endise valgusjõuga metall-hõõgniit lambi, s. o. 50 k., mis on konstrueeritud madalamale pingele, näit. 110 v, leiame, et lambi normaalse põlemise juures teda läbistav vool $J=55:110=0,50$ A, s. o. 2 korda tugevam kui 220 v. lambil. Lambitakistus on siin $220:0,5=440$ oomi, s. o. 2 korda väiksem kui 220 v. lambil.

Nüüd on selge, et kui 110 v. lambi lülime 220 v. valgustusvõrku, siis läbistab lampi elektrivool, mis on kaks korda tugevam lambile normaalselt ettenähtud voolust. Hõõgniit põleb kohe läbi, kuna ta on väga tundelik voolu tugevnemisele (isegi pingetõus 2—3% on juba silmaga märgatav). Lülime aga 220 v. lambi 110 v valgustusvõrku, siis läbistab lampi elektrivool, mis normaalsest 2 korda nõrgem; lamp üldse ei hõõgu või hõõgub vaevalt märgatavalt. Normaalseks põlemiseks tuleb seega hõõglamp lülida selle pingele alla, vastavalt millele ta on konstrueeritud.

Tavaliselt ühendatakse hõõglambid valgustusvõrku rööbiti (joon. 55), kuna selle ühendusviisi juures võib üksikuid lampe süüdata ja kustutada rippumata teistest. Muidugi võib näit. 220 v pingele alla lülida 110 v lambid paarikaupa järjeklikku (joon. 55 lambid 3 ja 4), kuna siin üksiku lambi kohta tuleb pingelangemist ikkagi 110 v; kuid lambid 3. ja 4. saab sel juhul süüdata ja kustutada ainult koos.



Joon. 55.

Kui üksikuid lampe hakata valgustusvõrku järjest sisse lülida, siis läheb võrgu üldine takistus seda väiksemaks, mida rohkem lampe on võrku lülitatud; ühtlasi tõuseb üldine voolutugevus.

Oletame näit., et joon. 55 kujutatud skeemil on tegemist metall-hõõgniit lampidega; sellejuures lambid 1. ja 2. on 50 k; 3. ja 4. à 25 k ja lambid 5, 6, 7 ja 8 à 40 k. Arvutame voolutugevuse magistraaljuhedes juhul, kui kõik lambid põlevad.

Üldine võimetarvidus on:	2 lampi à	1,1×50 w	s. o.	110 w
	2 „	1,1×25 w	„	55 w
	4 „	1,1×40 w	„	176 w
			Kokku	341 w

Juhul, kui kõik lambid põlevad, on magistraaljuhedes ab ja cd voolu tugevus

$$341 : 220 = 1,55 \text{ A.}$$

Sellejuures lambid 1. ja 2. tarvitavad kumbki $55 : 220 = 0,25$ A
 „ 5, 6, 7 ja 8 „ igaüks $44 : 220 = 0,2$ A
 Lampe 3 ja 4 läbistab ühine vooluharu $27,5 : 110 = 0,25$ A

Ülesanne: Kui palju läheb maksma valgustus ühes kuus, kui kõik need lambid põlevad päevas keskmiselt 6 tundi ja 1 Kw. t. energiat maksab 25 senti?

Vastus:

1 päevas energiakulu on $341 \times 6 = 2046$ w. tundi
 30 „ „ $2046 \times 30 = 61380$ w. tundi
 ehk 61,38 Kw. tundi, mis maksab
 $25 \times 61,38 = 15$ kr. 34,5 senti.

§ 26. Lühiühendus. Kaitsed.

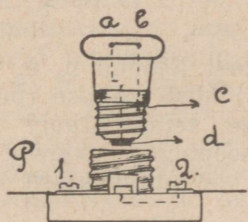
Kui E. M. J. allika poolusid või viimaste juurest tulevad ühendusjuhed saavad pinge all omavahel ühendatud uue juhega, mille takistus on praktiliselt null (näit. jäme vaskjuhe, metallplaat j. n. e.), siis juhul, kui E. M. J. allika sisetakistus on samuti õige väike, võib voolutugevus ahelas tõusta nii kõrgele, et ta ohtlikuks muutub voolujuhtmetele ja E. M. J. allikale enesele. Ühendusjuhed võivad nimelt kuumeneda lubamata temperatuurini, isegi läbi põleda; E. M. J. allika sees võivad tekkida rikked j. n. e. Need n. n. **lühiühendused** sünnivad sageli ettevaatamatusest või juhuslikult ja nende soovimata tagajärgede ärahoidmiseks võetakse tarvitusele mitmesugused abinõud, mis on tuntud üldise nimetuse all — „kaitsjad“.

Näit. võib lühiühendus kergesti tekkida valgustusvõrgus (joon. 54), kui lambipadrunitse sattub kõrvaline metallkeha või juhul, kui lambi sees tekib rike; samuti võib see juhtuda seinakontakt **b** juures kogemata või voolutarvitaja **c** rikke tõttu. Kuna E. M. J. allika (dünamo) sisetakistus on õige väike, siis tõuseb voolutugevus valgustusvõrgu juhedes nii suureks, et seinad ja tapeedid võivad tuld võtta. Õnnetuste ärahoidmiseks tarvitatakse siin erilisi kaitsjaid ehk n. n. „kaitsekorke“.

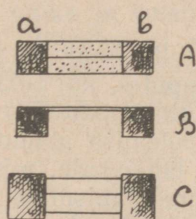
Kaitsekork kujutab enesest korgikujulist portselankeha (joon. 56), millesse on asetatud tina või hõbe traadike **ab**. Selle traadikese üks ots on ühendatud korgi vindikujulise vaskkaelaga **c** ja teine ots vask põhjakontaktiga **d**. Kork ühendatakse magistraali korgipesa **P** kaudu samuti, nagu sünnib hõõglambi ühendamine padruni kaudu.

Seesugused korgipesad monteeritakse näit. valgustusvõrku iga korteri sissekäigu juures kummagi magistraaljuhesse (joon. 54 — **k, k**). Juhul, kui korgid pole põhjani sissekeeratud, on korteri valgustusvõrk pinge alt lahutatud,

mis sagedasti on tarvilik igasugu monteerimis- ja parandustööde läbiviimiseks. Tahame valgustusvõrgu ühendada pinge alla, siis tuleb korgid põhjani pesadesse keerata, kuni põhjakontaktid kokku puutuvad. Peaks nüüd elektrivool juhuslikult tekkinud lühiühenduse tõttu tõusma üle lubatud piiri, siis sulab korgis traadike läbi ja automaatselt lahutab kogu võrgu pinge alt. Vastavalt volutarvitamisele on kaitsekorgid saadavad mitmesuguse tugevusega (1 A, 6 A, 10 A j. n. e.). Nende korkide abil kaitstakse läbipõlemise eest nimelt **ühendusjuhed**, kuna hõõglampidele lühiühendused pole kardetavad nende suure takistuse tõttu; ei saa ju pinge lühiühenduse juures kunagi tõusta kõrgemale sellest, mis ta oli ja mille alla olid lambid lülitud.



Joon. 56.



Joon. 57.

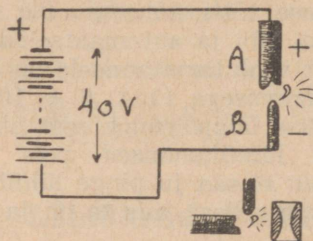
Tähendatud kaitsjad monteeritakse sagedasti ka seinakontakti kumbagi juhesse, kuna siin võivad eriti hõlpsasti tekkida lühiühendused. Tavaliselt on kaitsetraat siin monteeritud papitükile (joon. 57 A) kahe vaskplaadikese vahele, millised ahelasse sisselülitamiseks lukatakse vastavate vask-klambrite vahele.

Suuremate sisseseadete (elektrimootor, dünamo j. n. e.) kaitsjad omavad umbes sama kuju; tugevamate voolude juures on kaitsetraadid muidugi jämedamad ja pikemad või võetakse neid ühes kaitsjas mitu rööbiti (joon. 57 B ja C).

§ 27. Volta kaar. Elektri leeklamp.

Katse näitab, kui võtame ahela, milles tegutseb alaline E. M. J. vähemalt 40 v ja lülime ahelasse kaks söepulka A ja B (joon. 58) otsadega vastamisi, siis viies söepulgad peale ühendust uuesti eemale leiame, et söepulkade otsade vahel tekib pimestavalt hele leek ehk n. n. **Volta kaar**. Selle leegi moodustavad äärmiselt kõrge temperatuurini kuumaks aetud söeosakesed ja aurud. Söepulgad põlevad üsna kiirelt, nii et vahe

nende otsade vahel läheb järjest suuremaks ja Volta kaar pikemaks. Ühtlasi tõuseb ka Volta kaare takistus, senikui teatud piiri juures vool katkeb ja leek kustub.



Joon. 58.

Volta kaar on praktilist rakendust leidnud n. n. elektri leeklampides, kui tekib vajadus hästi jõulise valguse (proshektorid, kinoapparadid) või õige kõrge temperatuuri järele. Lambipõlemise alalhoidmiseks tuleb söepulgad pidevalt üksteisele lähendada, mis sünnib käsitsi või automaatselt eriliste elektrimehhanismide abil.

Mõõtmised näitavad, et Volta kaares positiivne süsi kuumeneb märksa kõrgema temperatuurini (umb. 3700°C) võrreldes negatiivse söega (umbes 2700°C). Selle järelduel põleb positiivne süsi ka umbes kaks korda kiiremini kui negatiivne, mille tõttu praktilises käsituses positiivne süsi tehakse kaks korda jämedam negatiivsest söest.

Põlemisel positiivse söe ots põleb õõnsaks, moodustades n. n. **kraateri**, kuna negatiivse söe ots põleb teravaks. Iseäranis heledalt hõõgub just kraater, nii et projektsioonlaternates ja proshektorites pööratakse positiivne süsi kraateriga ekraani või läätsade poole.

Volta kaar sünnib söede toitmisel ka vahelduva vooluga, mille juures söede temperatuurid ja põlemiskiirused on võrdsed; vahelduva voolu leeklampides võetakse söed selletõttu ka ühesuguse jämedusega.

§ 28. Termoelekter.

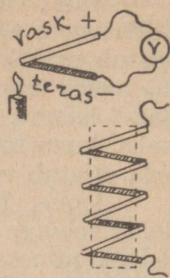
Võtame kaks isesugusest metallist tehtud varrast ja joodame nad otsapidi kokku (joon. 59). Kui nüüd jootmiskohta kuumendada või jahutada, siis tekib metallvardades E. M. J., mis sünnitab ühel lahtisel otsal elektroonide kuhjumise (s. t. negatiivse potentsiaali) ja teisel otsal vastava elektroonide hõ-

renduse (s. t. võrdse positiivse potentsiaali). Jahutamise juures kujunevad poolused vastupidi. Näit. teras- ja vaskvarre ühendamisel tekib jootmiskoha kuumenemisel vaskvarre lahtisel otsal plus-poolus ja teraspulgale miinus-poolus; kuna jootmiskoha jahutamisel kujunevad poolused ümberpöörduvalt.

Näeme, et kokkujoodetud metallpaari ehk n.-n. **termoelemendi** pooluste vahel tekib jootmiskoha temperatuuri muutmise ajal pidev pingevahe, mis on seda suurem, mida kõrgem või madalam jootmiskoha temperatuur võrreldes otsade temperatuuriga.

Kirjeldatud E. M. J., mis on tuntud üldise nimetuse all — **termoelekter**, on oma väärtuselt väga väike ja tuleb avalikuks vaid tundelikkude mõõtriistade abil. Võrdlemisi suurem on see E. M. J. raua ja konstantaani vahel (annab 0,000053 v jootmiskoha temperatuuri muutmisel 1°C võrra), millist paari tarvitataksegi termoelementides. Suurema pinge saamiseks ühendatakse termoelemendid järjestikku patareidesse (joon. 59). Jootmiskohtade temperatuuri muutmisel hakkab termopatarei tööle ja võib anda alalist voolu, kui poolused ühendame omavahel mingisuguse juhega.

Termoelemente tarvitatakse õige väikeste temperatuurivahede mõõtmiseks ühenduses peegel galvanomeetriga (§ 39). Teiselt poolt tarvitatakse neid elemente õige kõrgete temperatuuride mõõtmiseks, võttes paarid raskelt sulavatest metallidest ja hinnates temperatuure saadud elektripingete järele.



Joon. 59.

III OSA.

ELEKTROLÜÜS.

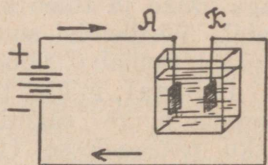
§29. Soola ja hapetusulatiste laotamine elektrivooluga.

Joonide teooria.

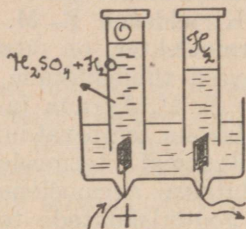
Juhtides alalise elektrivoolu soola- ja hapetusulatisest läbi (joon. 60), võime tähelepanna, et voolu läbijooksu ajal vedelik hakkab keemiliselt lagunema ja nii, et E. M. J. allika miinus-poolusiga ühendatud elektroodil (**katoodil**) eristub alati metall (kui tegemist on soolaga) või **vesinik** (kui tegemist on happega). E. M. J. allika plus-poolusiga ühendatud elektroodil (**anoodil**) eristub lahu moleekuli ülejäänud osa, peamiselt hapnik.

Näit., võttes vasevitriooli (CuSO_4) lahu leiame, et alalise elektrivoolu all eristub katoodil puhas vask (Cu), kuna anoodil eristub mullikestena hapnik (osake SO_3 ühineb otsekohe vee-ga, andes uue väevlihape moleekuli). Võttes anoodiks vask-plaadi leiame, et voolu läbijooksul jääb see plaat kaalult kerge-maks, kuna temast läheb üle vedelikku niipalju vaske, kuipalju seda eristub vedelikust katoodile.

Soola-, happe- ja leelislahude laotamiseptsessi alalise elektrivooluga nimetatakse **elektrolüüsiks**. Laotamisel olev vedelik nimetatakse **elektrolüüdiks**; elektrodidel eristuvaid moleekuli osakesi **ioonideks**, anoodil eristuvat osa **aniooniks**, katoodil eristuvat osa — **kationiks**.



Joon. 60.



Joon. 61.

Võttes elektrolüüdiks lahja väevlihape (H_2SO_4) lahu ja juhtides sellest läbi alalise elektrivoolu leiame, et vesinik (H_2) eristub katoodil (joon. 61), kuna hapnik (O) eristub anoodil. Vesinikugaasi eristub sellejuures ajaühikus kaks korda rohkem kui hapnikku. Paistvalt sünnib siin vee (H_2O) lagunemine, tegelikult siiski väevlihape (H_2SO_4) lagunemine, milline oma tagajärjena annab elektrodidel vee moleekuli osad H_2 ja O , kuna osake SO_3 pöördub tagasi elektrolüüti, ühinedes siin vee moleekuliga ja andes lagunenu väevlihape moleekuli asemel uue samasuguse moleekuli. Happelahu läheb muidugi aja-jooksul kangemaks.

Clausius'e ja Arrenius'e n. n. **ioonide teooria** kohaselt seletatakse elektrolüüsi nähet sellega, et igas vedelikus elektrivoolu läbijooksu ajal osa moleekule laguneb kahte ossa ehk n. n. kaheks **iooniks**, millistest üks kannab teatud negatiivset laengut, s. t. sellele ioonile kuhjub teatud hulk vabu elekt-roone; teine ioon kannab samal ajal võrdset positiivset laengut. Näit. vasevitriooli moleekulid annavad negatiivselt laetud iooni ($-\text{SO}_4$) ja positiivselt laetud iooni ($+\text{Cu}$); väevlihape annab negatiivse iooni ($-\text{SO}_4$) ja positiivse iooni ($+\text{H}_2$).

Elektrivoolu ahelas hakkavad ioonid vastamisi liikuma: negatiivsed anoodi poole ja positiivsed katoodi poole. Omal

liikumisel vedelikus ioonid põrkuvad kokku, osalt vastastikku teineteist neutraliseerides; samal ajal uued moleekulid kokkupõrgetel endiste ionidega lagunevad uuteks ionideks. Osa ioone jõuab elektroodideni ja annab siin omad elektrilaengud ära, eristudes elektroodil neutraalse moleekulina. Vedelikus aga samal ajal sünnib alatasa uusi ioone juurde.

Faraday leidis, et elektrolüüsi kestvusel elektroodidel eristunud ainete hulgad on võrdelised voolutugevusega ja elektrolüüsi kestvusega. Sellejuures sama vool sama ajaga eristab elektroodil alati sama hulga sama ainet, vaatamata millise koosseisuga on elektrolüüt. Nii eristab 1 amp. vool 1 sek. jooksul alati 1,118 mgr hõbedat; 0,329 mgr vaske; 0,01 mgr. vesinikku j. n. e. Need arvud on ainete n. n. **elektroķemilised ekvivalendid**.

Näide. Kui palju vaske eristub katoodile vasevitriolist 3 tunniga, kui hoida voolutugevus kogu aeg 6 amp.?

Vastus: $0,329 \times 6 \times 3 \times 60 \times 60 = 21,32$ grammi.

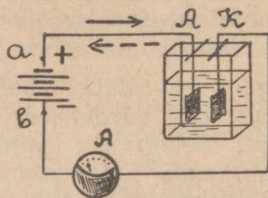
Elektrolüüsi abil on võimalik metallasju katta teise metalli kihiga, näit. kullata, hõbetada, nikeldada j. n. e. Sellejuures tuleb võtta elektrolüüdiks vastava metalli soolalahu ja anoodiks asetada samast metallist plaadi. Kui nüüd seesuguses kulla-, hõbeda-, nikli j. n. e. **vannis** võtta katoodiks hästi puhastatud esemed, mida soovitakse metallkihiga katta ja kui lasta õiges suunas vedelikust läbi alaline elektrivool, siis kattub ese puhta metallkihiga ja seda paksemalt, mida kestmam on elektrolüüs. Isegi elektrit mittejuhtivaid kehasid võib katta elektrolüüsi teel metalliga, kui need kehad pintslil abil grafiitpulbriga läikivateks hõõruda ja seega pinnalt juhtivaks teha. Püsivama kihi saamiseks ei tohi voolutugevus tõusta üle teatud piiri. Kehade metallkihiga katmist elektrivoolu abil nimetatakse **galvanoplastikaks**.

§ 30. Polariseerimise vool.

Kui alalise voolu ahelasse lülime plaatina elektrodidega varustatud elektrolüüdi, näit. lahja väevlihape lahu, — siis sünnib lahu elektrolüüs ja elektroodidel hakkavad eristuma gaasid. Kui nüüd teatud aja järele kõrvaldame E. M. J. allikas ja ühendame juhede vabaks jäänud otsad a ja b (joon. 62) omavahel, siis tekib ahelas lühikese kestvusega alaline vool **vastupidises suunas**. Uueks E. M. J. allikaks esineb viimasel juhul nähtavasti elektrolüüsi aparat ise.

Saadud uus E. M. J. nimetatakse **polariseerimise E. M. J.**;

ta kestab voolu juures, nagu öeldud, vaid lühikest aega. Selle E. M. J. uuendamiseks on vaja aparadist uuesti teatud ajaks läbi lasta esimeses suunas alaline vool.



Joon. 62.

Eriti kestav polarisatsiooni E. M. J. tekib, kui asetame väevlihape lahuses seatina elektrodid.

Polarisatsioonivoolu tekkimise põhjuseks tuleb lugeda vesiniku ja hapniku kogunemist elektrodidele, milline nähe nimetatakse **polariseerumiseks**. Sellejuures elektrodid nähtavasti saavad elektriseeritud teatava võrdse, kuid vastupidise potentsiaalini. Eriti kestav on see elektriseerumine elektrodidel, mis keemiliselt hästi reageerivad elektrolüüdiga.

Galvani elementides voolu läbijooksul tekib samuti elektrolüüs ja hakkavad eristuma elektrodidel gaasid (H_2 ja O_2), andes, nagu nüüd selgub, elemendi enese E. M. J. kõrval teise, vastupidise n. n. polarisatsiooni E. M. J., mis esimese tegevust halvab (§ 17).

§ 31. Tina akkumulaator.

See on alalise E. M. J. allikas, mis töötab polarisatsiooni nähe alusel, s. t. E. M. J. saamiseks on vaja nimetatud aparadist läbilasta alatist elektrivoolu („laadimine“); sellejuures tekkiva polarisatsiooni järelalusena sünnib akkumulaatoris püsiv (vastupidine) E. M. J. Viimast võime soovikorral kasutada alalise elektrivoolu saamiseks („lahendus“).

Akkumulaatori osadest tuleb nimetada kõigepealt **plaat** (joon. 63). Neid on igas akkumulaatoris kahte seltsi — **negatiivseid** ja **positiivseid**. Plaadid kujutavad enestest seatinast valatud sõrestikutaolisi raame, millede ruudud või „kärjed“ on täidetud n. n. **aktiivmassiga**. See aktiivmass sisaldab peamiselt seatina mitmesuguseid oksüüde (menning ja teised) ja omab erilise koosseisu positiivsetel ja negatiivsetel plaatidel. Aktiivmassi täpne koosseis on tavaliselt valmistaja tööstuse saladus.

Akkumulaatori võimsuse suurendamiseks võetakse ühe plaadi asemel tavaliselt mitu positiivset ja negatiivset plaati, kokkujootes ühenimelised plaadid omavahel tinaga. Samal ajal positiivsed plaadid hästi isoleeritakse negatiivsetest klaasribadega, eboniitpulkadega või perforeeritud tselluloid-lehtedega.

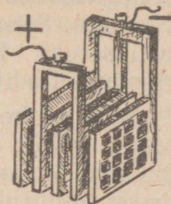
Negatiivseid plaate on tavaliselt ühe võrra rohkem, kui positiivseid, millised asuvad sel juhul esimeste vahel. Sage-dasti võib positiivseid plaate ära tunda, kuna nad on negatiivsetest paksemad. Akkumulaatori tarvitamisega muutub positiivsete plaatide värv pruuniks, kuna negatiivsed plaadid jäävad muutumatult terashalliks. Üldiselt on igal akkumulaatoril positiivsete plaatide väline klemm märgitud „+“ ja värvitud punaseks, kuna negatiivsete plaatide klemm on märgitud „—“ ja on värvitud mustaks.

Plaadid on asetatud purki, mis tehakse tavaliselt klaasist, kuid sagedasti ka eboniidist ja tselluloidist. Purgipõhja poolt isoleerimiseks on plaadid tõstetud erilistele ribidele, et plaatidelt ajajooksul pudenev mass saaks põhja koguneda, tekitamata sellejuures positiivsete ja negatiivsete plaatide lühihendust pudenenud puru kaudu.

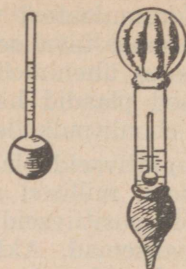
Elektrolüüdiks tina akkumulaatoris on destilleeritud veega lahustatud väävlihape (n. n. „akkumulaatori hape“). Akkumulaatori korraliku töö ja hoolekande seisukohast on tarvilik, et hapelahu oleks võetud kindlas kanguses, mida mõõdetakse eriliste areomeetritega (joon. 64) n. n. Baumé kraadides. Vahekord Baumé kraadide ja happe erikaalu vahel selgub järgmisest tabelist:

Erikaal	Baumé	Erikaal	Baumé	Erikaal	Baumé	Erikaal	Baumé
1,000	0°	1,066	9°	1,141	18°	1,228	27°
1,006	1°	1,074	10°	1,150	19°	1,239	28°
1,014	2°	1,082	11°	1,160	20°	1,250	29°
1,021	3°	1,090	12°	1,169	21°	1,260	30°
1,028	4°	1,098	13°	1,178	22°	1,271	31°
1,035	5°	1,109	14°	1,188	23°	1,283	32°
1,043	6°	1,115	15°	1,198	24°	1,294	33°
1,050	7°	1,124	16°	1,208	25°	1,306	34°
1,058	8°	1,132	17°	1,218	26°	1,318	35°

Tina akkumulaatoris peab hapetihedus laadimise lõpul olema 32—34° Baumé järele ja lahenduse lõpul 20—22°. On hape lahja, siis tuleb lisada kangemat hapet juurde; on aga hape liig kange, tuleb ta lahjendada destilleeritud veega, kuni paras kangus häes. Kontsentreeritud väävlihape lahustamisel



Joon. 63.



Joon. 64.

tuleb paraja segu saamiseks alati hape valada destilleeritud vee sisse ja mitte kunagi ümberpöörduvalt, kuna viimasel juhul liig energilise reaktsiooni tõttu võib kange hape laiali paiskuda ning sattuda silma, nahale või riietele ja neid vigastada.

Tina akkumulaatoris peab elektrolüüti sees olema alati niipalju, et plaadid oleksid üleni kaetud.

Pealtpoolt on akkumulaator suletud kaanega, mis ülevalatud pigiga. Kaanel on ava, mille kaudu saab vedelikku välja ja sisse valada. Ava on kaetud korgiga, mis varustatud omakorda väikese n. n. „hingamise avaga“. Selle ava kaudu pääsevad akkumulaatorist välja lahenduse juures tekkivad gaasid, kuna vastasel korral sünnitaksid nad akkumulaatori sees rõhumise, mis võib plaate rikkuda. Kaanel asuvad veel positiivne ja negatiivne klemm.

Akkumulaatori töökorda seadmiseks tuleb teda alalise vooluga kõigepealt laadida. Selleks tuleb ahelasse lülida alalise E. M. J. allikas E (joon. 65) ja akkumulaator nii, et viimase miinus-klemm oleks ühendatud E. M. J. allika miinus-poolusega ja plus-klemm allika plus-poolusega.

Iga akkumulaatori kohta on olemas ligikaudne piir, üle mille laadiva elektrivoolu tugevus ei tohi tõusta, kuna see mõjub väga halvasti plaatidele — aktiivne mass hakkab pudenema. Harilikult märgitakse akkumulaatori purgile juba valmistaja tööstuse poolt, milline võib olla tugevaim laadimisvool. Juhul, kui seda märgitud pole, võib üldise reeglina võtta, et mõõtes üksiku plaadi pinna ühest küljest ruut-detsimeetrites, ei tohi lubada iga ruut-detsimeetri kohta laadivat voolu üle 0,5—0,75 amperi¹⁾.

E. M. J. allika poolt antav pinge võib olla võrdlemisi kõrge; teiselt poolt on aga teada, et akkumulaatori sisetakis-

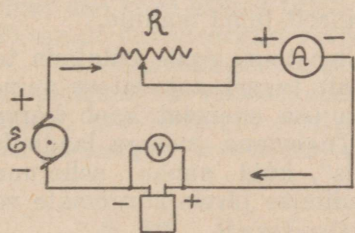
¹⁾ Tavaliselt on maksimaalne lubatud voolutugevus $\frac{1}{10}$ akkumulaatori mahtuvusest. Näit. 50 AT akkum. lubatud laadimisvool on 5 amp.

tus on väga väike, mille tõttu tuleb laadimisskeemi lülida voolu reguleerimise otstarbeks **reostaat R**. Voolutugevuse kontrollimiseks lülime ahelasse veel ampermeeter **A**.

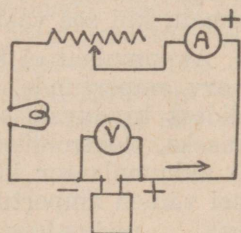
Laadimise ajal hakkab akkumulaatori pinge pikkamööda tõusma nullist üle 2,0 volti kuni 2,5—2,7 voldini, mida näitab voltmeeter **V**. Üle viimase piiri pinge kunagi ei tõuse ja laadiva voolu energia hakkab lõpuks tervelt kuluma elektrolüüdi laotamisele, mis väljub gaaside energilises eraldumises („aku keeb“). Nüüd tuleb akkumulaatori laadimine lõpetada, lahutades ta ahelast. Hapetihedus laadimise protsessi kestvusel tõuseb aegamööda kuni 32—34° Baumé järele.

On akkumulaator laadiva voolu alt lahutatud, siis langeb ta pinge otsekohe 2,2—2,0 voldini ja seesugusena võib teda E. M. J. allikana omakorda tarvitada; teiste sõnadega, võib teda hakata **lahendama**.

Joon. 65 näidatud laadimise skeemi on lülitatud vaid üks akkumulaator. Kuid tegelikult võib neid laadimiseks ahelasse ühendada mitu tükki järjestikku, millejuures tuleb arvestada kogu patarei pingega. Näit. annab E. M. J. allikas pinget 100 volti, siis võib sellega laadida $100:2,7=37$ akkumulaatorit. Soovides laadimise voolu hoida endises väärtuses, peame aegajalt reostaat **R** osa kaupa väljalülima, kuna allika E. M. J.-le hakkab vastu töötama akkumulaatorites tõusev pinge, mille järelduel vool langeb.



Joon. 65.



Joon. 66.

Akkumulaatori pinge ei olene akkumulaatori suurusest, nii et kõrgema pinge saamiseks tuleb nad ühendada **järjestikku**. Seesuguselt ühendatud akkumulaatorid ilmuvad müügile, näit. 4-, 6-, 12- jne. voldilise akkumulaatori nime all.

Järjestikku ühenduse kõrval võib akkumulaatoreid omavahel ühendada patareidesse veel **rööbiti** ja segaühenduse viisil, nagu see sünnib Galvani elementidega (§ 18).

Hakkame meie akkumulaatorit **lahendama**, s. t. lülime ta suletud ahelasse (joon. 66), siis hakkab akkumulaatori pin-

ge pikkamööda langema: esmalt võrdlemisi kiirelt kuni 2,0—1,9 v; siis püsib pikemat aega 1,9—1,8 v ja sellejärele kiirelt langeb nullini. Hapetihedus lahendusel langeb kuni 20—22° Baumé järele.

Mida tugevama vooluga meie akkumulaatorit lahendame, seda kiiremini langeb ta pinge nullini; uueks kasutamiseks tuleb akkumulaator uuesti laadida. Hoolekande mõttes ei tohi akkumulaatorit lahendada tugevama vooluga, kui see on lubatud laadimise juures. Tina akkumulaatorit on tarvis uuesti laadida õieti juba siis, kui ta pinge on langenud ühe elemendi kohta kuni 1,8 volti. Eriti ohtlik akkumulaatorile on lühiühendus, kuna ta sisetakistus on õige väike. Lühiühenduse tagajärjel kisivad plaadid kaardu, puutuvad kokku, aktiivmass pudeneb j. n. e.

Akkumulaatori töövõimet hinnatakse tema **mahuga**, millist mõõdetakse **ampertundidega (AT)**. Näit., räägitakse, et akkumulaatori maht on 24 AT, 40 AT jne. See arv näitab, mitme tunni kestvusel võime meie ühe või teise tugevusega voolu võtta, senikui pinge on langenud lubatud piirini. Tähen- datud elektrimaht on leeb plaatide **suurusest ja arvust**.

Nii, akkumulaatorilt mahuga 24 AT võib võtta voolu 1 A 24 tunni jooksul, 2 A voolu 12 tundi jooksul, 3 A voolu 8 tunni jooksul j. n. e. See arvestus on ligikaudne, kuna tegelikult tugevamate voolude juures laheneb akkumulaator veidi kiiremalt, kui see vastaks teoreetiliselt tema mahule.

Akkumulaatori laadimisel tuleb tema peale kulutada teatud arv ampertunde, mis on temalt tagasi antavatest ampertundidest tunduvalt suurem, kuna osa energiat kaob kõrvale soojuseks, elektrolüüsiks j. n. e. Tugevama vooluga laadimisel saab akkumulaator kiiremini „täis“, kuid annab sellejuures tagasi vähem ampertunde, kui laadimise järele nõrgemate vooludega.

Vahekord saadavate ja kulutatud ampertundide vahel nimetatakse akkumulaatori **kasuteguriks** ja mõõdetakse %-des, millised kõiguvad 90—85% vahel. Seega, 24 AT akkumulaatori laadimiseks peame tema peale ära kulutama 24:0,9 s. o. umbes 26—27 AT.

Tina akkumulaator on võrdlemisi õrn aparat, sellepärast tuleb temaga hoolikalt talitada. Hoolekanne reeglitest tuleks märkida järgmised:

1) Ei tohi akkumulaatorit laadida ega lahendada tugevama vooluga, kui see temale ettenähtud. Liig tugevad voolud rikuvad plaate. Eriti tuleb hoiduda lühiühenduste eest.

2) Akkumulaator peab sisaldama niipalju elektrolüüti, et see üleni kataks plaate. Vastasel korral katmata osadel tekkib kivistumine (n. n. sulfateerumine), mis vähendab akkumulaatori mahtu.

2) Akkumulaatorit ei tohi hoida lahendatult happe all, vaid tuleb teda kohe üle laadida; vastasel korral tekib samuti plaatide sulfateerumine. Soovitav on akkumulaator ülelaadida, kui pinge on langenud elemendi kohta alla 1,8 v. Tuleb meeles pidada, et ka laaditud akkumulaator tegevuseta seistes kaotab ajajooksul oma pinge, nii et vähemalt üks kord ühe kuu või paari kuu kohta tuleb ta ikkagi üle laadida. Kui pole ettenäha akkumulaatori tarvitamist, tuleb hape välja valada, akkumulaator destilleeritud veega läbi pesta, ära kuivatada ja kuivalt lattu hoiule anda.

4) Hapetihedus peab vastama normidele, mis ettenähtud akkumulaatorile laaditud ja laadimata seisukorras. Tuleb meeles pidada, et liig madala temperatuuri juures (alla -15°) võib elektrolüüt jäätuda, mis on ohtlik plaatidele.

5) Laadimise ajal tuleb korgid kaantel ära võtta, et gaasid pääseksid vabalt välja. Samuti peavad puhtad olema hingamise avad. Suuremad akkumulaatori patareid tuleb hoida hästi ventileeritud ruumes. Tuleb ettevaatlik olla tulega, kuna akkumulaatoritest eristuv vesinik ja hapnik segunevad ruumis pauggaasiks.

6) Akkumulaatori hape peab olema selge ja puhas. Vähemalt üks kord aastas tuleb ta täiesti uuendada. Segada hapet võib ainult destilleeritud veega, äärmisel juhul keedetud veega.

7) Akkumulaator tuleb hoida põrutuste ja löökide eest. Kontaktklemmid tuleb hoida puhtad hapeniiskusest ja vase-roostest, mis klemmid (eriti positiivse) võib täiesti läbi süüa. Määrida kergelt tavoti või vaseliiniga.

§ 32. Raud-nikkel akkumulaator.

Selle akkumulaatori üldosad on üldiselt needsamad, mis eelmiselgi, kuid ainete koosseisu ja keemiliste protsesside poolest läheb see akkumulaator eelmisest põhjalikult lahku.

Positiivsete plaatide aktiivne mass koosneb nikkel-vesihapendist, millele juhtivuse otstarbeks on lisatud 20% grafiitpuru (Edisoni akkumulaator) või niklipuru. Aktiivne mass pressitakse perforeeritud (s. t. augukestega) terasplekist tehtud torukestesse, mis on nikeldatud. Torukesed on kinnitatud terasraami (joon. 67).

Negatiivsete plaatide aktiivne mass koosneb peene rauapuru ja rauahapendi segust, millele juhtivuse otstarbeks on

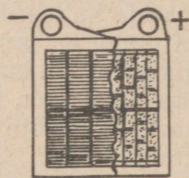
lisatud 10% elavhõbeda hapendit. Mass on samuti pressitud perforeeritud teras-plekk torukestesse, millised on nikeldatud nagu positiivsetegi plaatide juures. Torukesed on samuti kin- nitatud terasraami.

Positiivsed ja negatiivsed plaadid on üksteisest isoleeritud eboniitpulgakes- tega; ühenimelised plaadid on üksteisega ühendatud raudpoldiga. Elektrolüüdiks on destilleeritud veega lahustatud sööbekaali KOH (21%).

Akkumulaatori laadimise skeem on endine (joon. 65). Üksiku elemendi pinge laadiva voolu all tõuseb kuni 1,8 v, mis peale laadimist langeb kohe kuni 1,36— —1,40 v. Laadida tuleb akkumulaator normaalse temale ettenähtud vooluga.

Võrreldes tinaakkumulaatoriga on raudnikkel akkumu- laator kergem ja võtab vähem ruumi. Ta ei karda põrutusi, isegi lühiühendusi ega liig tugevaid voole; ei sisalda orgaani- lisi aineid söövat hapet. Akkumulaatorit võib hoida laadimata seisukorras vedeliku all; viimast võib purgi sees olla vaid osa- liselt, kuna siin pole karta plaatide sulfateerumist ega teist sarnast riket — raud-nikkel akkumulaatoris koondatud ained ei reageeri nimelt keemiliselt üksteisega üldse. Samal põhju- sel võib akkumulaatorit tarvitada niikaua, kuni ta pinge on langenud nullini.

Puudustest tuleb nimetada võrdlemisi madalat pinget üksikelemendis ja kõrget ostuhanda. Pealegi on raud-nikkel akkumulaatori kasutegur madalam (66—75%). Tegevuseta seisemisel tühjeneb ta iseenesest üsna kiiresti. Need akkumu- laatorid on eriti laialt tarvitusel auto- ja lennuasjanduses, tänu oma vastupidavusele ja lihtsamale hooldamisele. Võib arvata, et ajajooksul see tüüp tõrjub tarvitamises tina-akkumulaatori enese kõrvalt välja.



Joon. 67.

IV OSA.

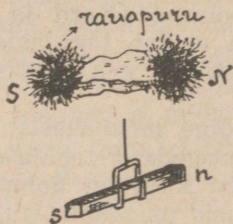
MAGNETISM.

§ 33. Magnetilise keha omadusi.

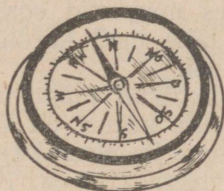
Looduses leidub sagedasti rauda, mis avaldab erilist oma- dust enese külge tõmmata teisi rauatükke ja rauapuru. Hõõ-

rudes seesuguse rauaga ehk n. n. loomuliku magnetiga teraspulka leiame, et viimane hakkab samuti külge tõmbama rauatükke ja rauapuru, muutudes seega kunstlikuks magnetiks. Magnetilisi omadusi raua kõrval avaldavad veel nikkel ja vähemal määral kobalt.

Omadus rauapuru enese külge tõmmata avaldub igas magnetis peamiselt kahes üksteise suhtes umbes vastupidi asuvas kohas ehk n. n. poolusis (nabas). Pooluste vahel leidub **neutraalriba**, kus magnet külgetõmbavat omadust ei avalda (joon. 68).



Joon. 68.



Joon. 69.

Kui asetame magnet raskuspunktiga teravikule või riputame ta niidile (magnetnõel), siis asetub magnet ühe poolusiga ehk n. n. **põhjapoolusiga** alati ligikaudu geograafilise põhja poole ning vastavalt teise ehk **lõunapoolusiga** seega lõuna poole. Olles sellest asendist väljatoodud, tuleb magnet peale mõningate kõikumiste endise asendisse tagasi. Viimane omadus võimaldab magneti kasutada ilmakaarte kindlaksmääramisel. Selleks asetatakse kunstlik magnet (magnetnõel) alusvardale ja varustatakse kraadidesse jaotatud skaalaga. Seesuguse skaalaga varustatud magnetnõel nimetatakse **kompassiks** (joon. 69).

Tuues ühele magnetnõelale ligi teine magnetnõel, leiame, et **ühenimelised poolusid tõukuvad, kuna isenimelised poolusid tõmbuvad**. See vastastikkune mõju tuleb avalikuks isegi siis, kui magnetide vahele asetame mõne mittemagnetilise keha. Tähendatud mõju on seda nõrgem, mida kaugemal asuvad üksteisest magnetid. Täpsemalt öeldes, on mehhaaniline mõju (tõukamine või tõrjumine) **võrdeline magnetide tugevusega ja pöördvõrdeline vahelise kaugusega teises astmes**, — n. n. Coulomb'i seadus (võrdle § 1).

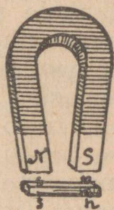
On teatud teras- või rauatükk magnetiseeritud, siis tuues tema lähedale magnetnõela leiame, et viimase **põhjapoolus** (punane) tõmbub esimese keha ühe otsa poole ja tõukub vastupidisest otsast eemale. Seega võime ütelda, et esimesel

korral oli tegemist magneti lõunapoolusiga, teisel korral põhjapoolusiga. Magnetnõela lõunapoolus (sinine) peaks end üleval magnetiseeritud keha pooluste suhtes vastupidi.

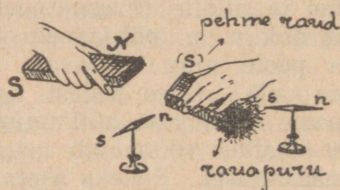
Võttes mittemagnetiseeritud raud- või teraskeha ja tuues selle lähedale magnetnõela leiame, et magnetnõel tõmbub raua külge (või ümberpöörduvalt — raud ja teras tõmbuvad magneti külge), kuid mõlema poolusiga täiesti ühesuguselt. Sel viisil on võimalik magnetnõela abil alati kindlaks teha, kas keha on magnetiseeritud või mitte.

Murdes või lõigates magnet pooleks, leiame, et mõlemad pooled muutuvad iseseisvateks, kuigi nõrgemateks magnetideks, omades igauks oma N ja S poolused (Nord ja Süd). Poolitades magnetid edasi saame ikka endise tagajärje; kunagi ei lähe meil korda saada magnetiosa, mis omaks vaid ühe poolusi.

Kunstlikud magnetid kannavad õige mitmekesist kuju. Magnetnõela kujust oli kõne eespool. Sagedasti tehakse magnetid pulga ja plaadikujulised. Tuntud kuju on hobuseraua sarnane magnet (joon. 70), mille poolused on paenutatud üksteise kõrvale. Nende pooluste külge käiv pehmest rauast plaat nimetatakse **ankruks**.



Joon. 70.



Joon. 71.

Magneti omadust ruumis alal hoida kindla asendi ilma-kaarte suhtes seletatakse sellega, et maakera on suur loomulik magnet, mille poolused asuvad ligikaudu geograafilise N ja S kohal. Arvesse võttes magnetpooluste vastastikku mõjude reeglit, nimetatakse geograafilise Nordi juures asuvat magnetpoolust maakera magnetiliseks Süd- ehk lõunapoolusiks ja ümberpöörduvalt, geograafilise Süd'i juures asuvat magnetpoolust — maakera magnetiliseks Nord- ehk põhjapoolusiks.

§ 34. Magnetiline induksioon.

On magneti NS (joon. 71) lähedusse paigutatud mittemagnetiseeritud raud- või teraskeha, siis näitab katse, et vii-

manè muutub ise magnetiks, s. t. hakkab külge tõmbama rauapuru jne. Sellejuures võib magnetnõelaga kindlaks teha, et antud magnetile ligitudud keha lähemal otsal tekib **vastunimeline** ja kaugemal otsal **ühenimeline** poolus. Tähendatud magnetiseerimine teise magneti mõjumise kaudu nimetatakse **magnetiliseks induksiooniks**.

On magnetile ligitudud mõni **pehmet rauast** keha, siis avaldab viimane magnetiomadusi vaid **mõjutava magneti läheduses**. Viime pehme raud magnetist eemale, siis kaotab ta otsekohe saadud magnetiomadused. **Teraskehas** sellevastu jääb magnetism teatud määrani, kuid kehtvalt, **püsima**. Seega on võimalik kunstlikke magnetite valmistada ainult terasest.

Magnetiline induksioon on **tugevam**, s. t. ligitudud kehas indutseerub jõulisem magnetism, mida tugevam on mõjutav magnet ja mida lähemal need kehad asuvad üksteisest.

Kuna juurdetoodud keha lähemal otsal indutseerunud vastunimelise poolusi ligitõmbamine on tugevam, kui kaugemal otsal samanimelise poolusi tõukamine, siis kaalub esimene jõud teise üle ja keha tõmbub magneti külge. Hobuseraua sarnase magneti ankrus indutseerub näit. N poolusi vastas s-poolus (joon. 70) ja teisel otsal samanimeline n-poolus; teiselt poolt, magneti S poolus omalt mõjult indutseerib ligemal otsal jällegi n-poolusi ja kaugemal otsal s-poolusi. Näeme, et mõlema poolusi induksioonid toetavad üksteist ja ankur tõmbub jõulisemalt magneti külge.

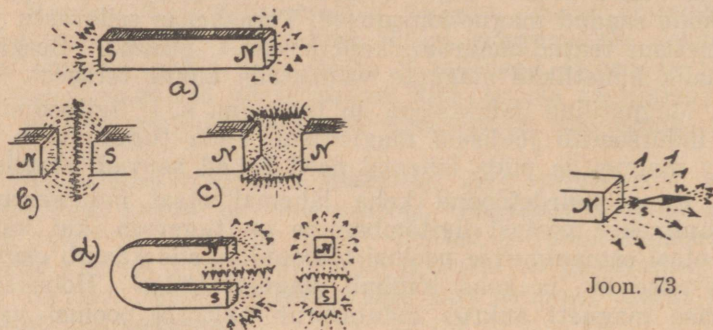
§ 35. Magnetväli ja tungjooned.

Ruumala, milles võib tähele panna antud magneti mõju (näit. magnetnõelale), nimetatakse selle magneti **magnetväljaks**. Magnetväli oma igas punktis omab kindla **suuna** ja **tugevuse**. Magnetvälja suun antud punktis määratakse selle järele, kuhu poole hakkaks liikuma selle punkti paigutatud elementaarne N-poolus. Magnetvälja tugevust antud punktis hinnatakse jõu järele, millisega mõjutatakse selle punkti asetatud eespool nimetatud elementaarset N-poolust. Selge on, et tähendatud mõju on tugevam magneti läheduses ja kiirelt nõrgeneb ühes kaugusega.

Piltlikuks kujutamiseks iseloomustatakse magnetväli graafiliselt n. n. **tungjoontega**. Punktides, kus magnetväli tugevam, võetakse neid tungjooni **tihedamalt**. Silmas pidades eespool antud magnetvälja suunamõistet, tuleb tungjoontele märkida suun, mis **väljub magneti N-poolusist ja tungib sisse S-poolusi kaudu** (joon. 72).

Magnetväli, mis igas punktis omab sama suuna ja sama tugevuse, nimetatakse **ühtlaseks magnetväljaks**. Seesugune magnetväli tekib näit. kahe suure hästi ligistikku toodud isenimelise magnetpoolusi vahel (joon. 72-b) keskmises osas. Ühtlane magnetväli on iseloomustatud paralleelsete, ühesuguse tihedusega võetud tungjoontega.

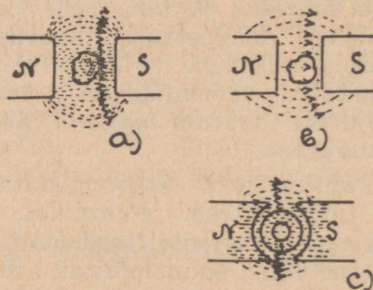
Kuna tungjooned **kunagi ei ristle**, siis omab magnetväli ühenimeliste pooluste vahel pildi, nagu see kujutatud joon. 72-c.



Joon. 73.

Joon. 72.

Magnetvälja paigutatud magnetnõel asetub tungjoonte suhtes nii, et tema enese tungjooned ühtuvad suuna poolest esimestega (joon. 73). Kui asetame magnetvälja mõne pehmest rauast keha, siis viimane koondab energiliselt enesesse senini laiemalt korraldunud tungjooned, tehes magnetvälja enese ümber mitu korda **tugevamaks** (joon. 74-a ja c). Mittemagnetilisest aineksest keha sellevastu ei avalda magnetvälja tungjoonte korraldusele mingit mõju (joon. 74-b).



Joon. 74.

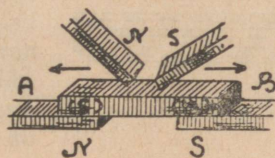
§ 36. Magnetiseerimine ja demagnetiseerimine.

Mittemagnetiseeritud keha saab magnetiseerida mitmel viisil.

1) Magnetiseerimine teise magnetiga hõõrumise teel. Võttes tugeva magneti, hakkame antud keha sellega hõõruda, kergelt lükates magnet järjest ühe kindla otsa poolt teise otsa poole, sellejärele magnet üles tõstes ja korrates endist liikumist. Hõõrutavas kehas indutseerub nüüd magnetism nii, nagu see näidatud joon. 75 (suludes). Mõjuvalt saab keha magnetiseerida joon. 76 näidatud skeemi järele. Keha AB hõõrutakse kahe tugeva magnetiga alates keskkohalt otsade poole, siis tõstes magnetid üles ja korrates eelmist liikumist. Samal ajal on otstarbekohane keha AB asetada otsadega kahe teise tugevale magnetile. Magnetide poolused on näidatud joonisel.



Joon. 75.



Joon. 76.

2) Magnetiseerimine induktsiooni teel. Nimetatud viis oli selgitatud eespool (§ 34) ja seisab selles, et magnetiseeritav keha asetatakse mõneks ajaks mõne tugeva magnetvälja sisse. Nii võivad näit. juhusliselt magnetiseeruda taskus asuvad terasasjad, kui asuda mõne vananenud tüüpi töötava dünamo lähedusse.

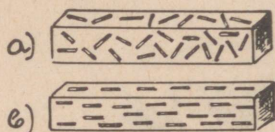
3) Magnetiseerimine alalise elektrivooluga. See meetod on praktiliselt kõige enam levinenud; ligemalt on nähe selgitatud allpool (§ 40).

Et magnet oma magnetismi ei kaotaks, tuleb teda hoida pörutuste ja löökide eest. Samuti võib magnetile halvasti mõjuda sattumine tugevate magnetväljade mõju alla, eriti kui nende mõjumise suun on vastupidine sellele, mis tarvilik magnetilise induktsiooni seisukohast vaadates.

Magneti kunstlik demagnetiseerimine sünnib kuumendamise ja koputamise teel. Samuti võib magneti demagnetiseerida vahelduva elektrivoolu abil.

§ 37. Molekulaar-magnetikeste teooria.

Magneti järjekindla poolitamise kaasa käivad nähted (§ 33) andsid Weber'ile aluse konstrueerida järgmise hüpoteesi magneti sisemise ehituse kohta. Tuleb nimelt oletada, et igas magnetilises kehas osa moleekuleid on iseenesest täielikud magnetid (n. n. **molekulaar-magnetid**), mis omavad igaüks oma N ja S poolusi. Magnetiseerimata seisukorras asuvad kõik need magnetikesed täiesti korratus asendis (joon 77-a). Kui nüüd vaadelda üksiku molekulaarmagneti mõju väljaspoole, näit. mõne elementaarse magnetnõelale, siis leidub alati teine molekulaarmagnet, mis esimese mõju neutraliseerib. Sellest tulebki, et kõikide molekulaarmagnetide kogu välist mõju üldse ei avalda.



Joon. 77.

Kuna molekulaarmagnetidel on omadus oma telgede ümber pöörleada, siis oletatakse, et magnetiseeritud kehas kõik need magnetikesed mõne välise mõju surve all korraltuvad nii, et nende N ja S poolused pöörduvad enam-vähem ühes kindlas suunas. Mida sirgem on see korraldus, seda tugevam on magnet.

Teraskehades peitub eriline n. n. **koertsitiivjõud**, mis kord korraldatud molekulaar magnetid püüab alal hoida nendele antud asendis ja moodustab seega alalise (permanent) magneti. Pehmes rauas puudub nimetatud koertsitiiv (sundiv) jõud üldse ja välise surve alt vabanenud molekulaar magnetid oma loomuliku liikuvuse tõttu kaotavad otsekohe nendele pealesunnitud „rivikorra“.

Kirjeldatud hüpoteesi põhjal teeme järgnevad **järeldused**, mis aitavad meile selgitada magnetilisi nähteid:

1. Magneti järjekindlal poolitamisel saame järjest uued, kuid täielikud magnetid; võimata on praktiliselt saada magnetiosa, mis omaks vaid ühe poolusi.

2. Magneti tugevus võib tõusta vaid kindla n. n. **küllastuspääriini**, millise saavutame, kui kõik magnetis asuvad molekulaar-magnetid korraltuvad rööbiti. Tugevama magneti saamiseks tuleb võtta suuremad magnet-raud.

3. Magneti kuumendamine ja põrutamine aitab magneti demagnetiseerida, kuna sellejuures sunnime magneti moleekulid kiiremini liikuma.

ELEKTROMAGNETISM.

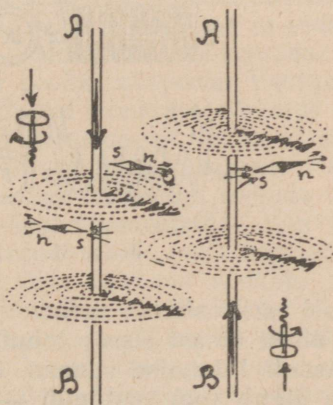
§ 38. Magnetväli elektrivoolu ümber. Solenoid.

Uurides ligemalt alalise elektrivooluga varustatud juhet AB, (joon. 78), leiame magnetnõela abil, et iga elektrivoolu ümber tekib magnetväli.

Näiteks, magnetnõelaga järelproovides vooluga varustatud juhe ümber olevat ruumala, leiame, et magnetnõel pöörduv oma teljega alati teatud kindlas suunas ja sellejuures voolujuhe suhtes alati kontsentriliste ringide mööda.

Siit teeme järelduse, et elektrivoolu ümber tekkiva magnetvälja tungjooned on kõik kontsentrilised ringid. Nende tungjoonte suuna saame kindlaks määrata n. n. korgitõmbaja reegli järele.

Nimelt kujutame ette harilikku (parempoolse) vindiga korgitõmbajat teljega elektrivoolu suunas; kui nüüd keerame korgitõmbajat nii, et see hakkab liikuma voolu suunas, siis keeramisesuund näitab meile tungjoonte suuna.



Joon. 78.



Joon. 79.

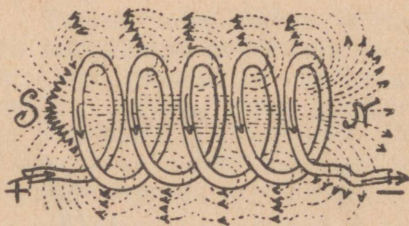
Antud voolutugevuse juures on magnetväli voolu ümber tugevam juhele lähemates punktides (tungringid on siin tihedamad) ja kiirelt nõrgeneb ühes kaugusega. Voolutugevuse tõstmisega läheb ka magnetväli igas punktis tugevamaks.

Kirjeldatud magnetväli tekib alati koos iga elektrivooluga selle iga punkti ümber.

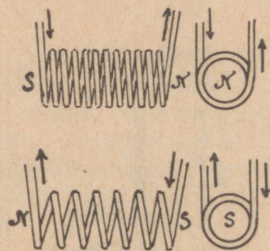
Magnetnõela asetust elektrivooluga varustatud juhe lähenduses saab kindlaks määrata veel järgmise reegli abil: kui asetame parema käe peopesa elektrijuhele nii, et see oleks pööratud magnetnõela poole ja hoiame sõrmed voolu suunas, siis kaldub nõela N poolus alati väljasirutatud pöidla suunas (joon. 79).

Sama voolutugevuse juures tugevama magnetvälja saamiseks tuleb voolujuhe keerata spiraalikuuliselt pooli. Seesugune pool nimetatakse solenoidiks.

Juhtides solenoidisse teatud suunas alalise voolu, kujutame ette solenoidi iga punkti ümber magnetvälja ringikujulisi tungjooi ja määrame kindlaks nende suun korgitõmbaja reegli abil (joon. 80). Selgub, et kõik need ringikujulised tungjooned liitudes annavad solenoidi sees- ja väljaspool üldise kinnise tungjoonte vihu, mis suundub solenoidi ühest otsast välja ja teisest sisse sarnaselt, nagu seda nägime permanent magneti juures. Tõepoolest, kui seesugune vooluga varustatud solenoid riputada raskuspunktiga niidile, siis pöörub ta ühe kindla otsaga N ja teise otsaga S poole, avaldades ühtlasi kõiki tavalise magneti omadusi.



Joon. 80.



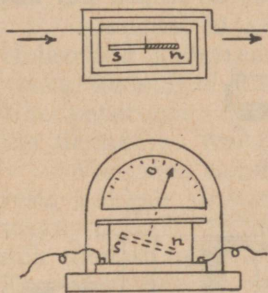
Joon. 81.

Solenoidi pooluste määramisel tuleb silmas pidada järgmist reeglit: vaatame solenoidi ühest otsast sisse; juhul, kui vool paistab meile jooksma kellaosuti liikumise suunas, tekib solenoidi ligemal otsal S poolus; liigub vool vastupidi — siis tekib ligemal otsal N poolus (joon. 81).

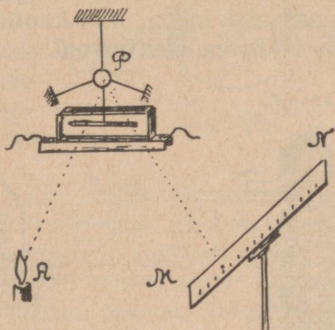
§ 39. Galvanoskoop. Galvanomeeter.

Eelmises § kirjeldatud vooluomaduse põhjal — avaldada mõju tema lähedusse asetatud magnetnõelale — on ehitatud erilised näiteabinõud ehk n. n. galvanoskoobid. Nende riistade

abil võib kindlaks teha, kas ahelas jookseb vool või mitte. See aparat koosneb solenoidist, milline siin nimetatakse **multiplikaatoriks** („voolu mõju suurendaja“) ja selle sisse asetatud horisontaal telje ümber pöörlevast magnetnõelast ns (joon. 82), mis on varustatud osutiga. On aparat varustatud skaalaga, siis nimetatakse ta **galvanomeetriks**. Normaalses asendis on nõel tasakaalus ja selle osut asub skaala keskkohas nullpunkti vastas.



Joon. 82.



Joon. 83.

Kui nüüd galvanomeeter lülime alalise voolu ahelasse, siis kaldub magnetnõel ühe poolusiga allapoole (joon. 82 näidatud juhul N poolusiga) ja seda enam, mida tugevam on elektrivool. Muudame voolusuuna ahelas, siis kaldub magnetnõela teine poolus allapoole. Vastavaid voolutugevusi ja voolusuuna muudatusi konstateerib osut skaalal. Juhul, kui skaala jaotused tähendavad ampere, saame n. n. **ampermeetri**, kuigi praktiliselt üsna ebatäpse.

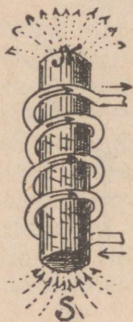
Õige nõrkade voolude äratundmiseks ehitatakse n. n. **peegelgalvanomeetrid**. Siin on multiplikaatori magnetnõel riputatud niidile, mis kannab enesel peeglikest P (joon. 83). Juba õige nõrkade voolude juures pöörduv magnetnõel ühes peeglikesega normaalasendist kõrvale. Kui nüüd valgusallikast A peegeldame P kaudu eemal asuvale skaalale MN valgustäpi, siis nihkub viimane omast algasendist kõrvale. Tundelise peegel-galvanomeetriga on võimalik ära tunda ja mõõta voolusid kuni 10^{-11} amperit.

§ 40. Elektromagnet.

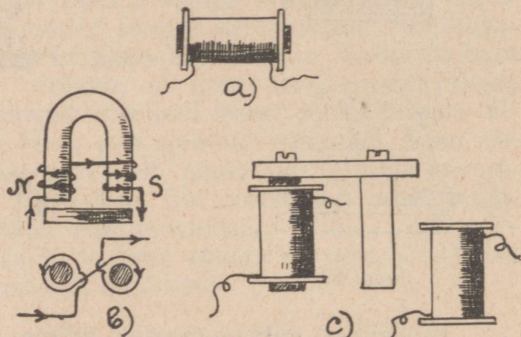
Võttes isoleeritud juhest keeratud solenoidi, võime elektrivoolu abil solenoidis saada eriti tugevat magnetvälja, kui asetame solenoidisse raudpulga (südamik). Pehmest rauast

südamikuga varustatud solenoid nimetatakse **elektromagnetiks**. Juhtides elektromagneti solenoidisse ehk tema **mähisesse** alalise elektrivoolu, muudame raudsüdamiku magnetiks, mille juures poolusid kujunevad § 38 lõpus antud reegli kohaselt (joon. 84). Paigutades solenoidisse teraseseme, muudame elektrivoolu abil viimane permanent magnetiks; sama tagajärje saame, kui teraseseme ümber kerime isoleeritud juhest mähise ja juhime viimasesse elektrivoolu.

Tavaline elektromagnet omab, nagu öeldud, pehmest rauast südamiku, mis kaotab oma magnetismi, niipea kui katkeb mähises elektrivool.



Joon. 84.



Joon. 85.

Elektromagnetid kannavad õige mitmesugust kuju. Joon. 85-a on näidatud sirge elektromagnet. Samal joonisel (b ja c) on näidatud hobuseraua kujuline elektromagnet. Viimane kannab oma kahel otsal kaks isoleeritud juhest keritud pooli. Need poolid tuleb järjestikku üksteisega nii ühendada, et alalise voolu läbistamisel elektromagneti otsast vaadates näeme voolu ühes poolis jooksvat kellaosuti liikumise suunas ja teises — sellele vastupidi.

Elektromagneti tugevus oleneb ühelt poolt sellest, kui palju keerde omavad ta poolid ja teiselt poolt, kui tugev vool neid poole läbistab; teiste sõnadega — oleneb, nagu räägitakse, **amperkeerdude** arvust (keerdude arv korrutatud voolutugevusega amperites). Amperkeerdude suurendamisega võime elektromagneti tugevust tõsta vaid tema **küllastuspiirini**. Jõudes tähendatud piirini jääb elektromagneti tugevus endiseks, olenemata keerdude arvu edaspidisest suurendamisest või voolutugevuse tõstmisest. Tugevama elektromagneti saamiseks peame võtma suuremad rauad.

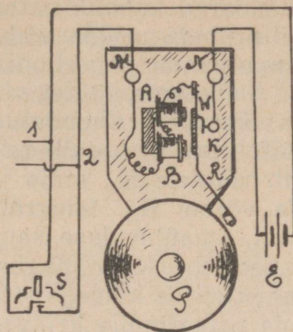
Elektromagnet leiab elektrotehnikas väga laia kasutamist. Toome siin mõned elektromagneti kasutamise juhused.

1) **Elektrikõlistaja.** See aparat koosneb hobuseraua kujulisest elektromagnetist **AB** (joon. 86), mille otsadele on paigutatud kaks isoleeritud juhest keritud ja järjestikku ühendatud pooli **A** ja **B**. Poolide üks ots on ühendatud klemmi **M** külge, poolide teine ots aga üle vedru **W** ja vedrukontakti **K** klemmiga **N**.

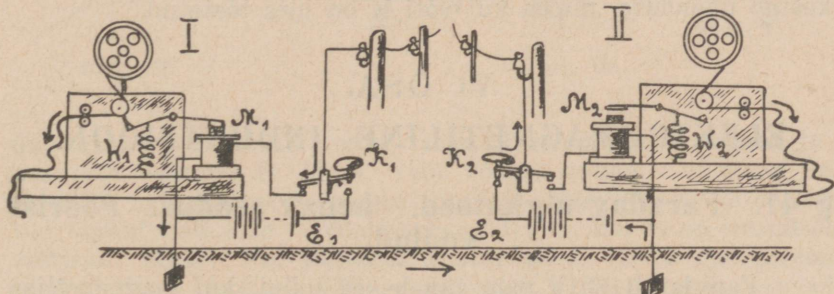
Klemmid **M** ja **N** ühendatakse isoleeritud kellatraadi kaudu järjestikku koostatud Leclanché elementide patareiga (harilikult 3—6 v) üle ühendaja nupu **S**.

Vaotades nupule **S**, suleme ahela, mille järeldusel patareist hakkab jooksma elektrivool, läbistades ühtlasi elektromagneti poole ja muutes selle südamik magnetiks. Südamik tõmbab enese külge ankru **R** ja katkestab ahela kontaktis **K**. Vool ahelas lõppeb, elektromagnet kaotab oma magnetismi ja ankur **R** surutakse vedru **W** abil uuesti kontakt **K** vastu. Tekib uuesti elektrivool, uus südamiku magnetiseerumine ja kõik eelmised nähted korduvad. Näeme, et senikui ahel on ühendaja nupus suletud, tekib ankru **vibreerumine**, mis varda kaudu tuuakse kellal **P** kuuldavale. Teisest ruumist kõlistamiseks tuleb näit. punktide 1. ja 2. vahele monterida paralleelselt teine ühendaja nupp.

2) **Morse' telegraf.** Selle aparadi idee selgub skeemilt, vt. joon. 87. Aparat üksikult võttes sisaldab eneses elektromagneti **M**; kangikujuline ankur kannab välisel otsal tindisule ja vooluta seisukorra juures asub elektromagneti südamikust eemal vedru **W** tõmbel. Elektromagnet on ühendatud ühelt poolt maaga, teiselt poolt **Morse võtme** ehk **manipulaatoriga** ja sellelt edasi telegrafiliiniga. Morse võtme teise harusse on



Joon. 86.

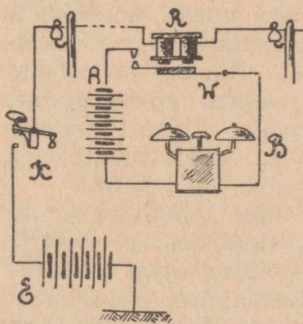


Joon. 87.

ühendatud kohalik patarei E. Tindisule otsa vastas asub rull, mille pinda mööda võib kellamehhanismi abil soovikorral libi-sema panna paberlindi.

Oletame, et tegemist on kahe kirjeldatud aparadiga, mis on omavahel ühendatud telegrafiliiniga. Oletame veel, et näit. jaam II soovib telegrafeerida jaamale I. Telegrafist surub võtmele K_2 , mille järeldusel tekib patareist E_2 elektrivool üle võtme K_2 , telegrafiliini, võtme K_1 , elektromagneti M_1 pooli, maaühenduse kaudu tagasi patareisse E_2 . See vool magnetiseerib elektromagneti M_1 südamikku ja viimane tõmbab ankru enese külge, vaotades ühtlasi tindisulega selle ees jooksvale paberlindile kriipsu või täpi olenevalt sellest, kas võti K_2 sai alla surutud pikalt või lühidalt. Kriipsude ja täppide kombinatsioonidest koostatud tähtedega (Morse tähestik) antakse üle telegrammi tekst.

Lõpetab jaam II oma töö, siis tõstab võtmevedru võtmepea K_2 uuesti üles ja lahutab liinist patarei E_2 . Nüüd on võimalus jaamal I oma patarei E_1 abil vastata ja omad telegrammid üle anda. Praktilised telegrafiskeemid on õige mitmekesised, kirjeldatud skeemist üldiselt täiuslikumad ja keerukamad.



Joon. 88.

3) Relee. Elektromagnet, mille ülesandeks on nõrga voolu abil oma ankruaga automaatselt sulgeda ja tegevusse panna kohalikud või eemal asuvad tugeva voolu ahelad, nimetatakse releeks.

Joon. 88 on näidatud releede R ühendusskeem, milles võtme K surumisega saame patarei E nõrga voolu abil sulgeda kõik eemal asuvad ahelad AB, mis sisaldavad oma kohaliku E. M. J. allika ja omavad tugevaid voole. Vedru W automaatselt kat-

kestab ühenduse, niipea kui võti K on üles tõstetud.

VI OSA.

ELEKTROMAGNETILINE INDUKTSIOON.

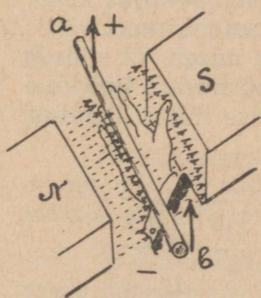
§ 41. Faraday algkatsed. Lenz'i seadus. Pöörivoolud.

Faraday (1831) pani tähele, et juhul, kui magnetväljas pannakse liikuma elektrijuhe, siis tekib selles juhes liikumise

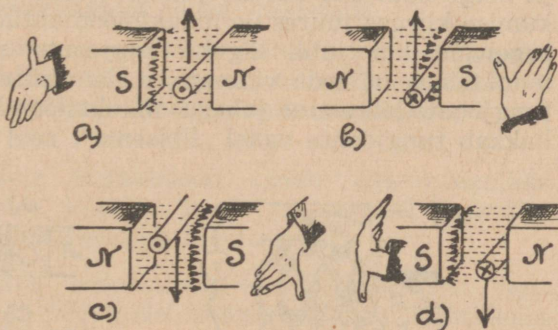
ajal E. M. J. Näit., võttes magnetvälja kahe pooluse N ja S vahel (joon. 89) ja sundides selles magnetväljas juhe ab liikuma alt ülespoole leiame, et liikumise ajal juhe üks ots elektriseerub negatiivselt (tekib vabade elektronide kuhjumine) ja teine ots positiivselt (vabade elektronide hõrendus) võrdse potentsiaalini. Ühendades juhe otsad a ja b tundeliku voltmeetri või peegel-galvanomeetriga, võime tähendada E. M. J. tekkimist tähele panna ja mõõta.

Lükates sama juhe ülevalt allapoole leiame, et E. M. J. juhes tekib võrreldes eelmisega vastupidises suunas. Jääb juhe seisma, siis lõpeb otsekohe ka E. M. J. Kirjeldatud E. M. J. tekkimine magnetväljas liikuvast juhest nimetatakse **elektromagnetiliseks induksiooniks**. Juhul, kui juhe ab otsad on omavahel ühendatud mingi takistusega, tekib selle juures moodustunud suletud ahelas induksiooni ajal elektrivool, mille suun on indutseerunud E. M. J. suunast ja mille tugevus on selle jõu väärtusest ja ahela üldtakistusest (Oomi seadus).

Indutseeritud E. M. J. suuna on kerge kindlaks määrata **Flemmingi n. n. parema käe reegli järele**. Selleks korraldame parema käe peopesa nii, et magnetvälja tungjooned paistaksid langema otsejoones peopesale (joon. 89) ja väljasirutatud põial



Joon. 89.



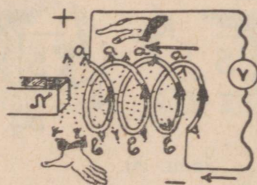
Joon. 90.

näitaks juhe liikumise suuna. Siis näitavad teised sõrmed juhes indutseeruva E. M. J. (või voolu) suuna. Viimane on joon. 90 näidatud noole peana (punkt) juhul, kui ta on suunitud tagantpoolt ette ja noole sabana (rist), kui ta on suunitud eestpoolt taha. Nii, juhustel a ja c tekib juhes plus-poolus eespool (vool jookseb välja); juhustel b ja d tekib eespool miinus-poolus (vool jookseb sisse).

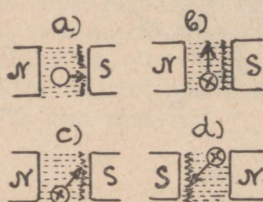
Katse näitab, et indutseerunud E. M. J. väärtus oleneb kolmest tegurist — **magnetvälja tugevusest** (tungjoonte tihedusest), **juheliikumise kiirusest** ja **juhe pikkusest**. Ühesuguse liikumisekiiruse ja sama juhe juures on indutseeruv E. M. J. seda suurem, mida **tugevamaks teeme magnetvälja** (võttes näit. permanent magneti asemel elektromagnet).

Samas magnetväljas ja sama juhe juures on indutseeruv E. M. J. seda suurem, mida **kiirem on liikumine**. Samas magnetväljas ja sama liikumisekiiruse juures on indutseeruv E. M. J. seda suurem, mida **pikem on juhe**, — võttes näit. üksiku juhe asemel pooli (joon. 91). Viimasel juhul sünnib E. M. J. igas poolikeerus ja kõik üksikud E. M. J. liitudes annavad siin üldise tugevama E. M. J. Joon. 91 näidatud liikumisel tekkiva E. M. J. suuna saame kergesti kindlaks määrata Flemmingi parema käe reegli abil; näit. punktides **a, a...**, kus tungjooned on suunitud alt ülespoole, indutseerub E. M. J. suunaga eest tahapoolle; punktides **b, b...**, kus tungjooned on suunitud ülevalt alla, indutseerub E. M. J. suunaga tagant ettepoole. Üldise E. M. J. suun poolis on näidatud nooltega.

Senini vaatlesime juhe liikumist **risti** tungjoonte suunale. Katse näitab, et pannes juhe liikuma **tungjoonte suunas**, ei saa **meie juhes mingit E. M. J.** isegi kõige tugevamas magnetväljas ja kõige suurema kiiruse juures (joon. 92-a). Ühesuguse liikumise kiiruse juures on induktsoon antud magnetväljas kõige tugevam, kui juhe liigub tungjoonte suunale täpselt risti; induktsoon on seda väiksem, mida väiksema nurga all sünnib **tungjoonte lõikumine juhega**; induktsoon kaob täiesti, kui juhe hakkab tungjoonte vahel „libisema“, neid üldse mitte lõigates.



Joon. 91.



Joon. 92.

Edasi näitab katse, et elektromagnetiline induktsoon tekib juhes ka siis, kui **juhe seisab paigal ja magnetväli liigub** nii, et sünnib tungjoonte lõikumine juhega. Nii joon. 90 näidatud juhustel **a ja c** tekiks juhes E. M. J. samas suunas, kui juhe seisaks paigal, kuid magnetid liiguksid esimesel juhul üle-

valt allapoole ja teisel juhul alt ülespoole. Samuti juhustel **b** ja **d** tekiks juhes E. M. J. endises suunas, kui magnetid liiguksid juhul **b** ülevalt allapoole ja juhul **d** — alt ülespoole. Et paigalseisva juhe, kuid liikuva magnetvälja juures kasutada indutseeruva E. M. J. suuna määramiseks Flemmingi parema käe reeglit, tuleb parema käe põial suunida **magnetvälja liikumisele vastu**. Joon. 91 näidatud juhul tekib poolis E. M. J. endises suunas, kui pool seisaks paigal ja magnet liiguks vaskult paremale.

Eespool kirjeldatud nähed kokkuvõttes võime öelda, et elektromagnetiline induksioon tekib juhes igakord, kui tegemist on magnetvälja **tungjoonte lõikumisega juhe abil**. Indutseeritud E. M. J. on sellejuures **võrdeline ajaühikus lõigatud tungjoonte arvuga**. Tähendatud arvu võime nähtavasti suurendada, võttes tugevama magnetvälja, pikema juhe, suurema kiiruse või lõigates tungjooni võimalikult rohkem risti. **Lenz** pani tähele, et indutseeritud voolud püüavad takistada juhe liikumist magnetväljas (n.-n. **Lenz'i seadus**). Näit. joon. 91 kujutatud juhul poolis indutseeruv vool moodustab oma erilise magnetvälja (§ 38 viimane lõik), mille **N** poolus asub magneti **N** poolusi vastas ja püüab loomulikult sellest eemalduda, s. o. takistada pooli tegelikku liikumist magneti poole. Pooli eemaldumisel indutseeruks magnetile ligemal otsal **S** poolus, mis püüaks tähendatud eemaldumist jällegi takistada.

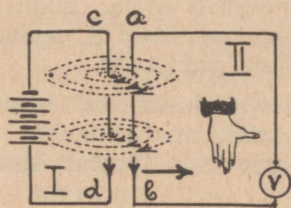
Selge on, et elektromagnetilise induksiooni saamiseks peame kulutama mehhaanilist energiat, mis siinkohas transformeerub elektrienergiaks. Energia kulu tõestab ka **Lenz'i seadus**.

Elektromagnetiline induksioon omab elektrotehnikas määratu suure tähtsuse, kuna ta leiab igal sammul praktilist rakendust, esijärgus elektrimasinate ehitamisel.

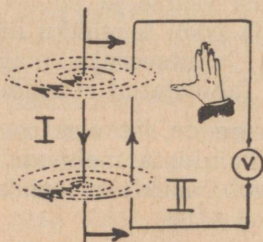
Elektromagnetiline induksioon tekib praktiliselt igas metallkehas, mis liigub või tiirleb magnetväljas. Metallkeha üksikud kihid lõikavad sellejuures tungjooni, mille järel dusel nendes kihtides indutseeruvad E. M. J.-d. Viimased leiavad metallkehas hõlpsasti suletud ringteid, andes seega sisemisi elektrivoole, mis on tuntud üldise nimetuse all — **Foucault**-(**Fukó**) ehk **pöörisvoolud**. Tähendatud voolude energia muutub kehas soojuseks ja keha temperatuur võib tõusta mõnikord õige kõrgele. Kuna pöörisvoolude suun on perpendikulaarne tungjoontele, siis nende voolude halvamiseks magnetväljas tiirlev keha koostatakse üksikutest omavahel paberi või lakiga **isoleeritud plekkviiludest**, eesmärgiga tõkestada pöörisvoolude käike.

§ 42. Elektromagnetilise induksiooni erikujud.

Eelmises § kirjeldatud elektromagnetilise induksiooni saamiseks vajalik magnetväli saadi permanent- või elektromagnetist. Kuid samaks otstarbeks võib kasutada ka elektrivoolu ümber tekkivat magnetvälja. Näit., oletame (joon. 93), et ahelas I jookseb alaline elektrivool; sel juhul ümbritseb ahela juhestikku teatud magnetväli (§ 38). Oletame veel, et selles magnetväljas asub teise ahela juhe **ab**, millega on ühendatud tundelik galvanomeeter. Kui nüüd juhe **ab** hakkab vooluga varustatud juhest **cd** eemalduma, siis sünnib tungjoonte lõikumine ja ahelas II indutseerub E. M. J. Määrates Flemingi parema käe reegli abil kindlaks indutseeritud E. M. J. suun leiame, et juhe **eemaldumisel** vooluga varustatud esimesest juhest **indutseerub teises juhes alati samasuunaline E. M. J.** (käesoleval juhul see E. M. J. annab ka voolu, kuna ahel II on kinnine). Samuti võime tähele panna, et juhe **lähendamisel** vooluga varustatud juhele indutseerub juhes **ab vastupidine E. M. J.** (ja elektrivool). Jääb juhe **ab** seisma, siis lõppeb ka induksioon ahelas II.



Joon. 93.



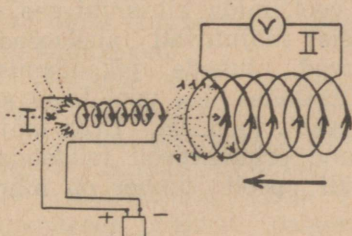
Joon. 94.

Sama tagajärje saame, kui hakkame vooluga varustatud juhet lähendada või eemaldama teise paigalseisva vooluta juhe suhtes. Flemingi parema käe reegli käsitlemisel tuleb siin teatavasti põial suunida magnetvälja liikumisesuunale vastu (joon. 94), muidugi tungjoonte lõikumise kohas.

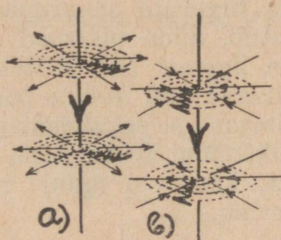
Kirjeldatud induksioon ahelas II on seda tugevam, mida tugevam on ahela I elektrivool (siis on magnetväli tugevam), mida kiirem relatiivne liikumine ja mida pikemad on tungjooni lõikavad juhed. Induksiooni suurendamiseks võib, näiteks, kummagi ahela juhed kerida poolideks, mis käivad üksteise sisse (joon. 95). Joonisel on näidatud poolide vastastikku lähendamise efekt. Selgub, et vooluta poolis indutseerub liiku-

mise ajal vastupidise suunaga E. M. J. Poolide vastastikku eemaldumisel on indutseeritud E. M. J. suuna poolest ühesugune indutseeriva E. M. J. suunaga. On kerge tõendada, et ka käesoleva juhuse kohta võib rakendada Lenz'i seadust (§ 41).

Ahelas II võime saada induksiooni ka ilma, et pruugiksimise ahelate juhed liikuma panna. Selleks lüüme näit. vooluga varustatud ahelasse reostaat, mille abil saame ahela voolu pidevalt muuta (tugevamaks ja nõrgemaks). Tuleb nimelt silmas pidada, et elektrivoolu tugevnemisel paisub ka voolu ümbritsev magnetväli; paistab, nagu tekiks juhest rida uusi tungringe, mis voolu tõusu kestvusel suitsurõngaste taoliselt kontsentriselt igale poole laiaks paisuvad; need tungringid tarduvad,



Joon. 95.

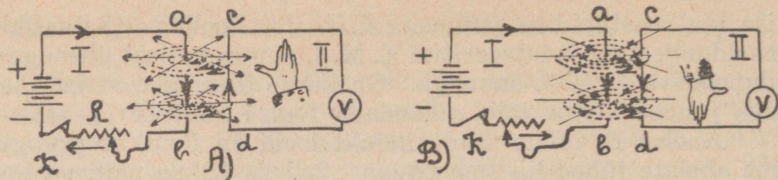


Joon. 96.

niipea kui lõpeb voolu tugevnemine (joon. 96-a). Elektrivoolu kahanemisel sünnib nähe vastupidi: välised tungringid kontsentriselt tõmbuvad juhe sisse kokku (joon. 96-b), senikui sünnib voolu kahanemine. On vool lõpuni, s. t. nulliks kahanevad, siis on ka viimane tungring juhesse tagasi tõmbunud.

Võtame nüüd ahela, milles tegutseb alaline E. M. J. ja millesse on lülitatud reostaat R (joon. 97). Selle ahela osa ab lähedale asetame teine ahel, mis sisaldab tundelikku galvanomeetri. Tehes reostaadi R abil vool ahelas I järjest tugevamaks (joon. 97-A) näeme, et ahela osast ab väljunud tungjooned hakkavad paisudes lõikama teise ahela osa cd ja **indutseerivad viimases elektrivoolu**. Kuna tungjoonte lõikpunktides liigub magnetväli vasakult paremale, siis käsitades Flemmingi parema käe reeglit leiame, et ahela I voolu tõusu ajal ahelas II indutseerunud elektrivool on suuna poolest esimesele **vastupidine**; see vool kestab ainult niikaua, kui vool ahelas I muutub.

Ahela I voolu **kahanemise** ajal (joon. 97-B) indutseerub ahelas II uuesti elektrivool, mis osas cd on esimese ahela vooluga **ühesuunaline** (magnetväli liigub üle osa cd paremalt vasakule).

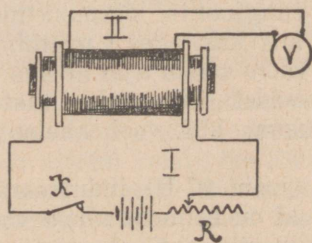


Joon. 97.

Vooluga varustatud mõjuv ahel nimetatakse **primaarahelaks**; mõjutatav ahel — **sekundaarahelaks**.

Sekundaarahelas indutseeritud E. M. J. on seda tugevam, mida tugevam on primaarahela vool, mida kiiremini see vool muutub, mida pikemad on üksteist mõjutavad ahelaosad ja mida ligemal nad üksteisest asuvad. Juhede pikendamiseks keritakse nad kokku poolideks, asetades üks pool teise sisse (**primaar- ja sekundaar-pool**) — vaat. joon. 98. Eriti mõjuva induksiooni saame, kui varustame primaarpooli raudsüdami-kuga, kuna sel juhul magnetväli pooli ümber on märksa tugevam.

Eriliselt tuleb ära märkida induksiooni nähteid, mis esinevad sekundaarahelas, kui primaarahelas sünnib elektrivoolu **ühendamine** ja **katkestamine**. Lülides vool primaarahelas sisse lülilja **K** abil (joon. 97-A ja joon. 98) leiame, et magnetväli paisudes nullist oma lõpuväärtuseni löikab vooluühendamise momendil sekundaarahela juhesid ja tekitab viimastes vastusuunalise elektrivoolu. See vool kestab vaid lühikest aega, — nimelt niikaua, kuni vool primaarahelas on jõudnud oma lõpuväärtuseni, milline oleneb ahelas tegutsevast E. M. J.-st ja ahela üldtakistusest. On voolul tähendatud lõpuväärtus käes ja jääb ta sellele püsima, siis jääb paigale ka voolu ümbritsev magnetväli ning induksioon sekundaarahelas lõppeb.



Joon. 98.

Katkestuse momendil ühes elektrivooluga kahaneb ka magnetväli, löigates oma tungjoontega sekundaarahelat, nagu see sünnib voolu kahandamisel (joon. 97-B). Sekundaarahelas indutseerub lühikese kestvusega vool, mis on suuna poolest ühesugune primaarvooluga ja lõppeb niipea, kui on lõppenud primaarvoolu magnetväli.

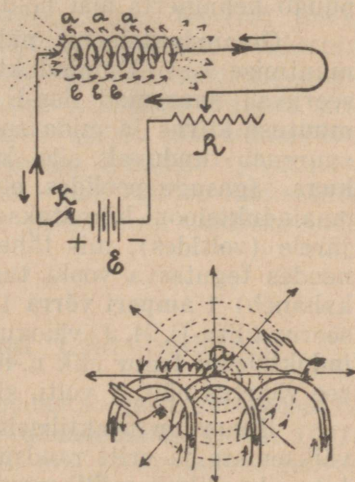
§ 43. Omainduktsioon. Induktiivsus. Lülamise ekstravoolud.

Oletame, et ahelasse, milles tegutseb E. M. J. E, on lülitud reostaat **R**, katkestaja **K** ja solenoid (joon. 99). On ahel suletud, siis jookseb ahelas elektrivool E. M. J. allika plus-poolusist miinus-poolusi poole, nagu see näidatud joonisel. Voolutugevus ahelas oleneb Oomi seaduse põhjal E. M. J.-st ja ahela üldtakistusest. Tähendatud elektrivoolu ümbritseb, nagu teada, kindel ja püsiv magnetväli, mis on eriti tugev solenoidi kohal. Solenoidi iga punkti ümber võiksimise enesele ettekujutada perpendikulaarseid kontsentrilisi tungringe, millede suun on meile teada (korgitõmbaja reegel) ja mis ühinedes annavad solenoidi ümber ühise magnetvälja. See magnetväli püsib paigal, senikui püsib elektrivool.

Oletame nüüd, et voolutugevus ahelas hakkab muutuma — näit. suurenema selle tõttu, et sünnib reostaadi **R** pidev väljalülimine. Voolu tugevnemisega hakkab paisuma ka magnetväli, moodustades juhe iga punkti ümber uusi tungringe, mis kontsentriliselt igas suunas laiali paisuvad. Need voolu suurenemise kestvusel laienevad tungringid lõikavad oma sünnipunkti paremal ja vasakul asuvad solenoidi kerde ja tekitavad viimastes elektromagnetilise induktsiooni, s. t. annavad samas ahelas algelise E. M. J. E kõrvale omalt poolt indutseeritud lisa E. M. J. Vaadates näit. punktide **a** või **b** ümber paisu-

vaid tungringe, leiame Flemmingi parema käe reegli kohaselt, et naaberkeerdudes voolu tõusu ajal indutseerunud lisa E. M. J. on kõik suuna poolest algvoolule vastupidised. Niipea kui voolu tugevnemine on lõppenud, tardub otsekohe magnetväli ja lõpeb ühtlasi ka vastu tegutsev E. M. J.

Hakkame nüüd voolu ahelas kahandama, siis sünnib sama nähe vaid selle vahega, et solenoidi iga punkti (**a**, **a** . . . , **b**, **b** . . .) ümber kahaneva magnetvälja liikumisesuun on eelmisele vastupidine (kontsentriliselt tagasi iga punkti sisse). Naaberkeer-



Joon. 99.

dudes tekivad uuesti induktsiooni E. M. J-d, mis algelise E. M. J. suhtes on **samasuunalised** ja mis ühinedes annavad üldise samasuunalise lisavoolu; viimane kestab ainult niikaua, kui vool ahelas kahaneb.

Kirjeldatud lisa-E. M. J. tekkimist ahelas eneses elektri- voolu tugevuse muutmise ajal nimetatakse **omainduktsiooniks** ja sellejuures ahelas indutseeruvaid lisa-E. M. J.-de nimetatakse **omainduktsiooni lisa-elektromotoorseteks jõududeks**. Voolu kasvamise ajal on need lisa-E. M. J. suunitud algelisele E. M. J-le vastu ja annavad ahelas vastupidist lisavoolu, mis püüab üldist voolukasvamist **pidurdada** (joon. 99 näidatud väikeste nooltega) sarnaselt, nagu mehhaanikas kehainerts püüab pidurdada keha kiiruse kasvamist.

Algvoolu kahanemise ajal on lisa-E.M.J.-d algelise E.M.J. suhtes samasuunalised ja annavad ahelas samasuunalist lisavoolu, mis püüab kahanevat algvoolu alalhoida sarnaselt, nagu püüab kehainerts alal hoida kehale antud kiirust.

Omainduktsiooni nähted esinevad ahelas ainult voolu muutmise ajal. Omainduktsioon on suurem, s. t. ahelas indutseeruvad suuremad lisa-E. M. J.-d, mida suurem on **algvoolu muutuse kiirus** ja mida suurem on solenoidi **keerdude arv**; ta suureneb tunduvalt siis, kui solenoid varustame **raudsüdami- kuga**. Igasugu poolides, elektromagneti mähistes jne. tekkivad omainduktsiooni hinnatakse nende lisa-E. M. J.-de koguväärtuse järele (voltides), mis tähendatud aparatides tekivad siis, kui nendes tegutseva voolu tugevus pidevalt muutub (kasvab või kahaneb) **1 amperi võrra 1 sek. jooksul**. On sellejuures indutseeruva lisa-E. M. J. väärtus 1 volt, siis öeldakse, et pooli **omainduktsiooni tegur** ehk n.-n. **induktiivsus on 1 Henry (H)**. On see väärtus näit. 7 volti, siis on induktiivsus 7 Henry't jne.

Henry on praktiliselt võrdlemisi õige suur induktiivsus; väiksemate ja eriti raudsüdameeta poolide induktiivsus mõõdetakse harilikult **millihenry**'tes (MH) = 0,001 H. Teine praktiline induktiivsus ühik on n.-n. omainduktsiooni **sentimeeter**, millejuures 1 Henry = 1.000.000.000 sentimeetrit; 1 MH = = 1.000.000 sentimeetrit.

Pooli induktiivsus oleneb mitte ainult pooli keerdude arvust, vaid ka pooli pikkusest ja läbilõikest ning juhe põiklõikest. Ühtlasi mõjub induktiivsusel ajalugu, kas pool on varustatud raudsüdamikuga või mitte, milline on rauasort jne.

Omainduktsiooni nähed tulevad ahelates esile veel voolu **ühendamise ja katkestamise momentidel**. Näit., lülides elektri- vool ahelas sisse leiame, et paisuv magnetväli indutseerib ahe- las vastupidise lisa-E. M. J., mis annab otsekohe ka vastupidist

voolu (ahel on kinnine) ehk n.-n. **ühendamise ekstravoolu**. Selle ekstravoolu tekkimise tõttu ei saa algvool tõusta momentaalselt oma lõpuväärtuseni, vaid saavutab viimase seda aeglasemalt, mida suurem on ahela induktiivsus.

Voolu katkestamise momendil indutseerib kahanev magnetväli lisa-E. M. J., mis algvoolu suhtes samasuunaline. See lisa-E. M. J. annab ka siin otsekohe voolu, kuigi ahel on katkestatud ja nimelt sel teel, et katkestuskoha kontaktide vahel tekib lühike säde, mis automaatselt pikendab ahela sulgemise seisukorda. See lisavool ehk n.-n. **katkestuse ekstravool** ei luba algvoolul momentaalselt kaduda ega magnetvälja tungjoontel momentaalselt kahaneda, vaid voolu ja magnetvälja kahane mine sünnib seda aeglasemalt, mida suurem on ahela induktiivsus.

Katkestuse ekstravoole võib tähele panna igasugu ahelates katkestuskontaktide vahel, eriti kui ahelad sisaldavad poole, elektromagneteid (näit. elektrikõlistaja, Morse telegraf jne.), keerdus juhestikku jne. Ekstravoolude tekkimist soodustav katkestussäde on moodustatud kõrge temperatuurini kuumen datud metallaurudest, mille tõttu need kontaktid kiiresti ära põlevad ja oksüdeeruvad. Viimase pahe kõrvaldamiseks tehakse need kontaktid vastupidavamast metallist (plaatina). Katkestuskontaktide vahele pandud käsi tunneb katkestuse momendil põrutust, millist tuleb panna just ekstravoolude arvele.

§ 44. Ruhmkorffi spiraal (sädeinduktor).

Selle aparadi peamise osa moodustab pool, mis koosneb kahest mähisest — **primaar-** ja **sekundaarmähis** (joon. 100). Pool on varustatud raudsüdamikuga, mis pöörisevoolude halvamise otstarbel on koostatud üksikutest raudvitsadest. Primaarmähis on keritud võrdlemisi jämedast isoleeritud vaskjuhest, umbes 150—200 keeruga; selle mähise otsad ühendatakse akkumulaator-patareiga, üks ots **b** vahetult, teine ots **a** üle haamerkatkestaja **K** ja lülilja **L**.

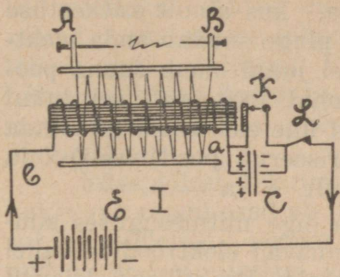
Sekundaarmähis on paigutatud primaarmähise peale; ta on viimasest hästi isoleeritud ja keritakse peenest isoleeritud vaskjuhest, õige suure keerdude arvuga; selle mähise otsad on väljatoodud hästi isoleeritud elektrodide **A** ja **B** juurde.

Kui ühendame Ruhmkorffi spiraal akkumulaatorite patareiga ja lülime **L** sisse, siis tekivad aparadis järgmised protsessid.

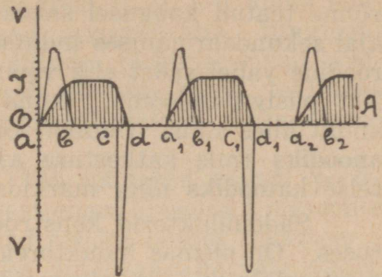
Primaarmähise ahelas tegutsev E. M. J. annab alalise elektrivoolu, mis magnetiseerib pooli südamikku; viimane tõmbab külge haamerkatkestaja raudankru ja katkestab voolu. Selle järeldukel kaotab südamik otsekohe oma magnetismi ja vedru surub ankru uuesti kontakt **K** vastu; tekib uuesti elektrivool ja nähted korduvad nii, nagu see oli elektrikõlistajas (§ 40). Haamerkatkestaja ankur hakkab vibreerima, korduvalt katkestades ja sulgedes primaarahelas I jooksvat voolu. Iga sulgemise juures tõuseb elektrivool oma lõpuväärtusele ja iga katkestuse juures langeb sellelt lõpuväärtuselt uuesti nullini, andes ühtlasi kord magnetvälja paisumise, teine kord selle kahanemise. Omainduktsiooni nähe tõttu, teatavasti (§ 43), ei ole see paisumine ega kahanemine momentaalne, vaid võtab teatud, kuigi õige lühikest aega.

Voolu tõusu ja kahanemisega primaarmähise ahela ühendamise ja katkestamise momentidel kaasas käiva magnetvälja kõikumise tõttu sünnib sekundaarmähise igas keerus induktsoon, s. t. tekib E. M. J.; kõik need üksikud E. M. J. liitudes annavad elektrootide A ja B vahel õige kõrge pingevahe. Magnetvälja paisumisega primaarahela ühendamise momendil indutseerub sekundaarmähises E. M. J. **ühes suunas**, magnetvälja kahanemisega selle ahela katkestamise momendil — endisele **vastupidises suunas** (§ 42). Teiste sõnadega, sekundaarmähises sünnib kõrge pinge **vahelduva** suunaga.

Esiolgul paistab, et magnetvälja paisumine ja sama magnetvälja kahanemine nullini peaks indutseerima sekundaarmähises võrdse kõrgusega, kuigi suuna pooldest vahelduva E. M. J. See olekski nii, juhul, kui puuduks primaarahelas osa, mis senini polnud veel nimetatud. Joon 100 on näha, et haamerkatkestajale rööbiti on ahelasse lülitatud võrdlemisi suure elektrimahuga **kondensaator C** (lehtkondensaatori tüüpi). Haamerkatkestaja ühendamise momendil, kui ahelas I tekib elektrivool, kondensaator C elektriseerub — üks pind positiivse, teine pind negatiivse elektrilaenguga. Katkestuse momendil, kui katkestaja kontaktide vahel tekib ekstravoolu säde, need kondensaatori laengud lahenevad üle sädeme, millejuures nad püüavad **katkestuse ekstravoolu neutraliseerida** ja sädet halvata. Tähendatud ekstravool ja säde teatavasti pidurdavad magnetvälja kiiret kahanemist. On aga nüüd ekstravoolu mõju kõrvaldatud, siis kahaneb primaarahela vool ja ühtlasi ka magnetväli mitu korda kiiremini, kui see sünniks kondensaatori vahetalitusega. Kõige järelduks on asjalugu, et kui primaarahela ühendamisel magnetväli paisub võrdlemisi aeglaselt, siis selle ahela katkestamisel kahaneb sama magnetväli järsult, indutseerides



Joon. 100.



Joon. 101.

selletõttu sekundaarahelas katkestuse momendil E. M. J. mitu korda kõrgema, kui sulgemise momendil.

Ruhmkorffi spiraalis tekkivate nähete selgituseks olgu toodud joon. 101 kujutatud diagramm. Horisontaal joonel OA on teatud moodsus märgitud ajaühikud, näit. sekundi sajandikud. Võttes igale ajamomendile vastaval perpendikulaaril mõnes vabas moodsus primaarvoolu tugevuse sellel momendil ja ühendades kõik perpendikulaaride tipud joonega, leiame primaarvoolu diagrammi (strikitud osa). Näeme, et momendist a momendini b elektrivool tõuseb; momendist b kuni c ta püsib omal hariväärtusel (ankur on surutud katkestaja kontakti vastu); momendist c kuni d vool kahaneb nullini, kusjuures kondensaatori kaastegevuse tõttu ajavahemik cd on märksa lühem kui ab. Momendist d kuni a₁ voolu ahelas ei ole (kontakt on lahti, vedru pole veel suutnud ankru tagasi suruda kontakti vastu). Edasi nähted korduvad endisel kujul. Primaarahelas tekib, nagu näha, katkeline ühesuunaline vool (madalapingeline, kuid võrdlemisi tugev).

Sekundaarahelas indutseeruva E. M. J. diagramm on kujutatud strikimata joontega. Näeme, et ühendamise „momendil“ ab tõuseb sekundaarahela pingeline ühes suunas, katkestuse „momendil“ cd tõuseb ta teises suunas, kuid mitu korda kõrgemale. Lähendades elektroodid A ja B (joon. 100) üksteisele, saame teatud kaugusel pika käriseva sädeme kujul sekundaarahelas voolu. See vool on kõrgepingeline, katkestustega, kuid vahelduva iseloomuga, ebasümmeetriline ja võrreldes primaarahela vooluga — õige nõrga tugevusega.

Asetades elektroodid A ja B üksteisele küllalt ligi, võime tähele panna, et nende vahel tekib vool (säde) niihästi katkestuse, kui ühendamise momentidel primaarahelas; sekundaarahela vool kannab sel juhul eespool diagrammis näidatud vahelduvat ilmet. Lükates aga elektroodid A ja B üksteisest eemale,

võime teatud kaugusel saada olukorra, kus ainult katkestuse ajal sekundaarmähises indutseerunud pinge suudab anda elektrootodide vahel sädet ehk voolu, mis sel juhul omab suuna poolest püsiva iseloomu, kuna elektroonid jooksevad sel juhul ainult ühes sihis. Ühtlasi võime nüüd ühe elektroodi nimetada **anoodiks** (mis katkestuse ajal elektriseerub positiivselt) ja teise **katoodiks** ning märkida vastavalt + ja —.

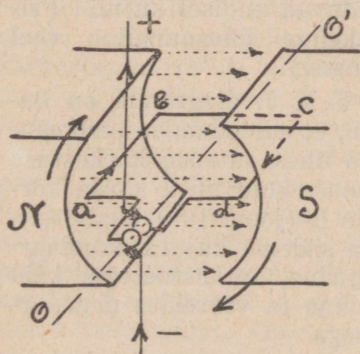
Sädeinduktorid konstrueeritakse õige mitmesuguses suuruses. On olemas induktoreid, mis annavad elektrootodide vahel meetripikkuseid ja pikemaidki sädemeid. Praktiliselt leiavad induktorid kasutamist mootori- ja autotehnikas, endistel aegadel veel arstiteaduses ja raadiotehnikas.

VII OSA.

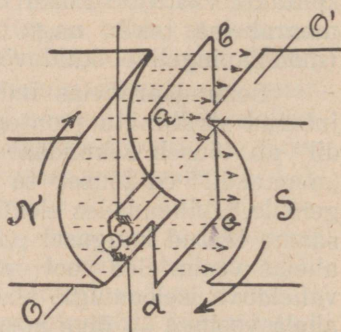
VAHELDUV VOOL.

§ 45. Induksioon magnetväljas tiirlevas raamis.

Oletame, et kahe magnetpoolusi N ja S vahel tiirleb kindlate tiirudega kindlas suunas telje OO' ümber metallraam $abcd$ (joon. 102). Ühendame selle raami otsad kahe metallrõngaga, mis üksteisest isoleeritud ja tiirlevad ühiselt samal teljel ning millele pindadel asuvad kaks libisevat kontakti ehk **harja** (süsi, vask). Joon. 102 näidatud tiirlemise suuna ja raami



Joon. 102.



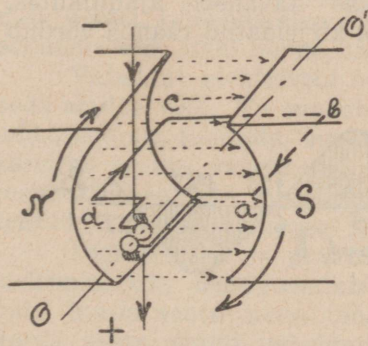
Joon. 103.

seisukorra juures indutseeruvad raami ab ja cd osades E.M.J.-d, millele suun Flemingi parema käe reegli kohaselt on märgi-

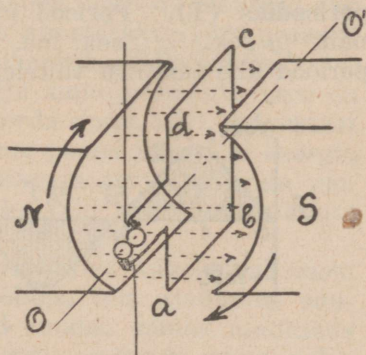
tud nooltega. Antud momendil on need E. M. J.-d kõige suuremad, kuna raami juhed lõikavad magnetvälja tungjooni täiesti risti. Mõlemad E. M. J.-d liitudes elektriseerivad positiivselt ülemise harja ja negatiivselt alumise harja, tekitades seega harjade vahel käesoleval momendil teatud maksimaalse pingevahe.

Edaspidisel liikumisel joon. 103 näidatud asendi poole, hakkavad raami osad **ab** ja **cd** järjest enam libisema tungjoonte suhtes, mille tõttu järjest vähenevad nendes osades indutseerunud E. M. J.-d; ühtlasi kahaneb ka pingevahe harjade vahel. Joon. 103 kujutatud asendis ei tekki raamis üldse mingit induktiooni, kuna siin raami osad **ab** ja **cd** libisevad tungjoonte vahel ega lõika neid sugugi.

Liikumisel joon. 103 näidatud asendist joon. 104 asendi poole, s. o. teisel veerandringil, hakkavad uuesti kasvama juhed **ab** ja **cd** indutseerunud E. M. J.-d, kuna tähendatud juhed hakkavad tungjooni järjest rohkem lõikama. Näeme ainult, et juhed **ab** ja **cd** indutseerunud E. M. J.-d on nüüd suuna poolest võrreldes eelmistega vastupidised, mille järel dudel ülemine hari elektriseerub negatiivselt ja alumine hari võrdse potentsiaalini positiivselt. Joon 104 kujutatud momendil on pingevahe harjade vahel uuesti maksimaalne, kuid suuna poolest vastupidine. Kolmanda veerandringi jooksul hakkab pinge uuesti kahanema ja langeb nullini asendis, mis kujutatud joon. 105.



Joon. 104.



Joon. 105.

Viimase veerandringi jooksul hakkavad E. M. J.-d juhed **ab** ja **cd** uuesti kasvama suunas, nagu see oli esimesel veerandil ja jõuavad täisringi lõpuks maksimaalse väärtusele, mis oli nendel meie vaatluse algmomendil, vaat. joon. 102. Edas-

pidisel liikumisel korduvad raamis endises järjekorras kõik eespool kirjeldatud nähted.

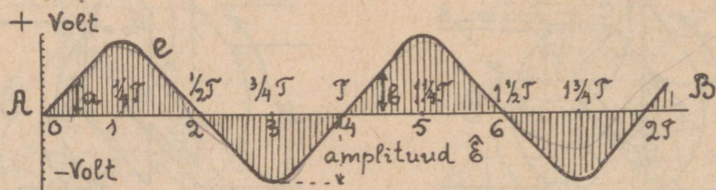
Raamiosad **bc** ja **ad** induksiooni muidugi ei anna, kuna need osad kogu aeg tiirlevad tungjoonte vahel, neid löikamata.

§ 46. Vahelduva E. M. J. ja voolu mõisted.

Nägime, et magnetväljas tiirlevas raamis indutseerub E. M. J., mis pidevalt muudab oma väärtust nullist teatud maksimumini ja sellelt tagasi nullini, sellejuures võrdsete ajavahe-mikkude järele (s. o. perioodiliselt) muutes oma suuna. See-sugune E. M. J. nimetatakse **vahelduvaks**.

Ühendades raamiharjad omavahel mingi elektrijuhega, saame sel viisil moodustatud kinnises ahelas n.-n. **vahelduva voolu**, mis olenevalt muutlikust E. M. J.-st samuti pidevalt muudab oma tugevust nullist maksimumini ja tagasi nullini, ühtlasi perioodiliselt muutes oma suuna. Nähtavasti paneb vahelduv E. M. J. ahelas teatud hulk vabu elektroone edasi-tagasi liikuma ehk **pendelduma**, paisates selle hulga järjest suureneva kiirusega kord ühele poolusile, kord teisele poolusile, kusjuures liikumise suuna muutmisel kiirus jõuab kahaneda nullini, nagu see sünnib pendliga selle kiikumisel.

Ajavahemik, mille kestvusel vahelduv E. M. J. või vool läbi võtab kõik omad võimalikud **momentväärtused** ja suunad ja jõuab uuesti endisele väärtusele ja suunale, nimetatakse **perioodiks (T)**. Periood mõõdetakse tavaliselt ajaühikutes, näit. $\frac{1}{50}$ sek., $\frac{1}{1000}$ sek. jne. Eespool kirjeldatud raamis võrdub periood ühe täistiiru vältele.



Joon. 106.

Joon. 106 kujutab vahelduva E. M. J.-u **diagrammi**. Võttes sirgjoonel AB vabas mõõdus teatud ajavahemikud, näit. täis-tiiru veerandid, kujutame igale ajamomendile vastaval perpen-dikulaaril sellel momendil raamis indutseerunud E. M. J.-u momentväärtuse (voltides) mõnes vabalt valitud mõõdus. Alustades näit. momendist, kus raam asub joon. 103 kujutatud

seisukorras, saaksime kahe esimese veerandtiiru kohta perpendikulaaride tippude ühendamisel kõverjoone, mis asub punktide 0. ja 2. vahel. Teise pooltiiru kohta saame sama väärtusega pinged, kuid suunitult vastupidi, mille tõttu diagrammil kujutame nad allapoole joont AB (punktide 2. ja 4. vahel). Saadud lainekujuline kõverjoon, mis kujutab vahelduva E. M. J. momentväärtuste muutmist ajas, nimetatakse **sinusoidiks**. Perioodi võime arvestada, alates vabalt valitud momendist, — näit. möödub üks periood momentide 0—4, 1—5, a—b jne. vahel.

Vahelduva voolu diagramm on joon. 106 kujutatud E. M. J-u diagrammi sarnane. Üksikutele ajamomentidele vastavad voolutugevuse momentväärtused (perpendikulaarid) tuleb võtta muidugi vastavalt amperides (vabas mõõdus).

Vahelduva E. M. J. või voolu suurim momentväärtus nimetatakse E. M. J. või voolu **amplituudiks** (\hat{E} , \hat{J}); joon 106 kujutatud E. M. J. amplituudid vastavad momentidele 1, 3, 5 jne.

Perioodide arv ühes sekundis nimetatakse **sageduseks** (f). Näit. kui on teada, et tehnilise vahelduva voolu periood on $\frac{1}{50}$ sek., s. t. selle voolu sagedus on 50. Sageduse poolest jaotatakse vahelduvad E. M. J.-d ja voolud **madala ja kõrge sagedusega** E. M. J.-ks ja vooludeks.

Madala sagedusega E. M. J.-ks või vooluks loetakse need, millele sagedus ei tõuse üle kuuldava heli sageduse piiri (s. o. umbes 40.000). Raadiotehnikas on tegemist vooludega, millele sagedus tõuseb 100.000 kuni 300.000.000 perioodi sekundis ehk n.-n. **hertzi**. Lühendamise otstarbeks nimetatakse 1000 perioodi sekundis ehk 1000 hertzi üheks **kilohertziks** (**kilotsüklik**).

Vahelduv elektrivool on energia kandja, samuti nagu on seda alaline vool. Ta suudab tööd korda saata, näit. valgustust anda, soojust tekitada, masinad käima panna jne. Kui energia kandjat ei saa vahelduvat voolu hinnata tema mõninga momentväärtuse, näit. amplituudi järele, vaid tuleb teda hinnata teatud keskmise väärtuse järele.

Teoreetiliselt ja praktiliselt on põhjust vahelduvat voolu iseloomustada seesuguse **alalise vooluga**, mis ajaühikus suudaks korda saata sama töö, mille suudab samas ajaühikus korda saata antud vahelduv vool (näit. eristada sama palju soojust). Tähen datud keskmine väärtus nimetatakse vahelduva voolu **effektiivväärtuseks**. Teoreetiliselt on kindlaks tehtud, et efektiivväärtus J võrdub:

$$J = \hat{J} : \sqrt{2} = \hat{J} : 1,41, \text{ kus } \hat{J} \text{ on}$$

voolu amplituud.

Vastavalt hinnatakse ka vahelduvat E. M. J. selle efektiivväärtuse E järele, millejuures:

$$E = \hat{E} : \sqrt{2} = \hat{E} : 1,41, \text{ kus } \hat{E} \text{ on E. M. J-u amplituud.}$$

Vahelduva voolu mõõtriistad (voltmeetrid, ampermeetrid), olles lülitud vahelduva voolu ahelasse, näitavad nimelt efektiivväärtusi, mis ongi tarvilik, kuna just need väärtused omavad puht praktilise tähenduse vahelduva voolu võime ja töö hindamisel.

N ä i d e. Vahelduva voolu voltmeeter näitab ahelas 220 v. Kui suur on selle voolu amplituud?

V a s t u s : $220 \times 1,41 =$ umbes 310 v.

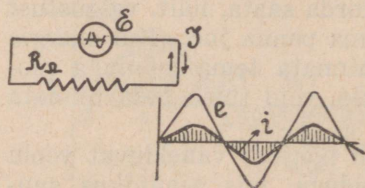
§ 47. Vahelduva voolu ahel. Induktiivne ja mah- tustakistused. Faaside nihkumine.

Lülime vahelduva E.M.J. allikas antud ahelasse, mille takistus on R oomi. Sel juhul ahelas hakkab jooksma vahelduv vool, mille momentväärtused Oomi seaduse kohaselt:

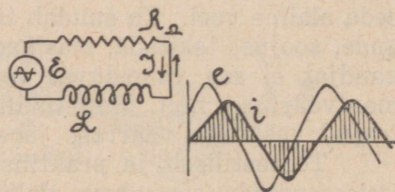
$$i = e : R$$

On selge, et sarnases ahelas E. M. J.-u nullpunktile vastab voolutugevuse nullpunkt ja E. M. J.-u amplituudi momendile vastab voolutugevuse amplituud (joon. 107). Ütleme, et E. M. J. ja vool asuvad omavahel faasis.

On arusaadav, et siin $J = E : R$, kus J ja E on voolu ja E. M. J.-u efektiivväärtused.



Joon. 107.



Joon. 108.

Oletame nüüd, et vahelduva voolu ahelasse on lülitatud takistus, mis sisaldab teatud induktiivsust (näit. pooli keritud juhe, raudsüdamikuga mähis) või sirge induktiivsusetu takistuse kõrval on ahelasse lülitatud pool, mille induktiivsus omab teatud praktilise väärtuse (joon. 108). Kui seesuguses ahelas hakkab jooksma vahelduv elektrivool, siis tuleb arvestada asjaoluga,

et ka vahelduva voolu ümber tekib alati **magnetväli, mis ühes vooluga pidevalt ja faasis kõigub**, muutes kogu aeg oma tugevust ja perioodiliselt (2 korda perioodi jooksul) oma suuna.

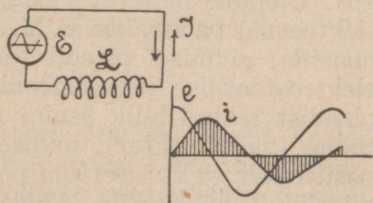
Kõikuva ja muutliku magnetvälja juures tekivad ahelas lisa-E. M. J.-d (§ 43), mis mõjuvad üldiselt nii, nagu oleks ahelas tegutsemas hariliku, n.-n. **oomilise takistuse** (R) kõrval teine, lisa- ehk n. n. **induktiivne takistus** (R_L). Viimane on seda suurem, mida suurem on ahela induktiivsus (rohkesti poole, elektromagnetite jne.) ja mida suurem on voolu sagedus.

On leitud, et induktiivne takistus R_L võrdub (oomides)

$R_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, kus $\pi = 3,14$, $f =$ sagedus; $L =$ ahela induktiivsus (henrydes).

Katse näitab edasi, et seesuguses ahelas E. M. J.-u ja voolu momentväärtused ei asu enam faasis, vaid et E. M. J. oma faasidega käib voolu faaside ees ja seda enam, mida suurem on induktiivne takistus võrreldes oomilisega; tekib, teiste sõnadega, **faaside nihkumine** E. M. J.-u ja voolu vahel.

Juhul, kui ahela oomiline takistus on praktiliselt null (jämme juhe), on see faaside nihkumine $\frac{1}{4}$ perioodi suur (joon. 109). Arvates perioodi 360 kraadiks võime öelda, et E. M. J.-u ja voolu vahel tekib siin faaside nihkumine 90° . E. M. J. momentväärtused käivad voolu momentväärtuste ees nii, et esimese amplituudi momendid vastavad teise nullpunktidele ja ümberpöörduvad. (N. B. Oomilise takistuse puudumine ei tähenda vahelduvale voolule seega veel lühiühendust, kui induktiivne takistus ahelas omab küllaldase väärtuse).



Joon. 109.

On oomiline takistus ahelas praktiliselt suurem kui null, siis on ka faaside vahe E. M. J.-u ja voolu vahel väiksem, kui 90° ehk $\frac{1}{4}$ perioodi. Faaside vahe läheneb seda enam 0 kraadile, s. t. faasid lähevad seda ligemalt kokku, mida suurem on ahela oomiline takistus võrreldes induktiivse takistusega.

Edasi näitab teooria ja tõendab katse, et joon. 108 kujutatud ahelas vahelduv vool ei allu täpselt Oomi seadusele mitte ainult sellepolest, et tekib teatud faaside lahkumine E. M. J.-u ja voolu vahel, vaid veel sellepolest, et ahela üldise takistuse väljaarvutamiseks on vaja leida oomilise ja induktiiv-takistuste mitte aritmeetiline, vaid n.-n. **geomeetriline summa**, mis võrdub

$$R = \sqrt{R_{\Omega}^2 + R_L^2}$$

Näited. 1) Ahela (joon. 108) $E = 220$ v; $R_{\Omega} = 50$ oomi;
 $L = 0,6$ H ja $f = 50$. Leida J (effektiivne).

Vastus: Leiame kõigepealt induktiivtakistuse
 $R_L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,6 = 188,4$ oomi.
 Üldine ehk n. n. efektiivne takistus
 võrdub:

$$Z = \sqrt{50 \times 50 + 188,4 \times 188,4} = \sqrt{37996} = \text{umbes } 195 \text{ oomi.}$$

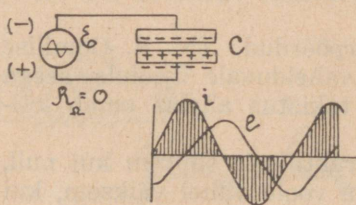
Seega $J = 220 : 195 = 1,12$ amp.

2) Ahela (joon. 109) $E = 220$ v; $R_{\Omega} = 0$;
 $L = 0,6$ H ja $f = 50$. Leida J (eff).

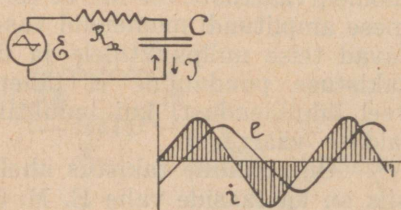
Vastus: Leiame induktiivtakistuse, mis on endine $R_L = 188,4$ oomi,
 seega $J = 220 : 188,4 = 1,17$ amp.

Märkus: Alalise E. M. J. juures oleks viimane ahel tähendanud lühendust.

Oletame nüüd, et vahelduva voolu ahelasse on lülitatud **kondensaator**. Alaline vool teatavasti ei suuda kondensaatorit läbistada. Vahelduva voolu juures aga sünnib nähe veidi teisiti. Oletame näit., et (joon. 110) esimesel poolperioodil vabad elektroonid paisatakse E. M. J.-u mõjul kondensaatori ülemisele plaadile; alumisel plaadil tekitavad need elektroonid otsekohe elektrostaatilise induktsiooni (§ 8); selle järeldusel eraldub plaadist teatud hulk senini neutraalses olukorras olnud elektroone (vaba elekter), millised tõmmatakse otsekohe E. M. J.-u positiivselt elektriseeritud poolusi külge. Järgmisel poolperioodil sünnib sama nähe, kuid ümberpööratud suunas.



Joon. 110.



Joon. 111.

Näeme, et kondensaatorit sisaldavas ahelas tekib siiski teatud vahelduv vool ja kondensaator ei avalda seega vahelduvale voolule lõpmata suurt takistust, nagu on ta seda alalise voolu suhtes. Kondensaatori takistus nimetatakse sellejuures **mahutuvus-** ehk **kapatsitiiv takistuseks** (R_c) Selle väärtus on seda väiksem (ja vool suurem), mida suurem on kondensaatori elektrimaht ja mida suurem on voolusagedus.

Oomides arvutame mahtuvustakistust R_c järgmiselt:

$$R_c = 1 : (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \text{ kus}$$

$\pi = 3,14$; $f =$ sagedus ja $C =$ maht (faraarides)

Näide. 1) Arvutada raadiokondensaatori (joon. 15) mahtuvustakistus 300 m pikkuse eeterilaine poolt antenni ahelas indutseeritud kõrgsagedusega voolule, kui on teada, et tähendatud laine juures see sagedus $f = 1000.000$ hertzi ja kondensaatori elektrimaht $C = 150$ sm.

Vastus: Kondensaatori maht faraarides on

$$C = \frac{150}{900.000.000.000} = \frac{1}{6.000.000.000} \text{ faraadi};$$

$$R_c = \frac{6.000.000.000}{2 \times 3,14 \times 1.000.000} = \text{umbes } 955 \text{ oomi.}$$

Märkus: Hariliku sagedusega voolule avaldaks seesugune kondensaator lõpmata suurt takistust.

2) Kui suur on J ahelas, vaat. joon. 110, kui $E = 220$ v ja sagedus $f = 50$; kondensaatori maht $C = 10$ M. F.

$$\text{Vastus: } R_c = \frac{100.000}{2 \times 3,14 \times 50} = 318 \text{ oomi};$$

$$J = 220 : 318 = 0,7 \text{ amp.}$$

Uurimused näitavad, et joon. 111 kujutatud ahelas E. M. J.-u ja voolu momentväärtused ei asu omavahel faasis, vaid et **E. M. J. jääb oma faasidega voolu suhtes maha** ja seda rohkem, mida suurem on kapatsitiivtakistus võrreldes ahela oomilise takistusega. Juhul, kui oomiline takistus on praktiliselt null, on faaside nihkumine $\frac{1}{4}$ perioodi ehk 90° suur. E. M. J.-u momentväärtused käivad voolu momentväärtuste järel nii, et esimese amplituudid vastavad teise nullpunktidele ja ümberpöörduvad (vaat. joon. 110 diagramm).

Juhul, kui ahela oomiline takistus on praktiliselt suurem kui null, tuleb üldise efektiivtakistuse väljaarvutamiseks võtta oomilise ja kapatsitiivtakistuste jällegi **geomeetriline summa**, s. o.:

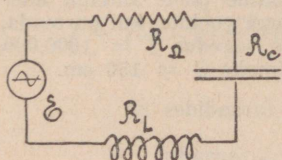
$$Z = \sqrt{R_{\Omega}^2 + R_c^2}$$

Näit. 1) Arvutada J ahelas (joon. 111), milles tegutseb vahelduv pinge $E = 110$ v, kui $R_{\Omega} = 25$ oomi ja $C = 5$ MF; $f = 50$.

$$\text{Vastus: } Z = \sqrt{625 + \left(\frac{1000 \ 000}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5} \right)^2} = \text{umbes } 633 \text{ oomi.}$$

$$J = 110 : 633 = 0,17 \text{ amp.}$$

Juhul, kui vahelduva voolu ahelas oomilise takistuse kõrval on olemas ühel ajal teatud induktiivne ja kapatsitiivne takistused (joon. 112), on kindlaks tehtud, et induktiivne ja kapatsitiivne takistused üksteist **neutraliseerivad**, nii et üldtakistuse väljaarvutamisel tuleb leida kõigepealt nende vahe.



Joon. 112.

Effektiivtakistus tuleb sel juhul arvutada järgmise valemi kohaselt:

$$Z = \sqrt{R_{\Omega}^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}\right)^2}$$

kus R_{Ω} = oomiline takistus;
 L = ahela induktiivsus (herny'des);
 C = ahela mahtuvus (faraadides);
 f = sagedus.

Näited. 1) Arvutada ahela efektiivtakistus, kui $R_{\Omega} = 10$ oomi;
 $L = 1,5$ H; $C = 20$ MF ja $f = 50$.

Vastus: Induktiivtakistus $R_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,5 = 472$ oomi.

Kapatsitiivtakistus $R_C = 1 : \left(2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \frac{20}{1000.000}\right) = 159$ oomi.

$$Z = \sqrt{10 \cdot 10 + (472 - 159)^2} = \sqrt{98069} = 313 \text{ oomi.}$$

2) Arvutada ahela efektiivtakistus, kui $R_{\Omega} = 0$;
 $L = 250$ MH; $C = 10$ MF ja $f = 50$.

Vastus: Induktiivtakistus
 $R_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,25 = 78,5$ oomi.

Kapatsitiivtakistus

$R_C = 1 : (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,00001) = 319$ oomi.

$$Z = \sqrt{0 + (319 - 78,5)^2} = \sqrt{57840,25} = 240 \text{ oomi.}$$

Joon. 112 kujutatud ahelas sünnib jällegi faaside nihkumine pingele ja voolu vahel; nimelt käib pingele oma faasidega voolu faaside ees või nende järel olenevalt sellest, kas on induktiivtakistus kapatsitiivsest suurem, või on ta väiksem. Faaside nihkumine üldse puudub juhul, kui induktiivtakistus võrdub kapatsitiivsele. Viimasel juhul efektiivne takistus võrdub oomilisele takistusele, kuna induktiiv- ja kapatsitiivtakistuste vahe on null. Kirjeldatud ahela seisukord nimetatakse **elektri resonantsiks**. Sellel juhul allub vahelduv vool täpselt Oomi seadusele:

$$J = \frac{E}{R_{\Omega}}$$

§ 48. Induktiivtakistuse rakendused. Piksekaitse. Paispool.

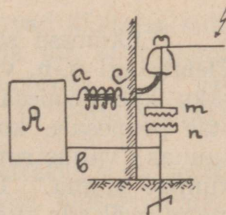
Eespool nägime (§ 47), et juhul, kui vahelduva voolu ahelasse on lülitatud sirge ja lühike takistus, on ahela induktiiv- ja kapatsiitviitakistused tähtsusetu väikesed ja voolutugevus ahelas oleneb praktiliselt vaid oomilisest takistusest, nagu oleks tegemist alalise pingega. Selletõttu on näit. võimalik lüüda teatud pingele konstrueeritud elektri hõõglamp üksipuha — kas alalise või vahelduva pingega alla, kuna vastava pingega juures läbib lampi ikkagi temale tarviliku tugevusega vool; hõõgniit omab nimelt praktiliselt tähtsusetu väikese induktiiv- ja kapatsiitviitakistuse. Vahelduva voolu all sünnib vaid hõõgniidi temperatuuri pulseeruv tõus ja kahanemine ja vastavalt sellele ka valgustuse väikene vibreerumine, mis 50 hertzi sageduse juures siiski silmale märgatav ei ole.

Teine lugu on, kui tuleb tegemist teha vahelduvate vooludega, millele sagedus on õige suur. Sel juhul avaldavad isegi väikesed poolid ja elektromagnetid õige suurt induktiivtakistust. Viimane asjalugu on ärakasutatud eriliste piksekaitsjate ehitamisel nende elektriaparatuuride kaitseks, mis sisaldavad igaugu poole või elektromagneteid (näit. telegraaf, telefon, raadiovastuvõtja jne.).

Nimelt ühendatakse seesuguse aparadi õhuvõrgu ja maahenduse juhede **a** ja **b** vahele (joon. 113) kaks metallplaadikest **m** ja **n**, mis isoleeritult asetatakse oma sakiliste äärega üksteise vastu 1 — 2 m/m. vahega.

Teame teiselt poolt, et pikne on lühikese kestvusega, kuid äärmiselt kõrge sagedusega vahelduv vool; selletõttu leiab see vool aparadis **A** äärmiselt suure induktiivtakistuse, mis on märksa suurem, kui õhukihi **m—n** kõrgeoomiline takistus; selle viimase pikne oma kõrge pingega juures läbibki, jookstes maasse, ilma et ta suudaks tungida aparadi **A**. Madalapingelised ja väiksema sagedusega voolud, millele mõjul aparat **A** töötab, ei suuda läbistada õhukihi **m—n** ja pääsevad maasse vaid aparadi **A** kaudu.

Pole aparadi **A** induktiivne takistus piksele küllaldane, võib tema ette lüüda raudsüdamikuga poolikese **ac**, n.-n. **paispooli**, mis aitab pikset ära hoida aparadi sattumast, ilma et ta sellejuures avaldaks nimetamisväärset takistust töötavatele vooludele.



Joon. 113.

ELEKTRIMOOTORI PÕHIMÔTE.

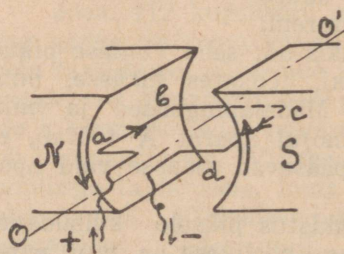
§ 49. Magnetvälja mõju alalisele voolule.

Oletame, et antud magnetvälja on asetatud elektrijuhe, milles jookseb alaline vool (joon. 114). Selle elektrivoolu ümber tekib, nagu alati, oma magnetväli, mis astub antud magnetväljaga koostegevusse. Nende kahe magnetvälja tungjoonte koostamisel sünnib juhe ühel küljel tungjoonte tihenemine ja teisel küljel nende hõrendus (joon. 114 a ja b), mille järel juhe hakkab liikuma tihedamate tungjoonte poolt hõredamate poole.



Joon. 114.

Liikumise suuna saame hõlpsamalt kindlaks määrata Flemmingi n.-n. vasaku käe reegli järel. Hoides, nimelt, vasaku käe peopesa nii, et magnetvälja tungjooned langeksid otse peopesale, korraldame sõrmed juhes jooksva elektrivoolu suunas; väljasirutatud põial näitab meile sellejuures juhe liikumise suuna. Liikumise jõud oleneb vastastikku mõjuvate magnetväljade tugevusest, s. t. välise magnetvälja NS tugevusest ja juhes jooksva elektrivoolu tugevusest.



Joon. 115.

Võttes magnetpooluste N ja S vahel raamikujulise juhe (joon. 115) ja juhtides viimasesse alalise voolu leiame, et raami osa *ab* püüab liikuda käesoleval juhul allapoole ja osa *cd* samal ajal ülespoole; teiste sõnadega, raam alustab pöörlõikumist telje *OO'* ümber kellaosuti liikumisele vastupidises suunas.

On kerge kindlaks teha, et kui raamiosades (*ab* ja *cd*)

voolusuun muutub ja samal ajal muudetakse ka välise magnetvälja tungjoonte suun vastupidiseks, siis püüab raam liikuda ikka endises suunas.

Kirjeldatud nähted on võetud aluseks elektrimootorite ehitamisel, milledes sünnib elektrienergia muutumine mehhaaniliseks energiaks (§ 74).

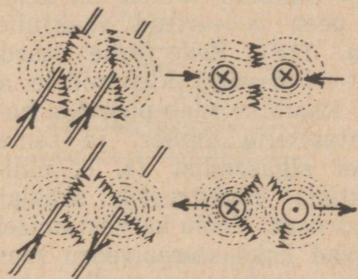
§ 50. Alalise voolu mõju alalisele voolule. Wattmeeter.

Katse näitab, et kui alalise vooluga varustatud juhele lähendame teise juhe, milles samuti jookseb alaline vool, siis juhul, kui mõlemad voolud asuvad suunade poolest rööbiti, sünnib juhede vastastikku **tõmbumine**; juhul aga, kui voolud on suuna poolest vastupidised, sünnib juhede vastastikku **tõukumine**.

Joon. 116 on näha, et kirjeldatud nähteid tuleb seletada magnetväljade vastastikku mõjumisega, kuna esimesel juhul sünnib juhede vahelises ruumis tungjoonte hõrendus ja välised tungjooned tõmbavad juhed kokku; teisel juhul aga sünnib juhede vahelises ruumis tungjoonte tihenemine, mille tõttu juhed tõugatakse üksteisest eemale.

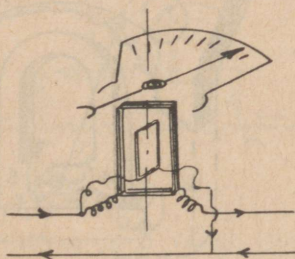
Juhul, kui vooluga varustatud juhed asuvad üksteise suhtes risti, püüab liikvel olev juhe end asetada nii, et mõlema juhe magnetväljade tungjooned suunaga ühinevad, s. t. see juhe püüab asetuda esimesele juhele rööbiti ja tema vooluga ühes suunas.

Voolude vastastikkuse mõju alusel on ehitatud n. n. **wattmeetrid**, s. o. mõõtriistad, mis näitavad ahela elektrivõimet. Need koosnevad kahest raamist, milledele on keritud isoleeritud vaskjuhe. Üks pool ühendatakse ahelasse järjestikku (nagu



Joon. 116.

Elektrotehnika.



Joon. 117.

7

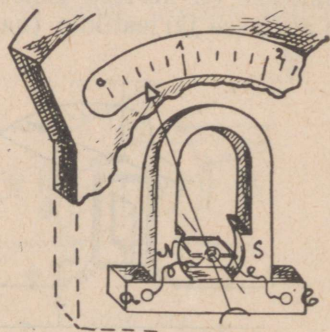
ampermeeter); sel poolil on võrdlemisi vähe keerde ja pool on keritud jämedamast juhest; teisel poolil on võrdlemisi suur arv keerde, pool ise on keritud peenikesest juhest ja on lülitatud ahelasse rööbiti (nagu voltmeeter). Esimene pool on paigalseisev, kuna teine saab telje ümber pöörelda (joon. 117).

Kuna poolide vastastikkune mõju on **võrdeline mõlemis poolis jooksvate vooludega**, siis on liikuva raami hälve (s. t. pöörend) algasendist (nullpunktist) võrdeline ühelt poolt ahelas mõjuva voolutugevusega (paigalseisva pooli vooluga); teiselt poolt on see hälve võrdeline ahela harus mõjuva voolutugevusega (liikuva pooli vooluga) ja ühtlasi selle haru pingelangemise. Lõputulemusena tähendatud hälve on võrdeline voolutugevuse ja pingelangemise korrutisega ehk **võimega** selles ahelaosas, millele rööbiti on lülitatud liikuva pooli mähis. Voolu katkestamisel tuleb vattmeetri osut vastava vedru surve tagasi nullpunkti asendisse.

On kirjeldatud aparadis liikuvale raamile võimaldatud telje ümber pidev tiirlemine, mille kiirus on võrdeline ahela võimega, siis juhul, kui seda tiirlemist registreerib vastava mehhanismi abil tiirulugeja, saame elektrienergia mõõtmise aparadi ehk nagu teda nimetatakse „**elektrivoolu arvestaja**“ (lugeja).

§ 51. Ampermeeter ja voltmeeter. Shunt ja eeltakistus.

§ 49 selgitatud tiirleva raami põhimõttel on ehitatud parimat süsteemi amper- ja voltmeetrid, n. n. **Depréz-d'Arsonval'i** tüüpi mõõtriistad (tuntud veel „keerdkatsa riistade“ nime-tuse all).



Joon. 118.

Tugeva permanent magneti kingade vahele on asetatud kerge raamike, millele on keritud peen isoleeritud vaskjuhe (joon. 118). Selle juhe otsad on toodud välja klemmidele a ja b. Raamike saab pöörelda horisontaaltelje ümber, ja tema hälvet algasendist (s. o. nullpunktist) registreerib skaalal vastav osut. Voolu katkestamisel suruvad kaks spiraalvedru raamikesse osutiga algasendisse tagasi. Osuti hälve on võrdeline

poolikesest läbiva voolu tugevusega; gradueerides vastava skaala, näit. amperides, saamegi n. n. **ampermeetri**.

Voolu mõõtmiseks tuleb ampermeeter lülida ahelasse järjestikku, et terve vool jookseks ampermeetri läbi. Selletõttu peab ka ampermeetri sisetakistus olema **õige väike**, et tema lülitamisega ahelasse ei väheneks elektrivool, mille tugevust meie soovime mõõta. Väikese sisetakistuse tõttu on väga kardetav ampermeetri lülida vahetult E. M. J-u allika pooluste vahele, kuna ampermeetri poolike võib sellejuures kergesti läbi põleda.

Antud ampermeetriga ei või mõõta voole, mis on tugevamad, kui tema skaala maksimaalne näide. Nii öeldakse — „kahe amperline, kümne amperline“ jne. ampermeeter. Soovime ampermeetriga mõõta tugevamaid voole, kui see temale ettenähtud, siis tuleb ampermeeter **shuntida**, s. t. tuleb ühendada tema klemmide **a** ja **b** vahele harutakistus (**shunt**), mis omab võrreldes ampermeetri mähisega veelgi väiksema takistuse ja võtab selletõttu vastavalt suurema osa üldvoolust oma peale.

Näit.: Meil on olemas ampermeeter 2 amp. ja soovime sellega mõõta voole kuni 200 amp. Milline peab olema shundi takistus, kui ampermeetri oma sisetakistus on 0,2 oomi?

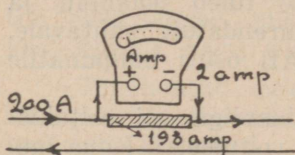
Vastus: Juhul, kui ahelas jookseb vool 200 A, peab shunt järelikult omama niivõrd väikese takistuse, et ta juhiks mõõtriistasse vaid lubatud 2 A, võttes enese peale 198 A (joon. 119).

Eespool (§ 21) selgitatud andmetel võime öelda, et shundi ja ampermeetri sisetakistused peavad olema pöördvõrdelised haruvooludega, ehk

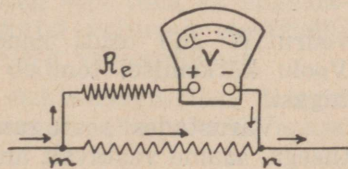
$$r : 0,2 = I : 198;$$

Leiame siit, et otsitav shunditakistus $r = 0,00202$ oomi.

Lülides nõuetava shundi (tavaliselt on selleks vastava paksusega lühike metallplaat) klemmide **a** ja **b** vahele, võime nüüd mõõta 100 korda tugevamaid voole. Selleks tuleb vaid endise skaala näited korrutada 100-ga. Ühele ampermeetrile võib sel viisil valmistada terve komplekt mitmesuguseid shunte.



Joon. 119.



Joon. 120.

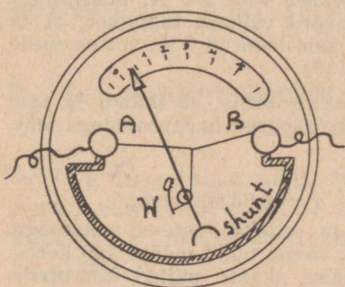
Soovides mõõta pinget kahe punkti **m** ja **n** vahel (joon. 120), võtame sama punktide vahele haru ja lülime viimasesse ampermeeter. Et pinge punktide **m** ja **n** vahel jääks praktili-

selt endiseks, tuleb juurdelülitid harusse lisada võimalikult suurem takistus R_e ; vastasel korral väheneks tunduvalt üldtakistus m ja n vahel, mis põhjustaks otsekohe pinge vähenemist ja meie ei saakski mõõta esialgul soovitud pinget.

Oletame, et nimetatud lisa- ehk **eeltakistus** on 1000 oomi. Juhul, kui meie ampermeeter näitab 0,08 A, leiame, et pinge m ja n vahel on $0,08 \times 1000 = 80$ v. Näitab ampermeeter 0,12 A, siis on see pinge $0,12 \times 1000 = 120$ v. jne. Monteerides eeltakistuse kestvalt ampermeetri kesse ja korrutades mõõtriista näited selle takistusega ning vastavalt ümberkirjutades tema skaalanäited voltides, saamegi **voltmeetri**.

Näeme seega, et voltmeetri sisetakistus on alati õige suur (loomulikult mitte nii äärmiselt suur, et temast läbijooksev haruvooluke ei suudaks liikuvat poolikest pöörlema panna). Selle tõttu pole ka kardetav voltmeeter lülida otse E. M. J. allika klemmide vahele. Muidugi tuleb meelestada, et näit. 2-voldilise voltmeetriga ei hakataks mõõtma suuremaid pingeid, kui see tema skaala kohaselt lubatud.

Vahelduvate voolude ja pingete mõõtmiseks tarvitatakse muuseas n. n. **termilisi** mõõtriiste.



Joon. 121.

Seesugune termiline mõõtriist koosneb (joon. 121) sirgest peenikesest metallniidist AB, mis on monteeritud kahe klemmi A ja B vahele. Niidi keskkohal pingutab niiti vedru W tõmbel selle külge kinnitatud teine põikniit. Viimane on keeratud üle plokkvõlli, mille külge on kinnitatud skaalaosut. Kui nüüd juhime aparadist läbi elektrivoolu, siis pikeneb niit AB soojenemise tagajärjel. See pikenemine tuleb põikniidi ja

vedru W abil osuti kaudu skaalal suurendatult nähtavale. Voolu katkemisel tõmbab jahtuv niit AB osuti nullpunktile tagasi.

Varustades seesugune mõõtriist shundiga või eeltakistusega, saame vastavalt ampermeetri või voltmeetri. Kuna metallniidis soojendamise ei olene voolu suunast, siis võib seesuguse mõõtriistaga mõõta ka vahelduvaid voole. Nõrkade voolude mõõtmiseks on see aparat ebatundelik.

ELEKTROMAGNETILISED LAINED.

§ 52. Eeter. Hertzi katsed.

Teadlasi on alati huvitanud küsimus, mil viisil suudab päike maakerale üleanda valguse ja soojuse kaudu määratumaid hulki energiat ja üldse küsimus, mil viisil kehad võivad üksteisele mõjuda üle kauguste. **Newtoni** esialgne teooria, mis oletas vahetut mõju üle kauguse (*actio in distans*), samuti tema „voolavuse“ teooria, mille järele valgusele ja soojusele tuli vaadata, kui iseäralistele kaaluta ja suruvuseta vedelikkudele — ei kannatanud peagi kriitikat välja.

Moodne teadus ei võinud leppida vaadetega, et kehade vahel võiks sündida mingisugune tegevus vahetegurita, s. t. üle tühjuse. **Joung** oli esimene, kes avaldas arvamist (a. 1800), et on olemas isesugune nägemata, kaaluta, lõpmata peen ja elastne substants, mis täidab kogu universumi. Ta nimetas selle substantsi **eetriks** ja pani aluse valguse n.-n. **võnkumiste teooriale**, mis hiljem sai arendatud Freneli poolt ja lõplikult tõrjus välja vana „voolavuse teooria“.

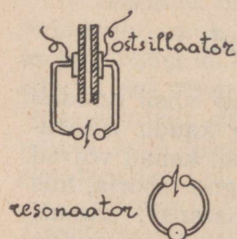
Faraday ja Maxwelli uurimuste põhjal selgus hiljem, et ka elektrilised ja magnetilised nähed lasevad endid suurepäraliselt seletada eeteri osakeste võnkumistega. Sarnasus elektri ja valguse vahel nende levimise kiiruse poolest, samuti mitmed teised põhjused lubasid oletada, et elektri- ja valgusnähetel vahel peab olema kindel side, mis andiski Maxwell'ile aluse ülesehitada tema suurepärase **valguse elektromagnetilise teooria**.

Selle teooria põhjal kuulutas Maxwell ette juba 1869. a., et nähtavate valguskiirte kõrval võivad ette tulla ka nägematud elektrikiired, mis võnkumiste kujul väljuvad elektriallikast samuti, nagu väljuvad valguskiired valgusallikast.

Tähendatud elektrikiiri ehk **elektromagnetilisi laineid** läks praktiliselt korda leiutada ja äratunda alles a. 1887 saksa professor **Hertzil**.

Hertzi kuulus katse tema n. n. **vibraatoriga** seisis selles, et ta võttis suurte, lamedate pindadega õhkkondensaatori, laadis selle kõrge pingeni Rhumkorffi spiraalist ja lahendas läbi sädemiku (joon. 122). Selle lahenduse juures moodustunud ahela (n.-n. **ostsillaator**) ümber tekkisid elektromagnetilisedained, milliseid võis ära tunda ostsillaatori lähedusse asetatud

ja sädemikuga varustatud teise ahela ehk **resonaatori** abil. Läbistades resonaatorit indutseerivad elektrikiired viimases elektrivoolu, mis nähtavale tuleb säde kujul.



Joon. 122.

Hertzi uurimused näitasid, et elektrikiired alluvad valguskiirte kõikidele seadustele (peegeldumine, murdumine, difraktsioon, interferents jne.), mis veelkord andis hiilgava tõenduse Maxwelli varimatele oletustele.

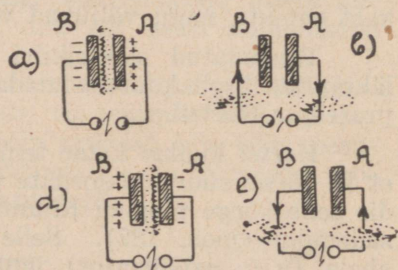
Hertzi katse äratas teaduseilmas suurt tähelepanu, kuigi tehnika alal ei leidnud ta tol korral mingit rakendust. Peab siiski tunnustama, et juba Hertz oma katsetega teostas põhimõtteliselt traadita telegraafeerimise probleemi, olugi laboratooriumi piirides. Alles a. 1897 läks **Marconi**'l korda elektrikiiri praktiliselt ärakasutada.

§ 53. Kondensaatori lahendus. Võnkeahel.

Et selgeks teha, millised nähed sünnivad kondensaatori lahendusel, oletame, et antud kondensaator on laetud ja selle sisepind näit. **A** on elektriseeritud positiivselt (joon. 123-a). Elektrostaatilise induktsiooni tõttu omab samal ajal teine pind **B** võrdse, kuid negatiivse potentsiaali.

Kui nüüd pinnad ühendame omavahel mõne juhega, siis sünnib elektrisäde kujul lahendus momendil, kui juheotsad on toodud niivõrd ligistikku, et pindadel olev elektripinget suudab läbistada isoleeriva õhukihi. Pindade vastupidised ja võrdsed laengud püüavad neutraliseeruda, mille juures tekib lühike elektrivool suunaga pinnalt **A** pinna **B** poole. Ühes sellega tekib juhe ümber magnetväli, mille tungjooned kontsentriselt paisuvad väljapoole sellejärele, mida suuremaks tõuseb vool.

Lahenduse eel oli kogu energia koondatud kondensaatori pindadele elektrivälja (potentsiaalse) energia kujul. Lahenduse algul hakkab see energia kahanema ja muutuma elektrivoolu ja magnetvälja (kiineetiliseks) energiaks, milline tõuseb oma suurima väärtuseni siis, kui elektrivälja energia on kahanenud nullini (joon. 123-b).



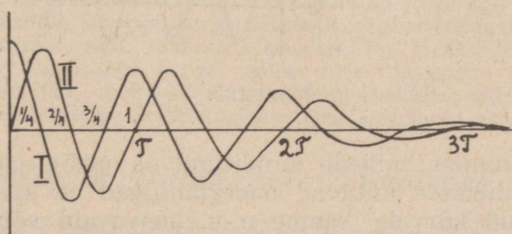
Joon. 123.

Et aga nüüd on kadunud põhjus (pingevahe pindade vahel), mis voolu ahelas alal hoiab, hakkab viimane omakorda kahanema. Ühtlasi tõmbuvad kokku magnetvälja tungjooned ja sünnitavad samasuunalise (§ 43) omainduktsiooni E.M.J.-u. Kuna säde veel kestab ja ahel seega on suletud, annab see E. M. J. ekstravoolu, mis asendab algvoolu ja laeb kondensaatori pinnad võrreldes eelmisega vastupidi (joon. 123-d). Nüüd on elektrivool, ühtlasi ka magnetväli kadunud. Energia on uuesti kogunenud kondensaatori pindadele elektrivälja energia kujul, kuid vastupidise korraldusega.

Ümberlaetud kondensaator sama säde vältel lahendub uuesti, andes uue elektrivoolu ja magnetvälja, senikui kõik energia on uuesti elektriväljast väljunud ja muutunud elektrivoolu ja magnetvälja energiaks; suuna poolest on viimased nüüd endistele jällegi vastupidi korraldatud (joon. 123-e).

Elektrivool ja magnetväli kahanedes annavad jälle omainduktsiooni E. M. J.-u, mis laeb kondensaatori pinnad uuesti nii, nagu see näidatud joon. 123-a.

Nüüd on sündinud nähetes üks terve tsükl ehk üks n. n. **täisvõnkumine**. Sellest momendist edasi kordub kirjeldatud protsess sama säde vältel kõigis endistes faasides. See protsess kehtaks lõputa, kui poleks ahelas energiakadusid ja energia vaid transformeeruks potentsiaalsest kujust kinetilisse ja ümberpöörduks. Tegelikult on alati olemas energia kõrvaline kulu ja peamiselt ahela juhede oomilise takistuse tõttu soojusenergia kujul; siis veel säde enese sees soojuse, heli ja valguse kujul. Sellest tulebki, et iga järgmine magnetvälja ja elektrivoolu energiahulk on eelmisest väiksem ja järjest kahaneb, kuni pinge pindade vahel on langenud sedavõrd, et säde katkeb.



Joon. 124.

Joon. 124 kujutab graafiliselt kondensaatori lahenduse protsessi ühe säde kestvusel. Kõverjoon I kujutab kondensaatori laengu (elektrivälja energia) muutust. Kõverjoon II kujutab elektrivoolu (magnetvälja energia) muutust. Joonlõigud T, 2T, 3T... kujutavad vabalt valitud möödus **perioode**,

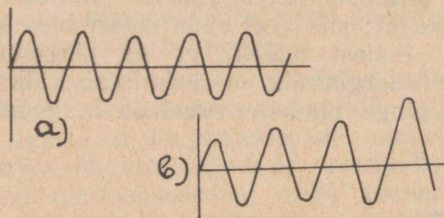
s. o. ajavälteid, mille jooksul sünnib üks täisvõnkumine. Nagu näha, on esimese perioodi esimese veerandi lõpus kondensaatori laeng langenud nullini, kuna vool saavutanud oma suurima väärtuse. Vahepeal on nad mõlemad olemas, kuna üks osa energiast asub veel elektriväljas, mis pole jõudnud nullini kahaneda ja teine osa on kogutud kasvavasse magnetvälja.

Teise veerandi lõpus on kondensaator uuesti laaditud maksimumini. Kuid see maksimum on suunaga vastupidine ja amplituudi poolest esimesest väiksem. Elektrivool on kahanenud nullini ja kondensaator on laetud vastupidi.

Kolmanda veerandi lõpus on laeng uuesti kahanenud nullini, sellejuures aga vool tõusnud vastupidise (kuid väiksema) maksimumini. Perioodi neljanda veerandi lõpus asub protsess samas faasis, millega algas lahendus; ainult amplituud on eelmisest väiksem energia osalise kõrvalekadumise tõttu.

Edasi kestab lahendus endisel viisil, kuni kõik energia on kulunud kõrvalistele kadudele ja võnkumised kustunud.

Ahel, milles elektrienergia muudatused sünnivad kirjeldatud võnkumiste kujul, nimetatakse **perioodiliseks võnkeahelaks**. Juhul, kui energia kaob kadude tõttu kõrvale ja võnkumiste amplituudid järjest kahanevad, nimetatakse võnkumised **kustuvateks**. Lisades ahelasse kõrvalevalguva energia asemele perioodiliselt uusi energia tagavarasid, võime saada n. n. kus-



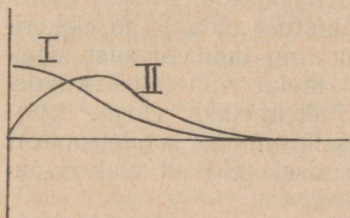
Joon. 125.

tumata võnkumisi, millede amplituud on püsiv (joon. 125-a). Juhul, kui ahelasse antavad energiahulgad on suuremad, kui energia kadud kõrvale, saame n.-n. kasvavaid võnkumisi järjest suureneva amplituudiga (joon. 125-b).

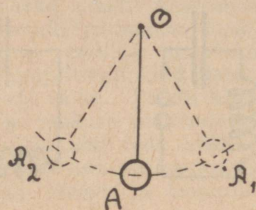
Peab tähendama, et kondensaatori lahendus võib sündida veel teisel kujul juhul, kui ahela juhede oomiline takistus on suur. Viimasel juhul muutub peagu kõik elektrivälja energia soojuseks ja lahenduse juures tekiv vool jookseb lühikest aega vaid ühes sihis, jõuab teatud maksimumini ja kahaneb sellejärel nullini. Joon. 126 kujutab graafiliselt kirjeldatud

lahenduse protsessi, kus kõverjooned I ja II tähendavad seda sama, mis joon. 124. Ahel, milles kondensaatori lahendus sünnib viimasel kujul, nimetatakse **aperioodiliseks ahelaks**.

Kirjeldatud elektrivõnkumisi võib sarnastada pendli kiikumisega. Oletame nimelt, et pendel OA (joon. 127) on oma tasakaalu seisukorrast tõstetud seisukorda OA₁. Sellejuures kogub pendlisse teatud hulk potentsiaalset energiat. Vabanedes hakkab pendel oma raskuse tõttu liikuma tasakaalu asendi poole järjest kasvava kiirusega; sellejuures muutub potentsiaalne energia kineetiliseks. Alumises asendis on pendli liikumisekiirus maksimaalne ja potentsiaalne energia kahanenud nullini. Ko-



Joon. 126.



Joon. 127.

gutud kineetilise energia tõttu ei jää pendel oma tasakaalu asendis püsima (inerts), vaid liigub teisele poole järjest kahaneva kiirusega, senikui kõik kogutud kineetiline energia on uuesti muutunud potentsiaalseks. Nüüd on pendel jõudnud oma äärmise vasakpoolse asendisse ja tema kiirus on null.

Edasi hakkab pendel uuesti liikuma teises suunas, jõuab peagi uuesti oma madalamaisse asendisse, liigub sellest üle ja kaotab oma kiiruse äärmises parempoolses asendis jne.

Kuna pendli kiikumise amplituud (AA₁, AA₂ jne.) on sõltuv vaid temas koondatud energiast, siis peaks amplituud jääma kogu aeg endiseks ja kiikumine kestma lõpmata kaua; see olekski nii, kui poleks energia kadusid kõrvale. Et aga viimased on alati olemas (õhutakistus, toetuspunkti hõõrumine jne.), jääb pendli energia ajajooksul järjest väiksemaks ja kiikumine **kustub**. Graafiliselt potentsiaalse ja kineetilise energia muudatused kujunevad siin samuti, nagu see kujutatud joon. 124.

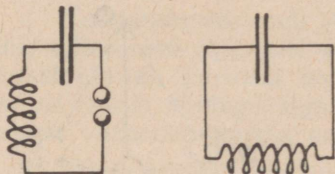
Andes pendlile kõrvalisest jõuallikast energia täiendust, võime saada **kustumata** kiikumise, näit. seinakella pendlis, kus üleskeeratud vedru on selleks allikaks. Asetades pendel mõne suure takistuse pakkuva keskusse (paks vedelik), võime saada pendli aperioodilise liikumise, millejuures ta peatub otsekohe ja kiikumiseta oma tasakaalu asendis.

§ 54. Suletud võnkeahel. Thomsoni valem.

Eelmises § nägime, et väikese oomilise takistusega suletud ahelas võivad tekkida elektrivõnkumised, kui ahelasse on lülitatud kondensaator, mis laetakse kõrvalisest vooluallikast. Selleks otstarbeks sädemik polegi tingimata vajalik; on sädemik olemas, siis peame kondensaatori pingele esmalt nii kõrgele tõstma, et ta suudab läbistada isoleeriva õhukihi. Sädemiku puudumisel hakkab kondensaator lahenduma võnkumiste kujul, niipea kui ta saab laetud vabalt antud pingeni.

Katse näitab, et võnkumiste perioodi saab kunstlikult pikendada, kui võtame kondensaator suurema elektrimahuga.

Nagu § 53 seletusest näha, peab ahel võnkumiste tekki-
miseks sisaldama elektrimahu kõrval veel ühte tegurit, —
induktiivsust, mis võimaldab kondensaatori ümberlaadimist.
Katse näitab nimelt, et võnkumiste perioodi saab suurendada
ahela induktiivsuse suurendamisega, kerides näit. ahela juhe
keerduksesse või lülides ahelasse väikese oomilise takistusega
pooli.



Joon. 128.

Kirjeldatud väikest oomi-
list takistust omavat ja elektri-
mahtu ning induktiivsust sisal-
davat ahelat nimetatakse **sule-
tud võnkeahelaks** (joon. 128),
kuna selles ahelas kondensaatori
lahenemisel tekivad elektrivõn-
kumised.

Teooria näitab ja katse
tõendab, et võnkeahela loomulik-
kude ehk n. n. **vabade** võnkumiste periood on ainult kahest
tegurist — ahela **elektrimahust** ja **induktiivsusest**. Nende kahe
teguri suurendamine ja vähendamine põhjustab võnkeperioodi
suurenemist ja vähenemist. Võnkumiste amplituud läheb
energia kadude tõttu järjest väiksemaks, kuid antud elektri-
mahu ja induktiivsuse juures jääb ahela võnkeperiood ikka
endiseks.

W. Thomson leidis, et võnkeahela periood sekundiosades
annab end välja arvutada järgmise valemi järele:

$$T = 2\pi \sqrt{L \times C},$$

kus T = võnkeperiood sekundites, $\pi = 3,14$, L = ahela in-
duktiivsus henrydes ja C elektrimaht faraadides.

Näide: 1) Ahela induktiivsus $L = 0,0022$ millihenryt
elektrimaht $C = 0,014$ mikrofaaraadi

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{0,0022}{1000} \cdot \frac{0,014}{1000.000}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{308}{10^{16}}} = \frac{1}{900.000} \text{ sek.}$$

Üksik võnkumise periood kestab seega 1 : 900.000 sek.

Ühtlasi on võnkumise sagedus 900.000.

Mida väiksem on ahela elektrimaht või induktiivsus, seda
väiksem on võnkumise periood ja seda **kõrgema sagedusega**
võnkumine tekib ahelas. Näit. ühest keerust koosneva ahela
(joon. 123) induktiivsus on väga väike, mille tõttu selle ahela
võnkumise sagedus on äärmiselt kõrge, kuna periood on äär-
miselt lühike.

Antud elektrimahule ja induktiivsusele vastavad ahela võnkumised on ahela loomulikud ehk **vabad** võnkumised.

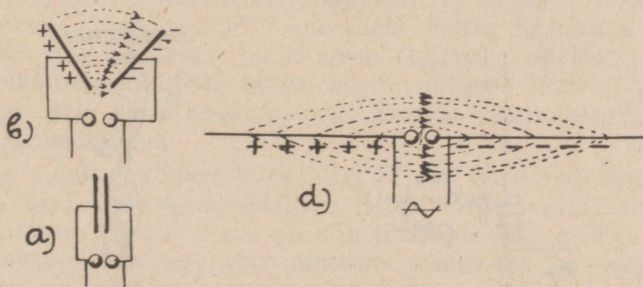
Võnkumisi ahelas võib saavutada mitte ainult kondensaatori lahenduse kaudu, vaid mitmel teisel viisil, näit. induktiivsel teel. Nii indutseerib § 52 kirjeldatud ostsillaator tema läheduses asuvas kinnises võnkeahelas (resonaatoris) elektrivõnkumisi, mis perioodi poolest üldiselt ei vasta resonaatori loomulikule perioodile ja mis selletõttu on viimase suhtes n. n. **pealesunnitud**.

Analoogilised nähed sünnivad § 53 kirjeldatud pendli kiikumisel. Pendli kiikumise periood oleneb teatavasti vaid pendli pikkusest, raskusest ja maakera külgetõmbejõust; ta ei olene sugugi pendlisse koondatud energia hulgas. Viimane mõjutab vaid kiikumise amplituudi, kuid periood jääb ikka endiseks, olgu amplituud kuitahes suur või väike. Pendli kiikumise perioodi võime muuta vaid pendli pikkuse ja raskuse muutmisega.

Võttes pendel otsast kinni, võiksime välise jõu abil teda kiikuma panna vabalt võetud perioodiga, milline kiikumine oleks aga **pealesunnitud**, kuna vabalt kiigub pendel ise kiigub vaid temale omase ja loomuliku vaba perioodiga.

§ 55. Avatud võnkeahel. Seisvad elektrilained. Elektromagnetiline kiirgavus.

Moodustame õhkkondensaatorist, juhedest ja sädemikust ehk **lahendajast** suletud võnkeahela (joon. 129-a). Selles ahelas tekivad elektrivõnkumised, niipea kui kondensaatori pinge on tõusnud nii kõrgele, et sädemikus kargab säde ja kondensaator lahendub. Hakkame nüüd muutma kondensaatori kuju, tema pindu üksteisest järjest eemaldades ja neid sellejuures



Joon. 129.

pikaks venitades (joon. 129-b). Seesuguse toimetuse juures läheb ahela elektrimaht järjest väiksemaks. Kondensaatori elektrivälja tungjooned suunduvad vabalt ja laialt üle õhu; võnkumised sellejuures tekivad ikka endiselt, kuid järjest väiksema perioodiga.

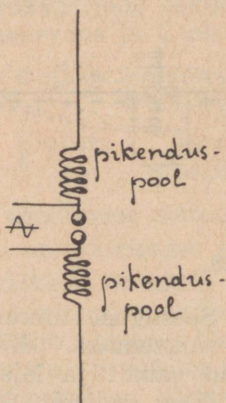
Lõpuks, tõmmates kondensaatori mõlemad pinnad sirgeteks juhedeks, saame n. n. **sümmeetrilise avatud võnkeahela** (joon. 129-d), milles kondensaatori pindade aset täidavad kaks pikka juhet, kuna induktiivsus on ühtlaselt korraldatud juhede mööda.

Juhtub, et kirjeldatud ahelas juhepooled saavad kõrvalisest pingeallikast laetud nii kõrge pingeni, et sädemikus tekib säde (joon. 129-d) ja algab kondensaatori lahendus, siis võib siin konstateerida kõik needsamad nähete faasid, mis meie panime tähele suletud võnkeahelas kondensaatori lahendusel (§ 53).

Nimelt hakkab ka siin elektrivälja (potentsiaalne) energia kahanedes muutuma elektrivoolu ja magnetvälja (kineetiliseks) energiaks, mis omakorda kahanedes sünnitab omainduktsiooni E. M. J.-u ja uuesti muutub elektrivälja energiaks, laadides ahela mõlemad pooled võrreldes endisega vastupidi jne. Graafiliselt võime siin pinge ja elektrivoolu muudatusi ehk võnkumisi kujutada samuti, nagu see oli suletud võnkeahela juures (joon. 124).

Võnkeperioodi pikendamiseks võime ahelasse lisada induktiivsust suurema või väiksema pooli (n. n. **pikenduspooli**), kujul (joon. 130).

Ligem uurimine ja vaatlus näitab, et avatud võnkeahelas selle otsade poole jooksvad pinge ja voolu kõrgesageduslised muudatused põrkavad otsadelt tagasi, mille juures otsejooksvad ja tagasipõrkavad pinge ja voolu muudatused interfereeruvad, moodustades sellejuures ahelat mööda n. n. **seisvaid elektrilaineid**. Seisva elektrilaine juures võnkeahela igas



Joon. 130.



Joon. 131.

punktis pinge ja vool võnguvad ühe kindla amplituudiga ja faasis, s. t. igas punktis jõuab pinge, samuti voolutugevus, ühel momendil oma (üldiselt **isesuguse**) amplituudile; teatud momentidel on pinge ja teistel momentidel vooluväärtus kõigis punktis ühekorraga null. Sellejuures leidub ahelas punkte, kus pinge või vooluamplituud on võnkumiste ajal kogu aeg null, n. n. **sõlmepunktid**; samal ajal leiduvad punktid, milledes vool või pinge võngub suurima amplituudiga; need on n. n. **puhetis-punktid**. Sõlme ja puhetise vahelistes punktides on võnkumise amplituud vahepealne.

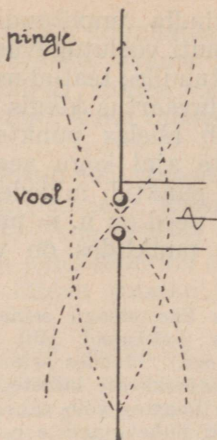
Seisvad lained tekivad näit. köies, mis ühe otsaga seinale kinnitatud. Kui köie teist otsa vibutada, siis hakkavad köit mööda seina poole jooksma lained (n. n. **jooksvad lained**). Jõudes seinani pööravad need lained tagasi ja interfereerudes otsejooksvate lainetega moodustavad köies seisvaid laineid (joon. 131). Viimastes võib tähelepanna sõlmepunkte **s—s**, kus võnkumisi ei ole; samuti puhetispunkte **p—p**, kus võnkumise amplituud on maksimaalne. On momendid, kus köie kõverdus on kõige suurem, kuid on ka momente, kus köis on täiesti sirge.

On tähelepanud, et **pingevõnkumistel** lahtises võnkeahelas tekkinud seisvas laines pinge puhetispunktid asuvad ahela otsadel (joon. 132) ja sõlmepunkt ahela keskel sädemikus; samal ajal **vooluvõnkumistest** tekkinud seisva laine puhetis asub vastupidi — ahela keskpunktis — sädemikus, kuna sõlmepunktid, s. t. punktid, kus voolu ei ole, asuvad otsadel.

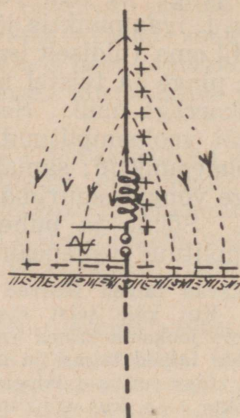
Nagu see oli suletud võnkeahelas, ei kesta ka avatud võnkeahelas võnkumised lõpmatult, vaid kustuvad peagi (amplituudid kahanevad nullini) selletõttu, et energia ei püsi jäädavalt ahelas, vaid kaob kõrvale. Nendest kadudest tuleb mainida jällegi energiakadu ahela oomilises takistuses soojuseks, kadu elektrisädes valguseks, soojuseks ja heliks. Nende kadude kõrval tuleb avatud võnkeahela kohta nimetada lisaks, et tunduv osa elektrienergiast kaob (kiirgab) ahelast eetrisse n. n. **elektromagnetiliste lainte** kujul, millised levivad valguse kiirusega igale poole laiali ja ongi aluseks raadiotelegraafi probleemi lahendamisel.

Ka suletud võnkeahelas kiirgab osa elektrienergiat võnkumiste ajal elektromagnetiliste lainte kujul välja, kuid see teatud mõttes kasulik kadu on siin protsentuaalselt õige väike, kuna suurem osa energiat muutub soojuseks ja valguseks. Selletõttu on otstarbekohasem elektromagnetiliste lainte produtseerimiseks kasutada just avatud võnkeahelat.

Võnkeahelas tekkiv üksik elektrivõnge (periood) on järelikult jooksva elektromagnetilise eeterilaine sünnikohaks; järgmine võnge annab järgmise laine jne. Sellejuures oleneb eeterilaine amplituud täiel määral teda sünnitanud elektrivõnge amplituudist — on viimane tugevam, siis on ka laineamplituud



Joon. 132.



Joon. 133.

suurem ja ümberpöördu. Sellest tulebki, et kustuvad võnkumised saadavad eeterisse rea n. n. **kustuva**id laineid järjest kuni nullini kahanevate amplituudidega; kustumata võnkumised sellevastu saadavad eeterisse rea **kustumata** laineid püsivate amplituudidega.

Edasi näitab katse, et avatud võnkeahelas tekivad nähed endisel kujul, kui ahela üks juhe tõsta isoleeritult õhku (n. n. **antenn**) ja teine juhe asetada täielikult maa sisse (n. n. **maa-** ehk **corpuseühendus**). Sellejuures kondensaatori üheks pinnaks on õhku tõstetud juhe, kuna teiseks pinnaks on maapind, veepind ehk kere (laeval, lennukil). Sarnane ahel nimetatakse **assümmeetriliseks avatud võnkeahelaks** (joon. 133), milles võnkumiste nähed sünnivad nii, nagu oleks tegelikult tegemist sümmeetrilise ahelaga, mille üks pool on peidetud maasse.

Halva maaiühenduse juures võib täita selle osa assümmeetrilises võnkeahelas maapinnale isoleeritult asetatud metallvõrk või juhestik, milline sel puhul nimetatakse **vastukaaluks**.

§ 56. Elektromagnetiliste lainete omadused. Lainepikkus.

Eelmistest peatükkidest selgub, et juhul, kui võnkeahelas tekib elektrivõnkumine, ei jää ümbritsev eeter endiselt rahulikkus seisukorda, vaid saab võnkeahelast teatud ärituse, mis eeteri äärmiselt suure elastsuse tõttu kontsentriselt sellest äritus-

keskusest elektromagnetiliste lainena igale poole laiali jookseb valguse kiirusega, s. t. umbes 300.000 km sekundis.

Eeter on järelikult elektromagnetiliste lainete kui ka valguselaine kandjaks. Valguse kiires võnguvad eeteri osakesed risti valguse kiirele; sarnaselt kujutame ette eeteri osakeste ülalpidamist ka elektromagnetilises laines. Raadio saatejaama antenn saadab ruumi laineid, mis oma loomuse poolest on täiesti sarnased põlevast küünlast väljavoolavatele lainetele. Erinevus seisab vaid selles, et esimesed lained oma pikkuse poolest võrreldes viimastega on hästi suuremad, nii et nad silmanärvidele ei mõju.

Lainepikkus on nimelt teepikkus (meetrites), millele jõuab levida eeteris tekkinud äritus samal ajaväljel, mil ärituskeskuses (võnkeahel) on sündinud võnkumiste üks täisperiood. Et leida seega antud võnkeahelast väljuvate el. magn. lainete pikkus, tuleb lainete levimise kiirus $V = 300.000.000$ m/sek. korrutada võnkeahela perioodiga, T sek., ehk

$$\lambda = v \times T$$

Näit. Suletud ahela induktiivsus on $L = 0,0022$ MH, elektrimaht $C = 0,014$ MF. Milline on sellest ahelast võnkumise ajal väljuv laine?

Leiame, et võnkumiste periood $T = 2\pi \sqrt{L_H \cdot C_F} =$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{0,0022 \cdot 0,014}{1000 \cdot 1000000}} = \frac{1}{900.000} \text{ sek.}$$

Seega lainepikkus $\lambda = v \cdot T = 300.000.000 \cdot \frac{1}{900.000} = 333,3$ m.

Märkus: Võttes ahela induktiivsuse L sentimeetrites ja elektrimahu C samuti sentimeetrites ja teades, et 1 millihenry $= 1000.000$ sm ja 1 mikrofaraad $= 900.000$ sm leiame, et periood

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L_{cm} \cdot C_{cm}}{10^9 \cdot 9 \cdot 10^{11}}} = \frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot 10^{10}} \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}}$$

Kuna $V = 300.000$ km/sek $= 3 \cdot 10^{10}$ cm/sek, siis leiame, et lainepikkus

$$\lambda = v \times T = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^{10}}{3 \cdot 10^{10}} = \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}}$$

Teiste sõnadega, lainepikkuse valem omab täpselt Thomsoni valemi kuju erinevusega, et induktiivsus on võetud sentimeetrites ja elektrimaht samuti sentimeetrites. Viimasel juhul leidub Thomsoni valemi järele lainepikkus sentimeetrites.

Juhul, kui eeteris tekib ühel ajal mitu äritusekeskust, levivad nendest väljunud lained igatüüsi nii, nagu oleks ta levimas ainuüksi; teised lained ei avalda antud laine kujule ja kii-

rusele mingit mõju. Kõik need lained, üksteist lõigates, sünnitavad eeteris keerulise kujuga n.-n. liitlaineid umbes sarnaselt, nagu neid näeme veepinnal, kui mitmest vette visatud kivist tekkinud lained kokku sattuvad.

Elektromagnetilised lained, võrreldes valguslaintega on märksa pikemad, mis tuleb seletada asjaoluga, et esimeste allika võnkumise sagedus on valguse allika võnkumise sageduses hästi väiksem. Näit. naatrumi kollase kiire sagedus võrdub umbes $5 \cdot 10^{14}$ hertzi, kuna kõrgeim sagedus, mis praktiliselt lühimate elektromagnetiliste lainte juures on saavutatud, ei tõuse üle 10^{10} hertsi.

Valguse määratu sagedad võnkumised mõjuvad silmadele värvidena, kuid ainult teatud sageduste piirides. Läheks meil korda konstrueerida võnkeahel, mille võnkumiste sagedus võrduks umbes 10^{14} hertzi, siis võiksimme meie sellest ahelast levi- vaid eeterilaineid punaste kiirtena näha. Sarnane valguseallikas oleks arvatavasti märksa ökonoomsem tavalistest valgusallikatest, milledes peaaegu terve energiahulk (95—98%) kulub soojuseks.

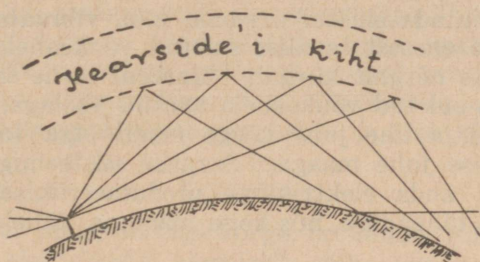
Alljärgnev tabel kujutab võrdlevalt mitmesuguste võnkumiste sagedust ja vastavate lainte pikkusi. Sagedus on antud hertzides.

Sagedus	Lainepikkus	Võnkumised
0	Lõpmata suur	Alaline vool
50	6.000.000 m	Tehn. vahelduv vool
12000	25.000 m	Maksimaalne praktiline raadiolaine
10^8	3 m	Minimaalne praktiline raadiolaine
$3 \cdot 10^9$	10 cm	Minimaalne tegelikult saavutatud raadiolaine
$3 \cdot 10^{12}$	0,1 m/m	Valgusspektri piirid
$3 \cdot 10^{16}$	0,00001 m/m	
$4 \cdot 10^{14}$	0,00076 m/m	
$8 \cdot 10^{14}$	0,00037 m/m	
		Nähtava spektri piirid

On elektromagnetilised lained sarnased valguslaintele, siis võib arvata, et nad alluvad ka igasugu seadustele, millised on maksvad viimaste kohta. Tõepoolest on teada, et ka elektromagn. lainte suhtes leiavad tõendust peegelduse, murdumise, diffraktsiooni ja absorptsiooni reeglid.

Mõned kehad on valguslaine suhtes läbipaistmatud, kuid el. magn. lained tungivad nendest vabalt läbi (näit. dielektrikud, hooned, inimese keha), kaotades viimastes ainult väikese

osa oma energiast. Teised kehad, näit. metallid, on ka el. magn. laine suhtes „läbipaistmatud“. Viimased neelavad (absorbeerivad) el. magn. laine energia suurema osa, osalt tõrjuvad (reflekteerivad) selle tagasi. El. magn. laine peegeldumine (reflektsioon) sünnib peegelduse üldiste seaduste järele. Õhk atmosfäärilise rõhumise all on teatavasti dielektrik; kuid õhutihedus kahaneb ühes kõrgusega ja näit. 45 miili kõrgusel on õhurõhumine umbes 1 m/m; ioniseeritud seisukorras võib õhk siin elektrit hästi juhtida. Lühikesed valguslained tungivad ka sellest kõrgemast õhukihist takistamatult läbi, kuid pikad el. magn. lained saavad siin osalt absorbeeritud, osalt tõrjutud maapinna poole tagasi. Joon. 134 kujutab el. magn. laine



Joon. 134.

levimise ligikaudset teekonda. Selgub, et el. magn. lained võivad tungida ka vaatepiiri taha, milleks aitab kaasa peegeldumine atmosfääri ülemisest kihist (n.-n. Heavside'i kiht) ja elektriseeritud õhumassidest ning pilvedest. Ainult väike osa lainete energiast pääseb atmosfääri vööst läbi ja kaob lõputa ilma-ruumi.

On el. magn. laine tekkinud ühes keskuses ja satub omal teel teise, näit. tihedama või elastsema keskusesse, siis muudab ta oma sihi ehk **murdub**. See nähe nimetatakse refraktsiooniks. Laine, mis kohtab omal teel järjest hõredamaid atmosfäärikihte, ei jookse sirgjooneliselt, vaid murdub tihedama kihi, s. t. maapinna poole.

On tähelepanud, et merepinna mööda levides jõuab el. magn. laine oma energia tagavaraga kaugemale, kui kuiva maad mööda. Samuti mõjub el. magn. laine levimise kaugusele valgustus; ööpimeduses tungib ta üldiselt märksa kaugemale kui päevavalguse juures. Atmosfääri mõju el. magn. laine levimisele pole veel küllaldaselt uuritud; ta muutub aastaegade ja

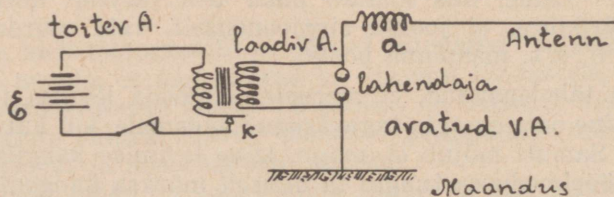
isegi ööpäeva jooksul. Raadiojaamast väljasaadetud laine jookseb üle mägede ja orude, tungib läbi mitmest õhukihist, murdub ja põrkab ära, saab kohati neelatud jne.

Mida lühem on el. magn. laine pikkus, seda enam hakkab ta avaldama valguskiirte omadusi. Näit. ultralühikesed raadiolained, milliseid moodne raadiotehnika kasutab piltide üleandmiseks eetri kaudu, levivad vaid sirgjooneliselt ega küüni vaatepiiri taha. Selletõttu ei suuda praegused televisiooni saatejaamad pilte levitada üle 20—30 km.

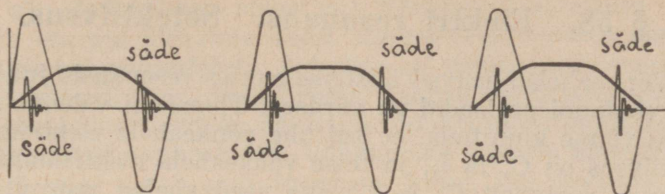
§ 57. Marconi sädetelegraf.

Eespool (§ 52) tähendasime, et juba Hertzil (1887. a.) läks korda leiutada elektrikiiri oma n.-n. **vibraatori** abil. Viimane kujutab enesest tavalist suletud võnkeahelat, mis teatavasti vaid õige nõrgalt kiirgab. **Marconi** teene seisabki selles, et ta asendas suletud võnkeahela avatud ahelaga, tõstes ostsil-laatori lahendaja ühe juhe kõrge masti otsa (antenniks) ja ühendades teise juhe maaga. Sarnase süsteemiga läks temal korda (1897) anda elektrikiirte produtseerimisele esmakordselt praktilise tähenduse, mis kogu maailma tähelepanu enesele köitis.

Marconi sädetelegrafi võnkeahela pooled olid üksteisest lahutatud lahendajaga (sädemikuga) ja saivad laetud Ruhmkorffi spiraalist (joon. 135). Võtme W pealesurumisega hakkab spiraali katkestaja k vibreerima, andes iga ühenduse ja katkestuse momendil sekundaarmähises kõrge pinge. Viimane laeb võnkeahela pooled nii kõrgele, et lahendajas igakord sünnib säde, mille vältel ahelas tekib rida kustuvaid võnkumisi ja ühenduses sellega väljub eeteri rida kustuvaid laineid. Vaotame võtme W peale lühidalt (näit. morsesignaal „e“), siis jõuab katkestaja k anda vaid mõned ühendused ja katkestused; lahendajas tekib vastav arv, näit. seitse, kaheksa sädet ja eeterisse levib samapalju kustuva laine seeriaid (joon. 136). Pikema signaali



Joon. 135.



Joon. 136.

juures, näit. morse signaal „t“, tekib neid sädemeid ja ühtlasi ka lainteseeriaid rohkem. Lühikeste ja pikkade signaalide kombinatsiooniga (Morse tähestik) avaneb võimalus levitada telegramme.

Kirjeldatud saateaparadi skeem on väga lihtne, kuigi võimaldab signaliseerimist vaid lühikese maa peale (paarkümmend km). Põhjus seisab selles, et skeemi avatud vônkeahel suudab endasse koguda õige vähe elektrienergiat. Viimane oleneb teatavasti vônkeahela pingest V ja elektrimahust C :

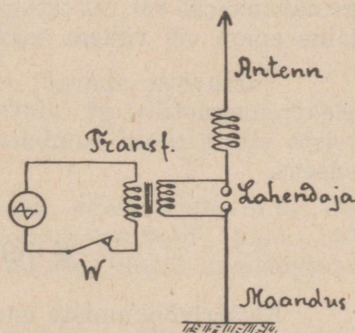
$$E = \frac{CV^2}{2}$$

Olgugi, et pinge on õige kõrge, on lahtise vônkeahela (antenni) enese elektrimaht äärmiselt väike ega suuda endasse koguda kuigi palju energiat.

Lihtsuse ja odavuse tõttu leiab Marconi skeem teatud otstarbetel käsitamist veel nüüdki. Pikema laine saamiseks lülitakse vônkeahelasse n.-n. **pikenduspool** a (vaat. skeem joon. 135). Tähenäidatud skeemil võib eraldada kolm ahelat: **toitev ahel** — alalise voolu allikas, morse võti, primaarmähis ja vibraator; **laadiv ahel** — sekundaar mähis ja lahendaja; **avatud vônkeahel** — antenn, pikenduspool, lahendaja ja maandus (maandus).

Alalise voolu allika asemel võib kasutamisele võtta vahelduva voolu allikas, näit. alternaator, mis teeb skeemi veelgi lihtsamaks (joon. 137), kuna viimasel juhul jääb välja haamerkatkestaja.

Saateaparadi puuduseks on veel, et signaalide toon on kärisev ja segab teiste raadiojaamade vastuvõtmist.



Joon. 137.

§ 58. Elektri resonans. Selektiivsus.

Võnkeahelad asuvad üksteise suhtes **resonansis** juhul, kui nende **võnkumisperioodid on võrdsed**. Thomsoni valemit silmas pidades võime kinnitada, et kui ühe võnkeahela elektrimaht ja induktiivsus on C_1 ja L_1 ja teise võnkeahela elektrimaht ja induktiivsus vastavalt C_2 ja L_2 , siis need ahelad asuvad resonansis tingimusel, et

$$2\pi \cdot \sqrt{C_1 \times L_1} = 2\pi \cdot \sqrt{C_2 \times L_2}$$

See võrdsus peab alati paika juhul, kui $C_1 \times L_1 = C_2 \times L_2$.

Teiste sõnadega, ahelate resonansi ehk häälestustingimuseks on nende **elektrimahu ja induktiivsuse korrutiste võrdsus**. Soovides antud ahel teise suhtes häälestada, peame muutma ahela elektrimahtu või induktiivsust (või mõlemad korraga), senikui hakkab maksma eelnimetatud tingimus.

Resonans omab raadiotehnikas määratu tähtsuse kõigepealt võnkuva **elektrienergia üleandmisel** ühest ahelast teise; mis õige sagedat käsitamist leiab niihästi saate- kui vastuvõtte aparatides. Katse tõendab nimelt, et energia tähendatud üleandmine sünnib kõige intensiivsemalt juhul, kui ahelad asuvad omavahel resonansis.

Vastuvõtte aparatides soovitud elektromagnetilise laine parimaks vastuvõtmiseks tuleb vastuvõtte aparadi võnkeahelad häälestada valitud lainega, s. t. häälestada ühtlasi seda lainet levitava võnkeahelaga, mis sünnib teatavasti poolide vahetamise ja kondensaatorite sujuva pööramise teel. Resonansi seisukorras on valitud laine vastuvõtmine kõige tugevam. Samal ajal teiste el. magn. lainte energia, mis antud momendil ei vasta vastuvõtte aparadi häälestusele, sattub aparati märksa nõrgemal määral või mittesugugi ja võimaldab seega häälestatud laine enam või vähem segamata vastuvõtmist.

Vastuvõtte aparadi omadus resonansi põhialusel eristada elektromagnetilistest laintest ühe soovitud laine, samal ajal teiste lainte mõju sumbutades, nimetatakse aparadi **selektiivsuseks**.

§ 59. Sidestus.

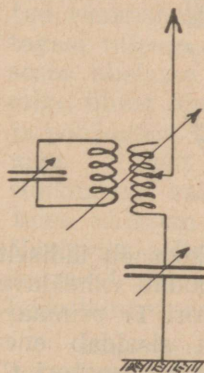
Elektrivõnkumiste energia üleandmine ühest ahelast teise sünnib **sidestuse** kaudu. Tähendatud sidestus üldiselt võib olla kolmesugune:

a) **Induktiivne** sidestus. Nimetatud sidestuse juures sünnib energia ülekanne ühest ahelast teise elektromagnetilise induksiooni põhimõttel. Sidestus on tugevam ja energia ülekanne intensiivsem, mida ligemal asuvad üksteisele n.-n. **sidestuspoolid**. Joon 138 on näidatud induktiivselt sidestatud suletud ja avatud võnkeahelad. Võnkumiste energia ülekanne ühest ahelast teise läheb eriti tugevaks juhul, kui mõlemad ahelad asuvad omavahel resonansis.

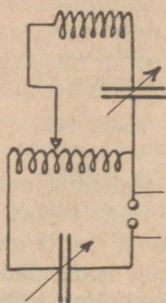
Induktiivse sidestuse teostamiseks asetatakse sidestuspoolid üksteise lähedale püsivalt (püsiv sidestus) või liikuvalt (muutlik sidestus); muutliku sidestuse juures sageli asetatakse sidestuspoolid üksteise sisse.

Skemaatiliselt märgitakse muutlikku sidestust, nagu muutlikku elektrimahtugi — noolega (joon. 138).

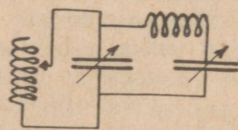
b) **Galvaaniline** ehk **autotransformaatoriline** sidestus teostatakse sel teel, et võnkeahelate n.-n. sidestuspoolist mõlemad ahelad omavad teatud arv ühiseid kerde (joon 139). Energia ülekanne sünnib otsese kontakti kaudu ja on seda tugevam, mida rohkem ühiskeerde omavad sidestatud ahelad, eriti veel kui nad on omavahel häälestatud.



Joon. 138.



Joon. 139.



Joon. 140.

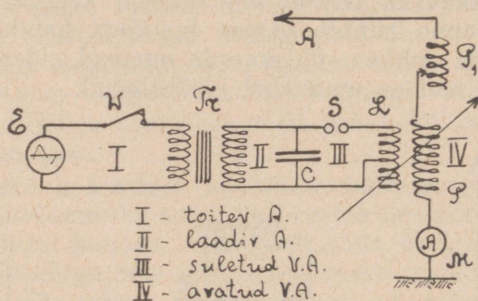
d) **Elektriline** ehk **mahtuvusline** sidestus sünnib sel teel, et võnkeahelad omavad ühiseid kondensaatoreid (joon. 140). Sidestus on seda tugevam, mida suurem ühise kondensaatori maht.

Energia ülekanne sünnib siin ühise elektrivälja kaudu ja on eriti intensiivne ahelate resonansi juures.

§ 60. Seotud süsteemid. Brauni saateaparati.

Eespool (§ 57) kirjeldatud Marconi tüüpi saateaparadi tähtsamatest puudustest oli ta väike tööulatus, kuna avatud võnkeahel ei võimalda elektrimahu soovikohast suurendamist ja seega suurema energia koondamist ahelasse. Suletud võnkeahel sellevastu võimaldab elektrimahu igasugust suurendamist, kuna elektrimaht siin on koondatud peamiselt kondensaatorisse, viimase aga võime teha mistahes suure. Kuid suletud võnkeahela nõrgaks küljeks on tema nõrk kiirgavus.

Tähendatud vastolud andsid prof. Braun'ile mõtte mõjukama saateaparadi ehitamiseks kasutada mõlemat tüüpi võnkeahelaid koos. Nimelt arvas tema, et oleks tarvis võnkumised esmalt produtseerida suletud võnkeahelas, mis võimaldab suuremat energia kogumist ja sellejärel võnkumised sidestuse kaudu üleanda avatud võnkeahelale elektromagnetiliste lainete levitamiseks.



Joon. 141.

Brauni saateaparadi skeem (joon. 141) koosneb üldiselt neljast ahelast. Esimene, n.-n. **toitev** ahel sisaldab vahelduva E. M. J. allika, morsevõtme W ja transformaatore Tr primaarmähise (§ 79). Järgmine n.-n. **laadiv** ahel sisaldab eneses transformaatore Tr sekundaarmähise ja kondensaatori C. Selle ahela ülesandeks on vahelduva E. M. J. amplituudi momentidel laadida kondensaator nii kõrge pingeni, et see lahendub üle sädemiku S.

Kolmas ahel on **suletud võnkeahel** ja koosneb kondensaatorist C, sädemikust S ja omainduktsioonpoolist L. Neljas ehk **avatud** võnkeahel koosneb antennist A, pikenduspoolist P₁, sidepoolist P, ampermeetrist ja maaühendusest M. Ampermeeter on termilist tüüpi ja lülitakse maaühenduse lähedale, kuna selles kohas voolutugevus on maksimaalne (puhetis).

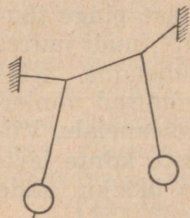
Vaotades võtmele alternaatori täistiirlemise ajal, tekib toitvas ahelas madalasadusega vahelduv vool. Laadivas ahelas see vool transformeeritakse kõrgepingeliseks (§ 79) ja vastavalt sellele laetakse ka kondensaator. Viimase pinge tõuseb amplituudi momentidel nii kõrgele, et iga amplituudi juures tekib lahendajas säde ja sünnib kondensaatori lahendus. Kin-nises võnkeahelas tekivad iga säde momendil võimsad võnkumised, mis induktiivselt antakse üle lahtisele võnkeahelale. Viimane tarvitab üleantud energia elektromagnetiliste lainete levitamiseks, milledest väljub üks kustuv seeria iga üksiku säde tekkimisel.

Energia ülekanne ühest ahelast teise on eriti intensiivne, kui avatud võnkeahel saab suletud ahelaga häälestatud. Häälestamine sünnib järgmiselt. Korraldame suletud võnkeahel valitud lainele. Nüüd paneme alternaator käima, vaotame võtmele W ja paneme tähele antenni ampermeetri hälveid, muutes pidevalt avatud võnkeahela induktiivsust pikenduspooliga. Resonansi momendil on ampermeetri hälve maksimaalne.

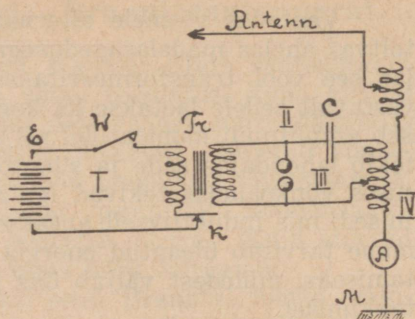
Energia ülekanne suletud ahelast avatud ahelasse on veel sidestusest. Katse näitab, et liig tugeva sidestuse juures on energia üleminek küll intensiivne, kuid sellejuures tekivad mõningad väärnähted. Nimelt sünnib siinjuures nähe, et avatud võnkeahelasse üleantud võnkumised hakkavad induktiivselt tagasi tulema suletud ahelasse, siit uuesti üle kanduma lahtisesse ahelasse jne.; seesugune energia mitmekordne paiskamine ühest ahelast teise toob enesega liigseid energiakadusid ja põhjustab, nagu mõõtmised näitavad, n.-n. **kaksiklaine** tekkimist. Nimelt sünnib tugevasti sidestatud ahelates mitte üks võnkumine, vaid kaks — milledest ühe periood on suurem ja teise väiksem ahelate normaalsest (häälestatud) perioodist. Vastavalt sellele väljub antennist kaks lainet. Vastuvõtte aparadid võtavad vastu muidugi ainult ühe laine energia, kuna teise laine energia jääb kasutamata.

Kirjeldatud energia kõikumine sünnib analoogiliselt kahes võrdse perioodiga pendlis, mis omavahel seotud mõne elastse ühendusega, näit. riputatud ühisele nõõrile (joon. 142). Kui siin paneme üks pendel kiikuma, siis võib tähelepanna, et selle pendli energia kandub üle sidestuse kaudu teisele pendlile, kuna viimane hakkab kiikuma järjest kasvava amplituudiga. Samal ajal jääb esimese pendli kiikumine järjest väiksemaks ja hetkel, kui ta jääb seisma, on teise pendli kiikumine kõige hoogsam. Kohe selle järele hakkab aga esimene pendel uuesti ja kasvava hooga kiikuma teise pendli energia arvel, kuni teine pendel omakorda seisma jääb. Nii kordub see energia ümberpumpamine mitu korda, kuni energia kaob ja mõlemad pendlid jäävad seisma.

Kuna kirjeldatud energia pulseerumine ei ole saateaparadis soovitatav, püütakse leida maksimaalse sidestuse asemel teatud



Joon. 142.



Joon. 143.

keskmise, praktilisem sidestus. Samal ajal püütakse suletud võnkeahela sädet teha võimalikult lühikeseks, kuna sädekestumise saad ahel katkestatud ja energia tagasituleku tee tõkestatud. Sädevältuse lühendamist saavutatakse suure kiirusega pöörlevate või hästi jahutatavate erilisel konstrueeritud sädemikkudega.

Joon. 143 on näidatud Braun'i saateaparadi skeem alalise voolu allikaga. Loomulikult tuleb sel juhul toitvasse ahelasse lisada automaat- (haamer-) katkestaja **K**. Võrreldes eelmise skeemiga on erinevus veel selles, et kondensaatori ja lahendaja kohad on ümber vahetatud. See asjalugu olulist muudatust juurde ei too, kuna kondensaator saab transformaatori sekundaarmähisest ikkagi laetud, kuigi üle sidestuspooli. Avatud võnkeahel on suletud ahelaga seotud autotransormator-sidestusega.

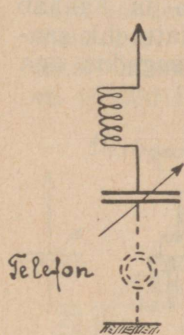
Käesolevaga ja eespool (§ 57) on kirjeldatud kustuva lainega töötavad saateaparadid. Meie aja raadiosaate tehnika kasutab peamiselt kustumata laineid, mis erilisel produtseeritakse katoodlampgeneraatorites.

§ 61. Elektromagnetiliste laine vastuvõtmine. Koherer. Detektorid.

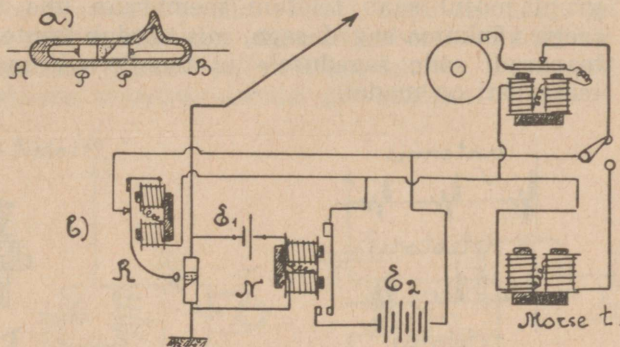
Kui elektromagnetiline laine oma levimisel kohtab metalljuhet, näit. antenni, siis muutub tema energia osaliselt uuesti elektrivoolu energiaks, kuna juhes tekivad lainele vastava perioodiga võnkumised. Need võnkumised on eriti intensiivsed avatud võnkeahelas ja eriti veel, kui viimane saab levivale lainele **häälestatud** (omainduktsiooni ja elektrimahu muutmise teel). Kinnipüütud võnkumiste kuuldavale toomiseks sisse-

lülides lahtisesse võnkeahelasse telefon (joon. 144), ei saaks meie mingit efekti, kuna telefoni poolid avaldaksid kõrgesageduse võnkumistele liig suure induktiivtakistuse ja sumbutaksid võnkumised sootu ära. Isegi sel juhul, kui induktiivtakistus oleks ületatav, peab arvama, et telefoni membraan oma inertuse tõttu ei suudaks reageerida kõrgesageduse võnkumistele; lõpuks, kuigi membraan võnguks, ei reageeri kõrgele sagedusele inimese kuulmise organid, mis suudavad vastuvõtta võnkumisi sagedusega mitte üle 40.000.

Selge on, et kõrgesageduse võnkumiste kuuldavale toomiseks peame nad muutma madalsageduslisteks, mis sünnib eriliste aparatidega ehk n.-n. **detektoritega**.



Joon. 144.



Joon. 145.

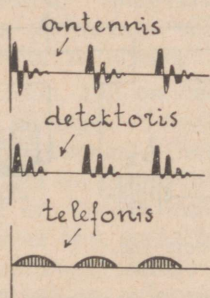
Marconi oma esimestel katsetel kasutas vastuvõtte aparadis Branly poolt 1890. a. leiutatud n. n. **kohereri**. Viimane kujutab enesest klaasitorukese AB (joon. 145-a) sisse asetatud kahte metallektroodi P—P, millede vahele on riputatud peenikest metallpulbrit (kuld, teras). Harilikus seisukorras tähendatud pulbril hulgaliste õhupooride tõttu on suur elektritakistus. Katse näitab aga, et niipea kui kohereri läbib elektromagnetiline laine, väheneb järsult tema takistus (paartuhat oomini), nii et selles seisukorras võib koherer juba juhtida nõrka voolu. Kohereri endise juhtimatuse tagasisaamiseks tuleb ta kergelt raputada.

Kohereri kasutamiseviis seisib järgmises. Koherer ühendati otsekohe vastuvõtte aparadi antenniahelasse (joon. 145-b), kuid rööbiti asus ta ühes elemendi E_1 ja elektromagneediga N omaette ahelas. Harilikus seisukorras kohereri suure takistuse tõttu viimases ahelas voolu ei ole.

Elektromagnetiliste lainete mõjul langeb kohereri takistus ja elektromagneti ahelas hakkab jooksma elektrivool, mis automaatselt (relee) sulgeb kohaliku patarei E_2 elektrikõlistajaga või Morse telegrafi aparadiga. Kuna koherer endise seisukorda ise tagasi ei tule, kestaks vool ka siis, kui el. magn. laine on möödunud ja Morse aparat kogu aeg kirjutaks katkestamata kriipsu. Selle ärahoidmiseks on patarei ahelasse rööbiti Morse aparadile lülitud eriline elektromagnet-haamrike R, mis voolu all olles kohererile kogu aeg koputab ja sellega kohe teda takistuse poolest endiselt juhtimatuks teeb.

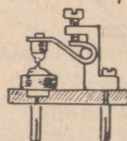
Ebatundelikkuse tõttu tõrjusid kohereri peagi kasutamisel välja n. n. **ventiildetektorid**. Nende omadus seisab selles, et olles lülitatud ahelasse, juhivad nad kõrgesageduslisi vahelduvaid voolusi (võnkumisi) peamiselt ühes suunas, avaldades voolule teises suunas õige suurt takistust.

Oletame näit., et saatejaamast on levitatud kustuvatel laintel signaal „e“. See koosneb mitmest kustuva laine seeriast (joon. 136), mis vastuvõtte antenniahelas indutseerivad samapalju seerijaid kustuvaid võnkumisi. Juhtides viimased ventiildetektorisse, leiame, et detektor laseb läbi voolu vaid ühes suunas, andes igas seerias ahelas rea kõrgesageduslisi, kuid juba **ühesuunalisi** voolutõukeid (joon. 146). Kui nüüd sama ahelasse on lülitatud telefon, siis tähendatud voolutõugete grupi mõjul saab telefoni membraan ühe tõuke ja hakkab seega võnkuma sagedusega, mis võrdub lainteseeriaste ehk saateaparadi säde sagedusele ja toonile. Viimane sagedus aga teatavasti on madal.



Joon. 146.

tsinkiit - halkopüriit



Joon. 147.

Ventiildetektoritest on tuntuimad n. n. **kristall-detektorid**. Nimelt on tähelepandud, et ventiildetektorid omadusi hakkavad avaldama mitmed mineraal-kristallid kokkupuutumisel omavahel, (nagu tsinkiit, halkopüriit) või kontaktis mõne metalliga, näit. galena kristall (joon. 147). Elektromagnetiliste laintest vastuvõtmisel tuleb igakord otsida parimat kontakti, millejuures vastuvõtmine on kõige tundelikum.

Moodsates raadioaparatuurides on kasutamisele võetud n. n. **lampdetektorid**, millised on ehitatud katoodelampide omadustel.

§ 62. Vastuvõtte lihtsamad skeemid kristall-detektoriga.

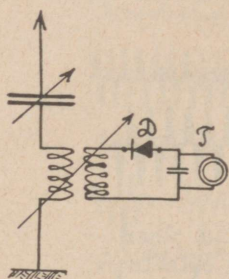
Elektromagnetiliste laintest vastuvõtmiseks on vaja moodustada antennist, poolidest, pöördkondensaatorist ja maaühend-

dusest avatud võnkeahel (joon. 148) ja viimane sidestada n. n. **detektorahelaga**, mis koosneb sidepoolist, detektorist ja telefonist.

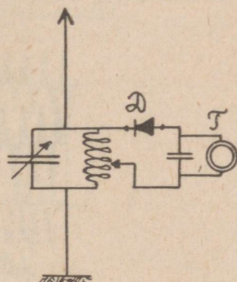
Häälestades avatud võnkeahel mõnele lainele, saame selles vastavad elektrivõnkumised, mis tekitavad detektorahelas indutseeritud võnkumisi. Viimased saavad detekteeritud ja tulevad telefonis kuuldavale.

Puhtama segamata vastuvõtte saavutamiseks võib sidesüstust soovi korral nõrgemaks teha.

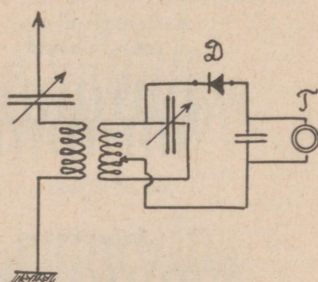
Antenniahela häälestamine sünnib poolide vahetuse teel ja kondensaatoriga C. Joon. 148 näidatud juhul on tegemist n. n. **lühikeselaine skeemiga**. Pika laine skeemi saamiseks on vaja kondensaator ühendada poolile rööbiti, nagu see näidatud joon. 149. Vastuvõtteaparatis skeemi ümbermoodustamine pikalt lainelt lühikesele sünnib erilise lülilja kaudu. Joon. 149 on võetud induktiivse sidestuse asemel galvaaniline.



Joon. 148.



Joon. 149.



Joon. 150.

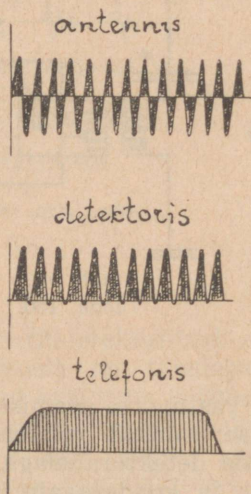
Selektiivsema (kuigi nõrgema) vastuvõtte saamiseks võib antenni ahel esmalt sidestada erilise suletud võnkeahelaga (joon. 150) ja alles viimane ühendada detektorahelaga. Suletud ahel koosneb iseseisvast poolist ja kondensaatorist. Viimases skeemis tuleb soovitud lainele häälestada muidugi mõlemad võnkeahelad.

Nagu skeemidelt näha, lülitakse telefonidele rööbiti sagedasti n. n. **plokk-kondensaator** selleks, et detektorahelas kõrgesageduslised voolukomponendid leiaksid kergema läbikäigu selles kondensaatoris võrreldes suurt induktiivtakistust omava telefoniga. Viimased tavaliselt võetakse paaris kummalegi kõrval, ühendades nad omavahel järjestikku või rööbiti.

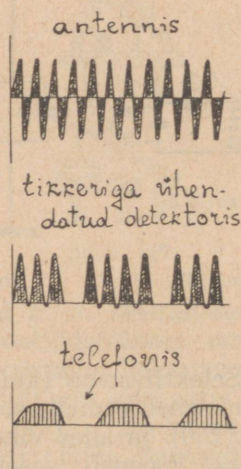
§ 63. Kustumata laine vastuvõtmine. Moduleeritud laine.

Eespool (§ 61) kirjeldatud el. magn. laine vastuvõtmise viis detektoriga ei annaks tagajärgi, kui tegemist on kustumata laintega. Nagu joon. 151 näha, seisaks siin detektori mõju selles, et detektorahelas vastuvõetud signaali (näit. signaal „t“) vältel tekiks ahelas katkestamata rida ühesuunalisi kõrgesageduslisi voolutõukeid, mis oma kogumõjus sünnitaksid telefonis efekti, nagu läbistaks teda selle signaali vältel teatud keskmise tugevusega alaline vool. Teatavasti reageerib telefoni membraan sarnase voolule vaid sellega, et annab ühe klõpsu signaali algusel ja teise klõpsu lõpul, kuid vibreerima ega helisema ei hakka.

Raadioasjanduse varematal aastatel võeti kustumata laineid kristall-detektoriga vastu sel viisil, et üksiku (lühikese või pika) signaali moodustav lainteseeria mehhaanilisel teel pidevalt katkestati, n. n. tikkerites. Tikker kujutas enesest



Joon. 151.

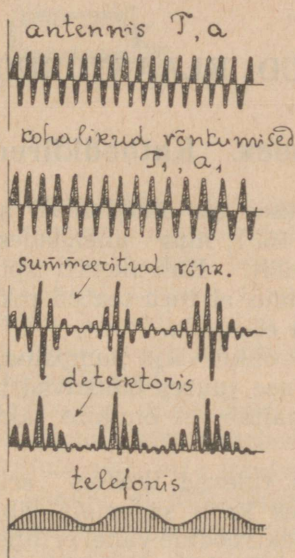


Joon. 152.

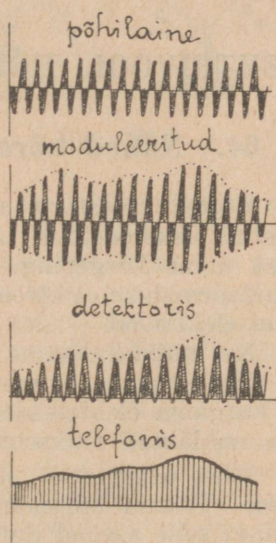
metalldiski, mille võis pöörlema panna uurimehhanismi või väikese elektrimootori abil. Diski pinda mööda libises peenike metallniit. Kuigi väliselt sile, omab diskipind hulga silmale nägematuid kühmukesti, mille tõttu libisev niit diskil pöörlemisel annab pidevaid kontaktikatkestusi. Lülides seesugune tikker detektorahelasse oli võimalik kustumata laineid telefonis kuuldavale tuua, kuna selle membraan üksikute

signaalide vältel sai teatud arv võnkeid (joon. 152). Vastuvõtte toon ei olnud puhas, vaid sarnanes toonita kahinale.

Hiljem hakati kustumata laineid vastuvõtma n.-n. **heterodüüni** põhimõttel, mis seisab järgmises. Oletame, et võnkeahelas on tekkinud ühel või teisel põhjusel kustumata võnkumised teatud perioodiga T ja amplituudiga a . Kui nüüd samal ajal kohalolevast allikast indutseerida sama ahelasse teine kustumata võnkumine perioodiga T_1 ja amplituudiga a_1 , siis nende kahe võnkumise liitumisel tekib ahelas võnkumiste **pulseerumine** (joon. 153). Pulsatsioonid tulevad nimelt esile juhul, kui mõlema võnkumise perioodid on veidi **erinevad**. Sarnane pulseeruv võnkumine peale detekteerimist tuleb telefonis kuuldavale väga



Joon. 153.



Joon. 154.

puhta heliseva toonina, kuna pulsatsioonide arv võib olla soovikorral madalama või kõrgema (kõrvale kuuldava) sagedusega. Muutes omal äranägemisel kohalike võnkumiste ahela perioodi, võime seega antud kustumata võnkumist kuuldavale tuua soovikorral madalama või kõrgema tooniga. Vastuvõtte toon läheb järjest kõrgemaks, mida rohkem abiahela periood teeme erinevaks kinnipiütud võnkumiste perioodi suhtes; ta muutub järjest madalamaks, mida vähem need perioodid üksteisest erinevad ja kaob ära resonansi juures.

Ringhäälingute raadiolevi (joon. 154) põhjeneb teatavasti kindla kustumata põhilaine alusel, mille amplituud mikrofoni kaasabil saab muudetud (**moduleeritud**) vastavalt heli ja kõne sagedusele ja kujule.

Sellest tekkinud n.-n. **moduleeritud** laine pärast detekteerimist tuleb telefonis uuesti kuulduvale heli ja kõnena, mille tõttu ongi võimalik ringhäälingute kavade levi vastuvõtta hariikkude kristall-defektor aparatidega, kuigi viimased kustumata laine vahenditu vastuvõtmist ei võimalda.

X OSA.

ELEKTRIVOOOL HÕRENDATUD KLAASTORUDES.

§ 64. Nähed hõrendustorudes. Katoodkiired.

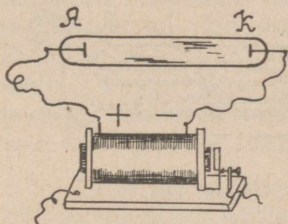
Võttes klaastoru, mille otsadesse on õhukindlalt sissejoodetud elektroodid A ja K (joon. 155), ning ühendades viimased mõne kõrgepinge allikaga, näit. Ruhmkorffi spiraali sekundaarmähise elektroodidega, leiame, et toru teatud pikkuse juures elektrivool (säde) toru läbida ei suuda.

Kui nüüd hakkame klaastorust õhku välja pumpama, siis võib tähele panna, et teatud hõrenduse juures hakkavad torus läbi kargama elektrisädemed, mis näitab, et õhukihi takistus torus on läinud väiksemaks.

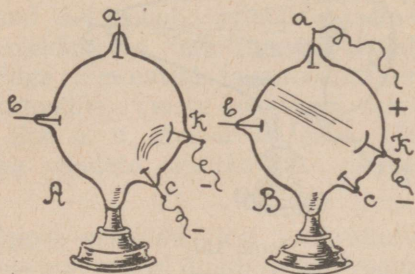
Toru edaspidisel hõrendamisel tulevad ilmsiks erilised nähed. Teatud hõrenduspiiri juures kaob sädemete läbikargamine; selle asemel ilmub torus elektroodide vahel eriline valgusjuga (**hõrendusel alla 100 m/m**). Veel suurema hõrenduse juures (**alla 1 m/m**) ilmub katoodi (vaat. § 44 eelviimane lõik) läheduses sinakas valgus; toru keskmine osa jääb pimedaks, kuid anoodipoolsel otsal ilmuvad punakad valgusekihid. Hõrenduse edaspidisel suurendamisel (**alla 0,02 m/m**) kaovad tähendatud valgusekihid, kuna anoodipind hakkab nüüd ise heledalt hõõguma; samal ajal hakkavad toru klaasseinad sinaka valgusega helkima (**fluorestseeruma**).

Hõrendustorusid on olemas mitmet tüüpi ja mitmesugu hõrendusastmega (Geissleri, Grookesi, Hittorfi jne. torud). Täielise hõrenduse juures kaovad igasugu nähed, kuna takistus elektrivoolule kasvab nähtavasti uuesti ülepääsematuks.

Võtame näit., hõrendustoru A, mis on varustatud kolme elektrodiga a, b ja c anoodiühenduste jaoks ja ühe elektrodiga K katoodiühenduse jaoks (joon. 156). Oletame, et toru hõrendus vastab esimesele astmele (alla 100 mm). Ühendades K katoodiga ja üks vabalt valitud ülejäänud teistest elektrodidest anoodiga, leiame, et ühendatud elektrodide vahel tekib ühenduse ajal valgusjuga.



Joon. 155.



Joon. 156.

Võttes nüüd samasuguse toru B, kuid hõrendusega vastavalt viimasele astmele (alla 0,02 mm) ja ühendades K endiselt katoodiga ja mõni teine elektrod anoodiga, leiame, et klaaspind hakkab üldiselt fluorestseeruma, kuid peale selle tekib otsejoones katoodi vastas klaaspinnal eriti heledalt fluorestseeruv plekk, mille tekitavad katoodi pinnalt väljuvad erilised n. n. **katoodkiired**.

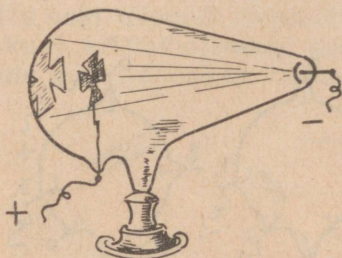
Katse ja mõõtmised tõestavad, et katoodkiired levivad katoodi pinnalt **sirgjooneliselt** nagu valgusekiiredki. Asetades kiirtevihule risti ette piluga varustatud plaadikese mitmesugu aimest, leiame, et katoodkiired **ei suuda metallist ega klaasist läbi tungida** (välja arvatud õige õhuke alumiiniumplekk).

Kirjeldatud omaduste tõestamiseks on joon. 157 kujutatud tuntud katse, milles ristikujuline metallist ekraan põhjustab toru tagaseinal fluorestseerival plekil ristile vastava varjukuju ilmumist.

Katoodkiired avaldavad veel teisi huvitavaid omadusi: näit. kannavad enesega soojust, mille tõenduseks võiksime anda katoodile K nõguspeegli kuju ja paigutada selle tulipunkti mõne metallkehakese; viimase temperatuur hakkab kiiresti tõusma ja võib tõusta isegi metalli hõõgumiseni.

Katoodkiirtel on tugev keemiline mõju. Valgustundelise emulsiooniga kaetud fotoplaat muutub mustaks, kui teda „valgustada“ katoodkiirtega. Pole huvituseta veel märkida, et ka-

toodkiired võivad avaldada isegi mehhanilist mõju kehadele, nagu seda tõestab joon. 158 näidatud katse. Siin on hõrendustorusse paigutatud omal teljel vabalt liikuv metalltiivik. Katoodkiirte all hakkab see tiivik pöörlema ja anoodi suunas liikuma.



Joon. 157.



Joon. 158.

Kui hõrendustorusse katoodkiirte teele katoodi ja anoodi vahele asetame kolmanda isoleeritud keha, mis on ühendatud elektroskoobiga, siis leiame, et see kolmas keha elektriseerub katoodkiirte all negatiivselt.

Metallpilust läbilastud katoodkiirte vihk **paindub magnetpoolusi** ligitoomisega nii, nagu oleks tegemist alalise vooluga varustatud juhega, milles voolusuund vana vaadete seisukohast tuleb arvata katoodkiirte levimisele vastu.

Kõiki eespool kirjeldatud nähteid ja veel teisi asjaolusid arvesse võttes on leitud, et katoodkiirtes on tegemist **vabade elektroonide**, s. t. ainega mitteseotud negatiivse elektri laengute liikumisega.

§ 65. Elektroon-torud (katoodlambid).

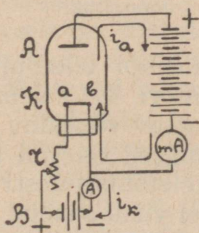
Elektrijuhedes peituvaid vabu elektroone võib E. M. J. survel juhedes liikuma sundida, millejuures need elektroonid üldiselt juhedest välja ei pääse. Teiselt poolt on aga tähele pandud, et kui metalljuhe temperatuur tõsta näit. hõõgumiseni, siis hakkavad vabad elektroonid juhest välja „aurama“ ja seda suuremal määral, mida kõrgem on juhe temperatuur. Elektroonide tähendatud väljalendamine ehk n. n. **emissioon** on eriti tugev eriliste ainete (baarium, toorium) hapendite ehk oksüüdidega kaetud metallniitide hõõgumisel.

Kui seesugune hõõgniit **ab** (joon. 159) asetame tühjaks pumbatud klaastorusse ja hakkame niiti akkumulaatorpata-

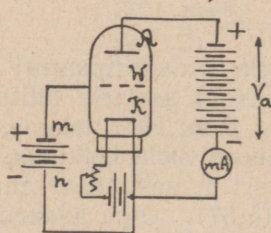
reist (**kütapatari**) **B** saadud vooluga kuumendama, siis tekib torus hõõgniidi ümber väljalendavatest elektroonidest „pilveke“, mis on seda tihedam, mida kuumem juhe **ab**, teiste sõnadega — mida tugevam küttevool. Kui nüüd selles n. n. **elektroontorus** ehk **katoodlambis** hõõgniidi **K** vastu asetame sama torusse teine elektrood (n. n. **anood**) **A**, mille ühendame alalise E. M. J. allika (n. n. **anoodpatari**) plus-poolusega, siis elektriseerub anood **A** positiivselt ja hakkab külge tõmbama hõõgniidist (n. n. **katoodist**) väljunud elektroone; viimaste asemel lendavad katoodist välja uued elektroonid, mis liiguvad anoodi poole, saavad siin omakord külge tõmmatud ja anoodpatari E. M. J.-ga ülekantud uuesti katoodile. Teiste sõnadega, tekib alaline elektroonide liikumine ehk n. n. **anoodivool** joon. 159 nooltega näidatud suunas (vana vaadete seisukohast alaline vool vastupidises suunas).

Tähendatud anoodivool lõppeb otsekohe, kui katkestame küttevoolu ahela. Küttevoolu ahela sulgemisel ilmub teatud voolutugevuse juures (reguleeritakse küttereostaadiga r) anoodivool uuesti ja antud anoodpatari pinge juures, näit. 80 v., saame vastavalt iga küttevoolu i_k väärtusele vastava anoodivoolu täitsa kindla väärtuse i_a . Anoodivoolu ahela elektroodide **A** ja **K** vahelise osa suure oomilise takistuse tõttu on anoodivool üldiselt väga nõrk (mõned milliamperid).

Küttevoolu i_k kindla suuruse juures võib anoodivoolu suurendada veel anoodpatari pinge tõstmisega, kusjuures igale anoodipingele vastab oma kindel anoodivool. Teatud anoodipinge väärtuse juures see anoodivool enam ei tõuse ja püsib endisena (n. n. **küllastusvool**) vaatamata anoodipinge edaspidisele tõusule. Viimane asjalugu näitab, et anood tõmbab enesesse kõik hõõgniidist väljuvad elektroonid; anoodivoolu tugevust võib nüüd tõsta veel vaid hõõgniidi temperatuuri, s. o. küttevoolu tõstmisega (kui see lubatud on).



Joon. 159.

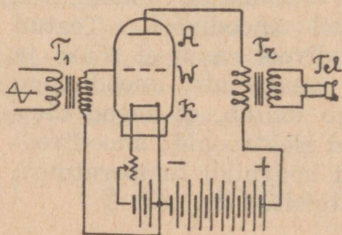


Joon. 160.

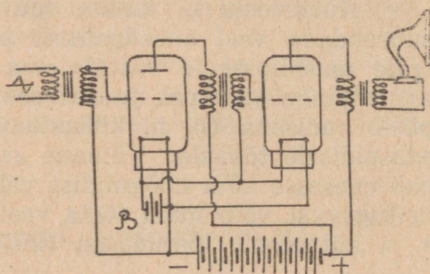
Paigutame nüüd katoodlampi anoodi ja katodi vahele veel kolmas elektrood ehk n. n. võre (joon. 160) W ja ühendame viimane mõne E. M. J. allikaga, nagu näidatud skeemil.

Oletame, et küttevool i_k ja anoodipinge V_a omavad kindla väärtuse; sel juhul jookseb anoodahelas kindla väärtusega anoodivool. Kui nüüd võrele W anname kõrvalisest E. M. J. allikast mn näit. positiivse potentsiaali, siis näitab mõõtmine, et positiivselt elektriseeritud võre tunduvalt kergendab elektronide läbivoolamist katoodilt anoodile ja anoodivoolu tugevus otsekohe tõuseb. Anname aga võrele negatiivse potentsiaali, siis takistab negatiivselt elektriseeritud võre elektroonide läbijooksu seda suuremal määral, mida kõrgem on võre negatiivne potentsiaal. Teatud negatiivse potentsiaali juures (võrdlemisi üsna väikese) tõkestab võre elektronide läbijooksu täielikult ja anoodivool kaob; teatud positiivse võrepinge juures jõuab anoodivool oma küllastuspiirini ega tõuse vaatamata võrepinge edaspidisele tõstmisele; suurema anoodivoolu võime saada nüüd veel vaid hõõgniidi temperatuuri tõstmisega, mis teatavasti tõstab elektronide emissiooni.

Eelpooltoodust näeme, et võrepinge ehk n. n. eelpinge abil on võimalik anoodivoolu suurtes piirides muuta antud muutmata küttevoolu ja anoodipinge juures. Oletades, et võreahelasse on lülitatud mõni vahelduva E. M. J. allikas (näit. mikro-



Joon. 161.



Joon. 162.

foni ahela transformaatore sekundaarmähis või telefoni ahelasse telefoni asemele lülitatud transformaatore T_1 sekundaarmähis — joon. 161), leiame, et võrele W sattuv vahelduv pinge paneb anoodivoolu **kõikuma**, millised kõikumised tulevad transformaatore T_r sekundaar ahelasse lülitatud telefoni uuesti kuuldavale (§ 87). Olgu allakriipsutatud, et sel viisil saadud anoodivoolu kõikumised on mitu või mitukümmend korda **tugevamad**, kui võretransformaatore T_1 primaarmähises tegutsevad

voolukesed. Selle järelduel saamegi transformaaatori T_r sekundaarmähise ahelasse lülitud telefonis tunduva **helivõimenduse**.

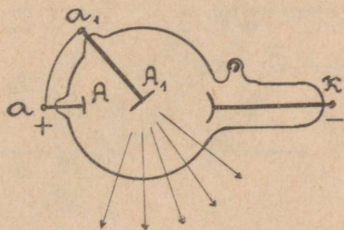
Kirjeldatud põhimõttel on ehitatud n. n. **häälevõimendajad** ja telefonikõne võimendajad. Eriti suur helivõimendus saavutatakse sellega, et ühe katoodlampi anoodahela kõikumised ei indutseerita otsekohe valjulthäälidajasse või telefonisse, vaid juhitakse järgmise katoodlampi võrele, saavutades sellega **mitmeastmelise võimenduse** (joon. 162).

Katoodlampide omadustest väärilb veel tähelepanu, et anoodivoolu kõikumiste sagedus vastab täpselt võrepinge sagedusele ja käib viimasega täpselt faasis isegi **kõige kõrgemate sageduste juures**. Selle väärtusliku omaduse tõttu leiavad katoodlampid määratu suurt kasutamist raadiotehnikas, mille jõuline areng ongi tingitud peamiselt nende katood- ehk n. n. **raadiolampide** leitamisest ja arengust.

§ 66. Röntgeni kiired.

Saksa füüsik Röntgen leidis (a. 1896), et juhul, kui hõrendustorus tekivad katoodkiired, hakkavad kohad, milledele katoodkiired klaasseinal langevad, oma pinnalt välja saatma isesuguseid **nägematuil kiiri**, mis tungivad edasi sirgjooneliselt läbi klaasseina ja isegi nende tee peal asetatud läbipaistmata kehast, ioniseerivad ümbritsevat õhku ja mõjuvad fotoplaadi valgustundelisele emulsioonile samuti kui valguskiired. Nende n. n. **röntgeni** kiirte saamiseks ehitatakse mitmesuguseid hõrendustorusid, milledest lihtsaim on kujutatud joon. 163. Nõguspeegli kujulise katoodi **K** ja anoodi **A** vahele on asetatud plaatinast **antikatood** A_1 , millest lampi töö ajal väljuvadki röntgeni kiired.

Antikatood on ühendatud anoodiga, kuna vastasel korral elektriseeruks ta otsekohe negatiivselt ja tõkestaks katoodkiirte voolu. Kuna röntgeni kiired läbistavad läbipaistmata kehade tihedamaid ja hõredamaid kohti isesuguse jõuga, on võimalik fotoplaadile nähtavale tuua näit. lihaste, luude ja siseelundite varjupilte, mis omab määratu suure tähtsuse arstiteaduses.



Joon. 163.

Asetame röntgeni kiirte teele risti ette mõne fluoristseeruva ainega kaetud ekraani, siis hakkavad ekraani üksikud kohad kiirgama seda tugevamini, mida rohkem langeb sellele kohale kiiri, tuues seega otsekohe nähtavale palja silmale nägematuid pilte keha sisemise osade vormide ja seisukordade üle.

II J A G U.

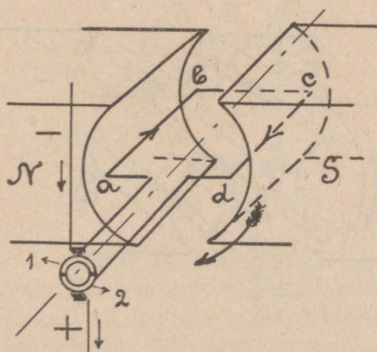
ELEKTROTEHNIKA RAKENDUSOSA.

I OSA.

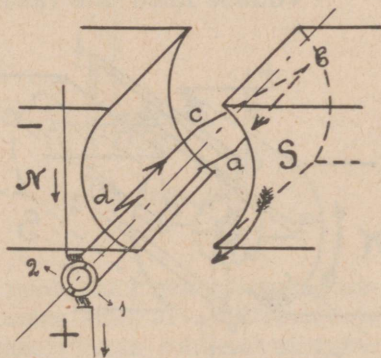
DÜNAMOMASIN.

§ 67. Alalise voolu dünamo põhimõte. Gramme'i rõngas.

Eespool nägime (§ 45), et magnetväljas tiirlevas metallraamis indutseerub tiirlemise ajal vahelduv E. M. J., mis annab kahel metall- ehk n. n. **kontaktrõngal** libisevate harjade vahel vahelduvat pinget. Et seesugusest raamist saada **alalist** pinget, võtame kahe kontaktrõnga asemel üksainus rõngas, kuid lõikame see rõngas pooleks kaheks n. n. **lestaks** ehk lameliks (joon. 164), mis omavahel isoleerime vilgukiviga. Selle



Joon. 164.



Joon. 165.

kontaktrõngale ehk nagu ta siin nimetatakse — **kollektorrõngale** magnetvälja neutraaljoonel paneme libisema kaks harja.

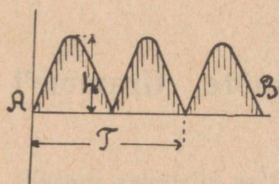
Joon. 164 kujutatud tiirlemise suuna ja raami seisukorra juures näeme, et raami osades **ab** ja **cd** indutseerunud E. M. J. on suunitud alumisest harjast välja (**plus-hari**) ja ülemisest harjast sisse (**miinus-hari**); teiste sõnadega, raamis asuvad vabad elektroonid surutakse teatud potentsiaalini ülemisele harjale, tekitades ühtlasi alumisel harjal võrdse potentsiaaliga elektroonide hõrenduse.

On raami töötavad osad **ab** ja **cd** jõudnud üle neutraaljoone (joon. 165), siis hakkavad nendes indutseeruma E. M. J. endisele suunale vastu; kuna aga samal ajal vahelduvad ka harjadega kontaktis olevad lestad (näit., alumine hari lesta 2 asemel asub kontakti lestaga 1 ja ülemine hari lesta 1 asemel — lestaga 2), siis näeme, et alumine hari jääb **endiselt plus-harjaks** ja ülemine — miinus-harjaks.

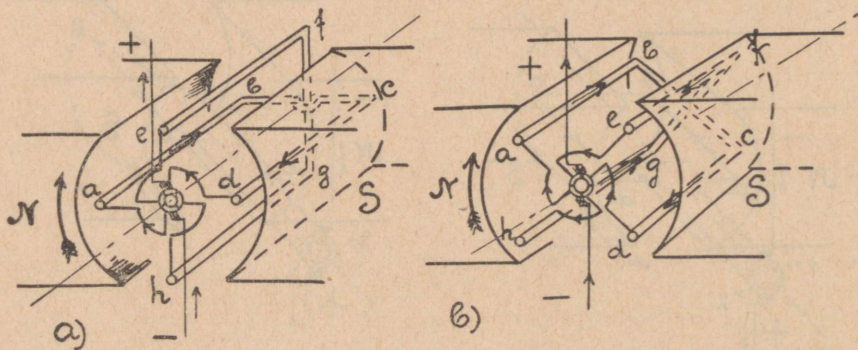
Raami ühe täistiiru kestvusel ei teki harjade vahel enam mitte vahelduv pinget, nagu eespool § 45, vaid ühesuunaline **pulseeruv** pinget, mille diagramm on kujutatud joon. 166, kus algusmoment on arvatud raami neutraal-asendist. Ühe täistiiru jooksul indutseerub kaks puhetist, millede amplituud on muidugi magnetvälja tugevusest, tiirlemise kiirusest ja töötavate juhede pikkusest.

Juhte pikendamise otstarbeks ei ühendata raamiosa **cd** otsekohe lestaga 2 (joon. 164), vaid keritakse enne seda juhe raamil mitu korda ringi n. n. **seksiooni** ja alles viimase lõpp joodetakse lesta 2 külge.

Võtame nüüd ühe raami või seksiooni asemel kaks, ase-



Joon. 166.

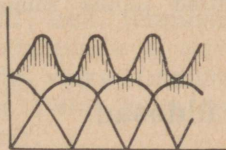


Joon. 167.

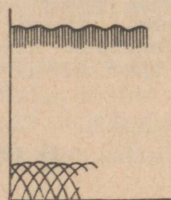
tades nad üksteisele risti; teiselt poolt jagame kollektorrõngas neljaks lestaks ja ühendame sektsioonide otsad vastavate lestadega, nagu see näidatud joon. 167-a. Sellel joonisel kujutatud momendil on induktsioon haripunktile jõudnud raamis **abcd**, kusjuures elektrivool surutakse välja ahelasse ülemist harja kaudu ja raami tagasi alumist harja kaudu. Raamis **efgh** samal ajal induktsiooni ei ole; sektsiooni otsadega ühendatud lestad ei seisa ühenduses ühegi harjaga.

Edaspidisel liikumisel, kui raamis **efgh** hakkab indutseeruma E. M. J., astuvad ka selle raami lestad kontakti vastavate harjadega. Nii joon. 167-b kujutatud momendil juhedes **ab**, **ef**, **dc** ja **hg** indutseerunud voolud surutakse välja ülemise harja kaudu, nagu varemaltki, ja tulevad sektsioonidesse tagasi alumise harja kaudu (miinus-hari).

Vaadeldes üksikasjalikult kõik liikumise faasid leiame, et kahe sektsiooni juures ühelgi momendil pinge harjade vahel ei lange nullini: on ühes sektsioonis E. M. J. null, siis on samal ajal ta teises sektsioonis maksimaalne — vaat. alumised kõverjooned diagrammil joon. 168. Et leida üldise pinge diagramm, tuleb igale ajamomendile vastavad perpendikulaa-rid geomeetriliselt liita; saame ülemise, tugeva joonega näidatud kõvera, mis iseloomustab harjadevahelist pinget kahe risti asuva sektsiooni juures. Näeme, et pinge pole küll puhtal kujul alaline, vaid kõikuv, kuid ta ei lange ühelgi momendil üksiku sektsiooni amplituudist madalamale.



Joon. 168.



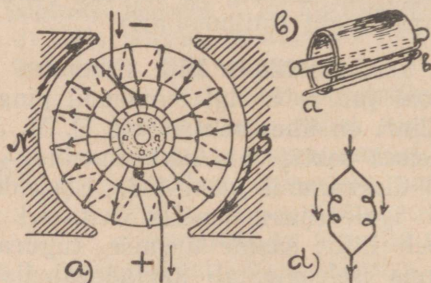
Joon. 169.

Praktilise alalise E. M. J. ja voolu saamiseks võetakse alalise elektrivoolu masinas ehk **dünamos** suur arv sektsioone ja vastavalt sellele jaotatakse kollektorrõngas rohkearvulistesse lestadesse. Viimaste otstarbe seisab, nagu nägime, selles, et kui üksikus sektsioonis neutraaljoone ületamisel tekib vastupidine

induktsioon, siis muutub ka ühendus sektsiooni lestade ja harjade vahel, nii et vool surutakse välja ikka ühe kindla harja kaudu ja tuleb tagasi sisse teise harja kaudu.

Üldise pinge leidmiseks harjade vahel tuleks igale momendile vastavad kõikide sektsioonide E. M. J.-d liita. Suure sektsioonide arvu juures osutub kogupinge praktiliselt alaliseks ja kõigub nii väiksel (joon. 169), et harilikkude abinõudega seda polegi märgata.

Ajalooliselt esimeste dünamomasinate ehitus põhjenes n. n. Gramme'i rõnga põhimõttel. Viimane kujutab enesest rõngakujulist raudsüdamikku (joon. 170-a), mille ümber on keritud isoleeritud juhest rida sektsioone; iga sektsioon on ühendatud oma kollektorlestaga.



Joon. 170.

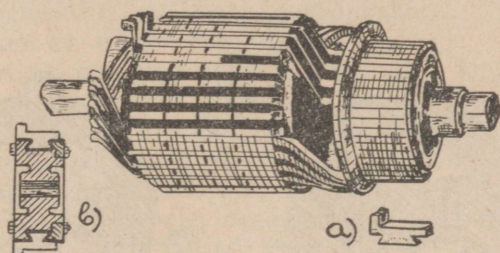
Juhul, kui seesugune rõngas tiirleb magnetpooluste vahel, indutseerub sektsioonide osades a—b E. M. J. (Joon. 170-b). Nagu skeemilt näha, surub see E. M. J. vasakpoolsetes sektsioonides elektri alumisest harjast välja (plus-poolus) ja ülemisest sisse, samuti ka parempoolsetes sektsioonides. Rõngale keritud mähis saab harjadest jaotatud kahte harusse, milledest kummagis indutseeruvad ühises suunas mõjuvad E. M. J.-d (joon. 170-d).

§ 68. Dünamo üldosad.

Dünamo osad jaotame liikuvateks ja paigalseisvateks. Liikuvatest osadest tähtsaim on n. n. **ankur** (joon. 171).

1. **Ankur** — kannab enesel isoleeritud vaskjuhest keritud mähise, milles ankru tiirlemisel magnetväljas indutseerub E. M. J. Magnetvälja tungjoonte koondamiseks on ankru südamik tehtud pehmest rauast (§ 35 viimane lõik); pöörivoolude mõju ärahoidmiseks on see südamik tehtud mitte tervest tükist, vaid üksikutest raudplekkidest, mis omavahel isoleeritud õhukese paberiga või lakiga.

Südamiku pinnale on pikuti sisselõigatud rida uureid, milledesse on paigutatud mähise üksikud sektsioonid. Et kiire tiirlemise ajal ära hoida sektsioonide väljapaiskumist, on nad seotud põigiti sisselõigatud uuretesse asetatud nõõridega (bandaash).



Joon. 171.

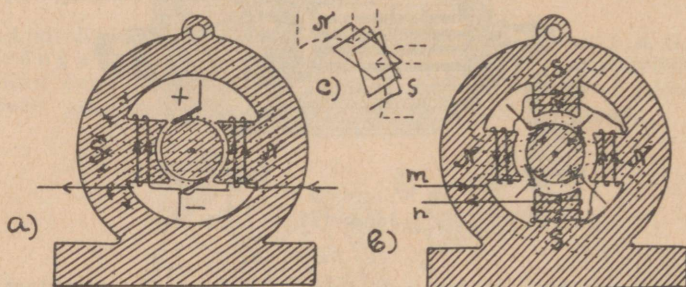
Ankru üks ots kannab teljel üksikutest vasklestadest koosneva **kollektori**. Lesta profiil on näha joon. 171-a. Üksikud lestad on üksteisest isoleeritud samas profiilis lõigatud vilgukivi lehtedega. Iga lesta külge on joodetud vastava sektsiooni ots. Lestad ühes isolatsiooniga kogutakse kokku ja kinnitatakse ankrule vastavate pigistusrõngaste ja poltidega (joon. 171-b) ning silutakse treipingil. Sel viisil kokkupandud seisukorras omab kollektor kirjutriibulise kuju, mis on iseloomustav just alalise voolu dünamotele. Ankru völli tiirleb vabalt kuullaagrritel.

Kirjeldatud ankur on n. n. **trummankur**, vastandiks Gramme'i rõnga põhimõttel ehitatud **rõngasankrutele** (joon. 170). Viimaseid meie ajal enam ei ehitata mitmesuguste puuduste tõttu; näit. tehniliselt on raske mähise kerida rõngakujulisele südamikule ja teiselt poolt on mähise töötav osa suhteliselt liig väike (induktsioon tekib vaid väliskülgedes ab, vaat. joon. 170-b, kuna muu osa sektsioonidest induktsioonist osa ei võta).

Dünamo paigalseisvatel osadel tuleb märkida järgmised:

2. **Induktorid**, s. o. nõuetava magnetvälja saamiseks vajalikud permanent magnetid või tavaliselt elektromagnetid. Viimasel juhul tuleb induktorid varustada n.-n. **ergutusmähisega**, millised tuleb toita alalise vooluga. Induktorid on valatud pehmest terasest ühe, kahe, kolme, nelja või enam pooluspaa-riaga. Pooluste pinnale on antud nõõgus kuju; nad asuvad võimalikult ligemal ankrupinnale (vahe umb. 1 m/m), et selle-

juures tekkivas õhupraos sünniks võimalikult tugev magnetväli. On pooluseid rohkem, kui üks paar, siis vahelduvad poolused kordamööda (joon. 172-b); magnetvälja tungjooned hargnevad nüüd kahte ossa, andes ühtlasi tihedama magnetvälja, kui see on ühe pooluspaari juures (joon. 172-a), kus osa tungjooni siirdub kasuta ühest poolusist teise väljaspool ankrut.

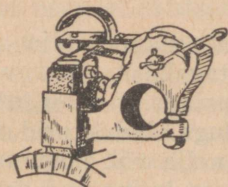


Joon. 172.

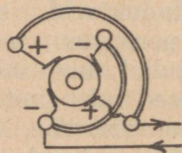
On pooluseid rohkem kui üks paar, siis tuleb ka üksikud sektsioonid ankrule asetada nii, et kui sektsiooni üks töötav osa asub ühe poolusi all, siis teine samal ajal peab asuma **naaberpoolusi** all (joon. 172-c). Kuna siin voolu suunamuutmine sektsioonis sünnib iga poolusi all, tuleb harjad asetada ka iga kahe naaberpoolusi vahele (neutraaljoonele).

On induktoriteks elektromagnetid, siis nende toitmiseks on tarvis leida alalise voolu allikas, millest ligemalt vaat. § 69.

3. Harjad ja harjahoidjad. Ankrus indutseeruva voolu väljasuunimiseks tarviliku kontakti loomiseks asetatakse pöörleva kollektori pinnale **vask- või söeharjad**. Harjade laius peab katma korruga kaks-kolm lesta. Harjad paigutatakse eriliselt, kerest hästi isoleeritud metall **harjahoidjatesse** ja surutakse kollektori pinna vastu eriliste vedrudega (joon. 173).



Joon. 173.



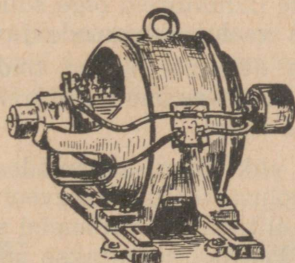
Joon. 174.

On pooluspaare rohkem kui üks, siis on ka neutraaljooni vastavalt rohkem, s. t. nii palju, kui palju on pooluspaare. Kuna iga kahe naaberpooluse vahelisele neutraaljoonele tuleb asetada hari, siis on viimaseid dünamos arvult nii palju, kui palju on pooluseid. Sellejuures harjade märgid (plus ja miinus) vahelduvad kordamisi. Ühise voolu saamiseks ühendatakse kõik plus-harjad omavahel eriliste vaskrõngastega (joon. 174); samuti tehakse ka miinus-harjadega.

Dünamo töö ajal võib tekkida harjade ja kollektori vahel sädelemine, mis rikub kollektori pinda ja mis sünnib sellest, et harjad ei istu täpselt neutraaljoonel (s. t. joonel, kus sünnib juhe libisemine tungjoonte vahel). Õige neutraaljoone asendi leidmiseks annavad harjahoidjad suuremates dünamoses pöörata ühele või teisele poole, senikui kaob sädelemine, millises seisukorras tuleb harjahoidjad kinnitada.

On harjad ajajooksul kulunud, tuleb nad asendada uutega.

4. **Ike (kere)** ja **alus** — on dünamo osad, mis ühendavad enesel kõiki eespool nimetatud liikuvaid ja paigalseisvaid osi. Ikesse on monteeritud induktorid, ankrulaagrid, harjahoidjad. Induktorid ja ike moodustavad sagedasti metallterviku ühes alusega. Ikele on monteeritud isoleeritud klemmid, mis on ühendatud ühelt poolt plus- ja miinus harjahoidjatega ja teiselt poolt magistraaljuhtmetega.



Joon. 175.

Oma alusega dünamo kinnitatakse seinale või pörandale, viimasel juhul valmistatakse pörandasse kivist või betoonist alus. Pealtpoolt on ike dünamo tõstmiseks ja ümberpaigutamiseks varustatud vastava tõsterõngaga (joon. 175).

5. Dünamo töölepanekuks on tarvis dünamo ankur pöörlema panna temale ettenähtud kiirusega, mis sünnib kõrvalise jõuallika abil. Selleks võib olla aurumasin, sisepõlemise- või elektrimootor, vesi- või tuuleturbiin jne.

Dünamomasinat iseloomustavad järgmised andmed: a) **tüüp** (vaat. § 69); dünamo **pinge** (voltaash); c) selle normaalpinge indutseerimiseks vajalik **tiirude arv minutis**; ja d) dünamo **võimsus** (wattides, hobusejõududes, kilowattides), millele ta on konstrueeritud või selle asemel **maksimaalne voolutugevus** (amperites), mille võime masinalt võtta teda ülekoormamata. Need andmed on firmade poolt tavaliselt ülesmääritud dünamo ikel olevale tahvlikesele.

Jõuallikas ühendatakse dünamoankruga otsekohe selle võllil või erilise rihm- või hammasratas ülekandega. Täie võime arendamiseks on tarvilik, et jõuallika võime ei oleks dünamo võimest väiksem, vaid isegi veidi ületaks viimase.

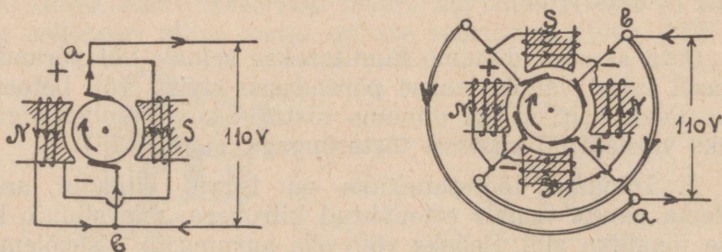
§ 69. Dünamode liigitus. Ergutamine.

Induktorite alalise vooluga toitmise seisukohast liigitatakse dünamod kahte liiki: **võõrergutusega** ja **endaergutusega** dünamod.

Võõrergutusega dünamotes sünnib induktorite varustamine elektrivooluga kõrvalisest alalise E. M. J. allikast (dünamo, akkumulaatorpatarei), mis ühendatakse induktorite mähistega omaette ahelasse (joon. 172-b) punktide **m** ja **n** vahele. Seesuguselt toidetakse induktoreid õige suurte ja jõuliste (peamiselt aga vahelduva voolu) dünamode juures.

Endaergutusega dünamomasinad toidavad oma induktoreid masinas eneses indutseerunud elektrivooluga; need dünamod jagunevad kolme tüüpi.

1. **Haruvoolu-** ehk **shunt-dünamodes** juhatakse ankrus indutseeruvast peavoolust teatud haruvool induktorite mähistesse, millised sel juhul tehakse võrdlemisi suurema takistusega peenest vaskjuhest. Peavool suunitakse siin positiivse klemmi **a** (joon. 176) kaudu välja ja negatiivse klemmi **b** kaudu ank-



Joon. 176.

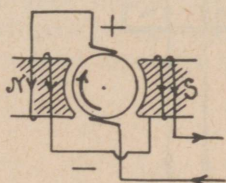
russe tagasi. Sellest peavoolust suunitakse väike haruvool pooluste mähistesse nii, et järjekorras tekivad N ja S poolused. See haruvool magnetiseerib rauad tarvilise jõuni, mille järel dünamo hakkab andma pinget ehk **ergutama**.

Küsitav on vaid, kuidas sünnib induktorite magnetiseerimine dünamo käivitamisel, s. t. siis, kui ankrus üldse veel mingit E. M. J. ega voolu ei ole. On nimelt tähele pandud (**Siemensi printsiip**), et magnetpoolustel ka vooluta seisukorra juures leidub magnetismi jälgi, mis annavad oma õige nõrga magnetvälja. Kui nüüd selles magnetväljas hakkab õiges suunas pöörlema ankur, siis indutseerub ankrus sektsioonides esialgul õige nõrk E. M. J., mis annab induktorite mähistesse nõrga voolu (suletud ahel!). See vooluke teeb magnetvälja veidi tugevamaks, millejärele ankrus indutseerub esialgselt tugevam vool; see omakorda teeb elektromagnetid veelgi tugevamaks jne.

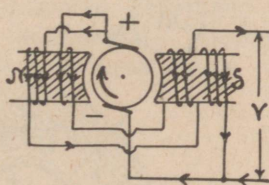
Andes ankrule täied tiirud leiame, et kirjeldatud Siemensi endaergutuse printsiibi põhjal ergutub haruvoolu dünamo (s. t. hakkab andma normaal pinget) mõne sekundiga. On loomulik, et selleks peame ankrut ringi ajama õiges suunas; vastupidi tiirlemisel hävitab esialgselt magnetismi jälgedest indutseerunud vool sellegi magnetismi ja dünamo ei ergutu.

Haruvoolu dünamo leiab teiste tüüpide kõrval kõige enam tarvitamist.

2. **Peavoolu-** ehk **seeries-dünamos** juhitakse ankrus indutseerunud elektrivool tervelt induktorite mähistest läbi, millised tehakse siin väikese takistusega jämedamast vaskjuhest (Joon. 177).



Joon. 177.



Joon. 178.

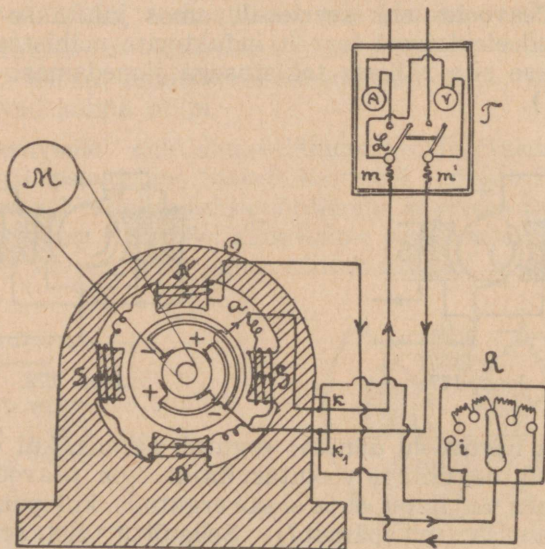
Kuna haruvoolu dünamo ergutub ka siis, kui välisliinides pole sisselülitatud ühtegi voolutarvitajat, on peavoolu dünamo iseäralduseks asjalugu, et ta ei saa ergutada, kui puudub voolutarvitaja ahelas (mikspärast?). Selletõttu tuleb see tüüp tarvitamisele seal, kus on tegemist vaid kindlate alaliselt ahelasse sisselülitatud voolutarvitajatega (näit. uulitsavalgustus).

3. **Kompaund-dünamod** on haruldaseim tüüp ja tuleb mõnikord tarvitamisele seal, kus on vajalik automaatselt alalhoida kindlat pinget. Nimelt on teada, et shunt-dünamode pinge püsib enam-vähem kindlana vaatamata voolu tarvitamisele ja hakkab langema (sama tiirude juures) vaid suurema voolutarvitamise juures. Peavoolu dünamo pinge sellevastu alatasa muutub ühes voolutarvitamisega; läheb voolutarvitamine suuremaks, siis tõuseb ka pinge (mikspärast?) ja ümberpöördu.

Kompaund-dünamodes on mõlema eelmise tüübi omadused ühendatud sel teel, et induktorite poolustele on asetatud **kaks** mähist — üks mähis otse peavoolu ahelasse, teine mähis rööbik haruna (joon. 178). Seesuguges dünamos püsib pinge automaatselt ühtlasena olenemata masina teatud piirides koormavusest.

§ 70. Haruvoolu dünamo montaash-skeem ja reguleerimine.

Joon. 179 on näidatud nelja poolusiga haruvoolu dünamo lihtis montaash-skeem. Sellest on näha, et ankrus indutseerunud **peavool** suunitakse plus-harjade, klemmi **K** ja ühendus-



Joon. 179.

tahvli **T** kaudu magistraalliini ja sealt tagasi klemmi **K₁** ja miinus-harjade kaudu ankrusse.

Induktorite toitmiseks juhitakse peavoolust punktis **a** haruvool pooluste mähiste ja klemmi **O** kaudu reostaati **R**, kust väljudes see haruvool ühineb klemm **K₁** kaudu uuesti peavooluga.

Reostaat **R** abil sünnib dünamos indutseeruva pinge reguleerimine. Lülides näit. takistus sisse, vähendame sellega haruvoolu ja teeme magnetvälja nõrgemaks, mille järeldusel pinge **V** langeb ja ümberpööratud — vähendades reostaadi takistust, suurendame haruvoolu ja ühes sellega ka dünamo pinget.

Ühendustahvilil on näidatud pealülilija **L**, ampermeeter ja voltmeeter ning kaitsjad **m, m'** (§ 26 viimane lõik). Tuleb nimelt meeles pidada, et dünamo ankrusisetahtlus on väga väike ja peab selle eest hoiduma, et ankrusse ei pääseks vool üle lubatud piiri.

Käivitades mootorit **M** ja andes ankrule täied tiirud, peab dünamo kohe ergutama; voltmeeter **V** näitab sellejuures ankrus indutseerunud pinget. On see normaalne, siis lükatakse lülilija **L** sisse ja juhitakse seega pinge magistraalvõrku. Töö lõpetamisel tõmmatakse lülilija **L** välja; nüüd on otstarbekohane ka reostaat **R** täiesti sisselülida, eriti siis, kui mootor **M** jätkab tiirlemist. Pinge kaotamiseks dünamos võime reostaadi **R** ühenduse täiesti katkestada, mille järeldusel kaob induktorites magnetväli. Et aga sellejuures induktorite mähistes võivad tekkida isolatsioonile ohtlikud omainduktsiooni pinged, siis suuremates dünamodes reostaadi ahela katkestamisel (kontakt **i**) ühendatakse induktorite mähised samal ajal automaatselt lühidalt enese peale. Omainduktsiooni lisapinged leiavad nüüd ringkäigu ega püüa läbistada isolatsiooni. Muidugi võib dünamo tööd lõpetada ka mootori **M** seismapanekuga.

II OSA.

ALTERNAATOR.

§ 71. Alternaatori põhimõte.

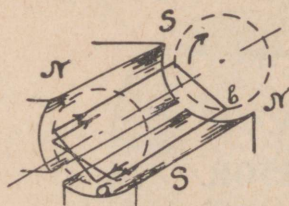
Vahelduva voolu masina ehk alternaatori põhimõte on kirjeldatud eespool (§ 45). Nimelt kujutab magnetväljas tiirlev raam lihtsaimat alternaatorit, kuna selle kontaktrõngaste vahel

indutseerub vahelduv E. M. J. Selle E. M. J. amplituudi ja efektiivväärtuse tõstmiseks võib raamijuhe kerida sektsiooni; tugevama magnetvälja saavutamiseks võib võtta elektromagnetid ja kerida sektsioon raudsüdamikule, nagu see sünnib alalise voolu dünamos. § 45 kirjeldatud raamis tekkiva E. M. J. periood võrdub ühe täistiiru kestvusele ja E. M. J. sagedus võrdub seega tiirude arvule ühes sekundis. **Sageduse tõstmise** otstarbeks võime võtta ühe pooluspaari asemel mitu, näit. võttes kaks pooluspaari (joon. 180) ja kerides sektsioonid ankrule nii, et kui nende üks töötav külg asub ühe pooluse all, siis teine külg samal ajal asub naaber-pooluse all. Joonisel kujutatud momendil on induktsioon sektsioonis maksimaalne. Veerand tiiru järele, kui sektsiooni osa ab jõuab N pooluse alla, on induktsioon uuesti maksimaalne, kuid vastupidises suunas. Järgmise veerandtiiru lõpul, kui sektsiooni osa ab on jõudnud ülemise S pooluse alla, tekib sektsioonis uus maksimaalne induktsioon samas suunas, nagu see on joon. 180 kujutatud momendil; teiste sõnadega, ühe pooltiiru vältel sünnib siin üks periood. Samal viisil võib tõestada, et raamis ühe täistiiru vältel indutseerub **niimitu perioodi, mitu pooluspaare on induktoritel.**

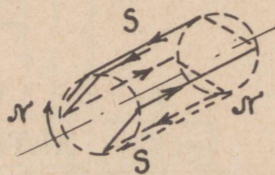
Näide: 4 poolusega alternaatori ankur tiirleb kiirusega 1800 tiiru minutis. Milline on sagedus?

Vastus: Ankrumähis teeb $1800:60 = 30$ tiiru sekundis, seega sagedus $f = 30 \times 2 = 60$ periood $T = 1/60$ sek.

Mitme pooluspaariga alternaatoris võib sektsiooni mähised kerida nii, et ühel ajal töötavad kõik magnetpoolused (joon. 180 on näidatud mähis, mille juures antud momendil ülemine S ja parempoolne N poolused on tegevuseta). Joon. 181 näidatud kerimise viisi juures sünnib induktsioon ühel ajal kõikide pooluste all ja annab mähises ühises suunas jooksvat voolu.



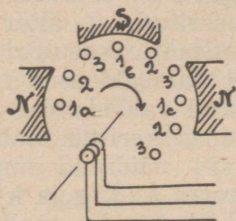
Joon. 180.



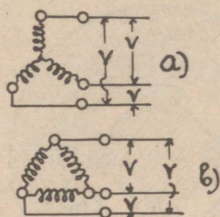
Joon. 181.

Eespool kirjeldatud tiirleva ankrumähises indutseerub tavaline ehk n.-n. „ühefaasiline“ vahelduv E. M. J. Võttes ankrul kolm iseseisvat mähist ja kerides need ankrule nii,

et mähiste sektsioonid asuvad naaberpooluste vahel võrdsetes intervallides (joon. 182 — iga üksiku mähise sektsioonid on nummerdatud ise numbriga) leiame, et joonisel kujutatud momendil mähises 1 on induksioon maksimaalne ja järgmine vastupidine maksimum ehk poolperiood sünnib selles mähises siis, kui ankur on pöördunud ühe pooluspaari vahe võrra edasi (sektsioon 1-a asub 1-b kohale jne.). Vahepeal on aga võrdsetel ajavahemikkudel kordamööda indutseerunud E. M. J. ka mähistes 2 ja 3, kuid mahajäämisega $\frac{1}{3}$ perioodi võrra. Leiame, et mähistes indutseeruvad siin vahelduvad E. M. J.-d, mis oma faasidega on nihutatud üksteise suhtes $\frac{1}{3}$ perioodi võrra.



Joon. 182.



Joon. 183.

On mähised täiesti ühesugused, siis on igas mähises indutseerunud E. M. J.-d efektiivväärtused samuti võrdsed. Praktiliselt on nüüd võimalik kõik kolm mähist ühendada ühelt poolt omavahel, teiselt poolt kolme kontaktrõngaga; see ühendamine võib sündida kahel viisil:

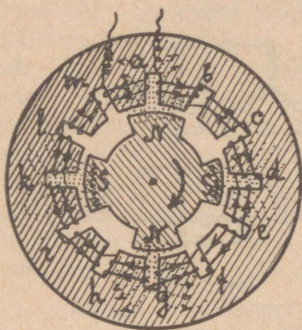
a) **tähtühendusega**, — mähiste ühed otsad on ühendatud vastava kontaktrõngaga ja teised otsad on ankru sees ühendatud omavahel (joon. 183-a);

b) **kolmnurkühendusega**, — mähised on kõik üksteisega ringi järjestikku ühendatud; ühenduskohtadelt on kolm juhet viidud kontaktrõngastele (joon. 183-b).

Kirjeldatud alternaatorist saame väljapoole kolm magistraaljuhet, mis kannavad endal tehnilises elus laia tarvitamist leidvat n.-n. kolmefaasilist pinget. Iga juhepaari vahel sünnib võrdne pingevahe (see nimetatakse sageli samuti „faasiks“), mida võib kasutada kui tavalist ühefaasilist vahelduvat pinget näit. elektrivalgustusvõrgu toitmiseks. On olemas ka seesuguseid volutarvitajaid, mis võtavad voolu kõigist kolmest faasist korraga (kolmefaasilised mootorid — vaat. allpool).

Elektromagnetiline induksioon tekib juhes ka siis, kui juhe seisab paigal ja liigub antud juhet lõikav magnetväli (§ 41). Seda silmas pidades konstrueeritakse vahelduva voolu

alternaatorid tavaliselt nii, et nende tiirlevaks osaks ehk n.-n. **rootoriks** on elektromagnetid ja paigalseisvaks osaks ehk **staatoriks** on mähis, milles indutseerub rootori tiirlemise ajal vahelduv E. M. J. Viimane konstruktsioon on lihtsam; võrdlemisi kõrge pingega vahelduva voolu väljasuunimiseks alternaatorist pole siin vaja mingit libisevat kontakti, mis annab alati halva ühenduse ja tugevasti sädeleb. Liikuvate induktorite mähiste toitmine **alalise** vooluga peab sündima muidugi libisevate harjade ja kontaktrõngaste kaudu, kuid võrdlemisi madalate pingete juures on see kergesti teostatav.



Joon. 184.

on staatoris indutseerunud E. M. J. uuesti maksimaalne, kuid suuna poolest endisele vastupidine. Teiste sõnadega, staatoris on nüüd tekkinud üks poolperiood. Selge on, et rootori ühe täistiiru juures indutseerub staatori mähises **niimitu perioodi**, kuipalju hambapaare omab staator.

Joon. 184 kujutab kõrge-
ma sageduse voolu saamiseks
konstrueeritud alternaatori
skeemi. Staatoril asub rida paar-
isarvul hambaid, mis on kõik
varustatud vaheldamisi muutli-
kus suunas keritud mähistega.
Joon. 184 näidatud momendil
on õnarates **a**, **d**, **g** ja **k** asuva-
tes mähiste osades maksimaal-
sed E. M. J., mis liitudes staa-
tori mähiste ahelas annavad
koos üldise summeeritud E. M.
J.-u. On rootor liikunud edasi
ühe õnarapaari vahe võrra (**N**
poolus asub õnara **b** vastu), siis

§ 72. Alternaatori üldosad.

1. **Rootor**, — on alternaatori tiirlev osa. Juhul, kui rootor kannab enesel mähist, milles peab indutseeruma vahelduv E. M. J. tiirlemise ajal paigalseisvate magnetpooluste vahel, ei lähe tema ehitus palju lahku alalise voolu dünamo ankrust (§ 68). Erinevus on vast kõigepealt selles, et lestadest koosneva kirju kollektori asemel esinevad alternaatoris vaid üksikud kontaktrõngad: ühefaasilisel alternaatoril on neid kaks, kolmefaasilisel kolm rõngast.

Juhul, kui rootoriks on elektromagnetid, on rootor valatud pehmest rauast tarvilise arvu poolusotsadega; viimased on

varustatud mähistega, millised toidetakse alalise vooluga. Näeme, et alternaatori tööle rakendamiseks peab käepärast olema alalise elektrivoolu allikas. Tavaliselt on selleks rootoriga ühisele võllile monteeritud **haruvoolu dünamo**. Alalise voolu juhtimine tiirlevasse rootorisse sünnib kahe harja ja kahe kontaktrõnga kaudu.

2. **Staator**, — juhul, kui see alternaatori paigalseisev osa kujutab endast elektromagneteid, ei lähe tema ehitus lahku alalise voolu dünamo induktoritest. Juhul aga, kui staatoriks on mähised, milledeks rootori tiirlemise ajal peab indutseeruma vahelduv E. M. J., siis kujutab staator endast metallrõngast, mille sisemine pind kannab rea hambaid; viimastele on asetatud induksioonimähised vaheldamisi muutuva kerimissuunaga. Rootori tiirlemisel indutseerub hammaste vahelistesse uuresse paigutatud mähiste osades vahelduv E. M. J. (joon. 184). Elektrivoolu väljasuunimiseks staatorist pole vaja mingit erilist seadet, vaid see sünnib lihtsalt kahe isoleeritud klemmi kaudu.

3. **Harjad ja harjahoidjad** rootori juures ei erine ehituse poolest nendest, mis olid kirjeldatud alalise voolu dünamo juures.

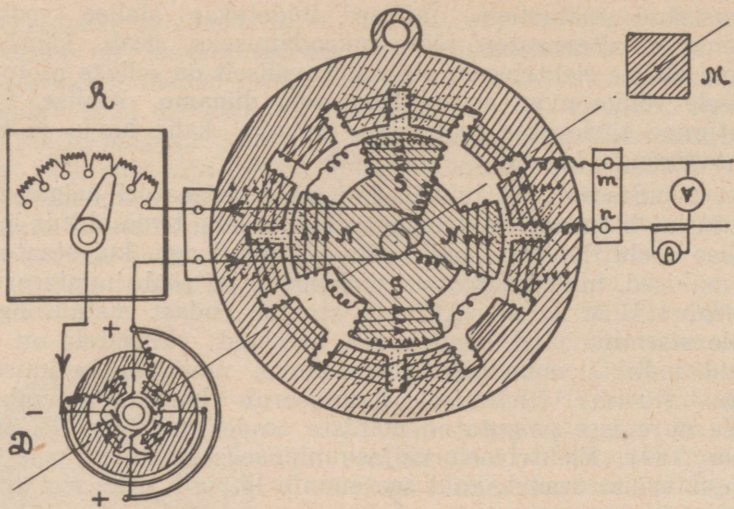
4. **Ike ja aluse** kohta üldiselt võib tähendada sedasama, mis sai öeldud eespool dünamo kohta. Tavaliselt moodustab staator ikega ühe terviku.

5. Alternaatori rootor pannakse tiirlema kõrvalise mootori jõu abil, viimane tuleb siduda rootoriga ühise võlli või rihma ülekande kaudu.

Alternaatorit iseloomustavatest andmetest tema tüübi kõrval esineb kõigepealt tema **pinge** (voltides), selle pinge indutseerimiseks vajalik **tiirude arv** minutis, vahelduva pinge **sagedus** ja alternaatori **võime** (wattides, hobusejõududes), millist võime temalt suurimal määral võtta, teda ülekoormata ja mähiseid rikkumata. Tähendatud andmed on tavaliselt ehitaja firma poolt märgitud alternaatori ikele.

§ 73. Alternaatori montaashskeem ja reguleerimine.

Joon. 185 on antud lihtis alternaatori montaashskeem, milles rootoriks on nelja magnetpoolusiga varustatud induktor. Induktori toitmine alalise vooluga sünnib rootoriga ühisel võllil istuvast shunt-dünamost **D**, mille peavoolu ahelasse on ühendatud reostaat **R**.



Joon. 185.

Staator kannab sisemisel pinnal 6 paari hambaid, milledele on paigutatud mähised vaheldamisi muutliku kerimisesuunaga. Mähised on kõik omavahel ühendatud järjestikku ühiseks ahelaks, mille otsad on välja toodud klemmidele m ja n . Viimaste kaudu suunitakse vahelduv vool magistraalvõrku.

Eelmises § toodud selgituse kohaselt võib öelda, et käesolevas alternaatoris rootori ühe täistiiru vältel indutseerub staatori mähistes 6 perioodi vahelduvat pinget, mille efektiivväärtust mõõdab voltmeeter V . Selle pinge reguleerimine sünnib reostaat R abil. Lülides takistus sisse, teeme sellega induktorite magnetvälja nõrgemaks, mille järel pinget V langeb. Lükates takistus välja, teeme induktorite voolu, ühtlasi ka magnetvälja tugevamaks, mille järel pinget V tõuseb otsekohe ka pinget.

Pinget V reguleerimine võib sünnida veel reostaadi abil, mille ühendaksime dünamo D induktorite haruahelasse.

Alternaatori töö lõpetamine sünnib nimetatud reostaatide sisselülimisega või mootori M seismapanekuga.

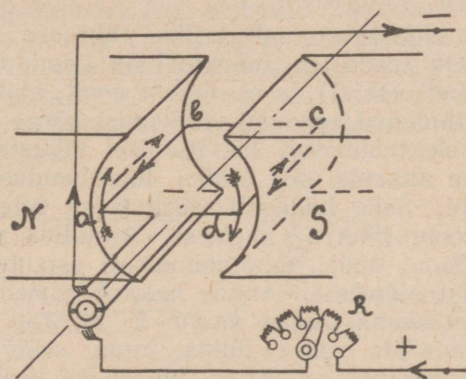
III. OSA.

ELEKTRIMOOTORID.

§ 74. Alalise voolu mootori põhimõte.

Eespool nägime (§ 49), et kui magnetväljas asuvasse metallraami juhtida alalist voolu, siis püüab see raam pöörduda suunas, mis üksiku juhe kohta saab kindlaks teha Flemmingi vasaku käe reegli abil.

Selge on, et kui raam on ületanud neutraaljoone, tuleks pööramise jätkamiseks endises suunas voolusuun raami töötavates osades ab ja cd (joon. 186) muuta, mis sünnib automaatselt jällegi lestadeks jaotatud kollektori abil.



Joon. 186.

Kirjeldatud nähtel põhjeneb asjalugu, et kui tavalise dünamo ankrusse ja induktori mähistesse juhime väljaspoolt alalist voolu, ühendades dünamo miinus-hari vooluallika plus-poolusiga ja dünamo plus-hari vooluallika miinus-poolusiga (sel juhul hakkab vool ankrus ja induktorite mähistes jooksmas samas suunas, mis dünamo normaalse töö juures), siis muutub dünamo mootoriks, kuna tema ankur hakkab tiirlema (võrreldes dünamo tööga vastupidises suunas). Sellejuures on kollektori lestade endiseks ülesandeks — muuta ankrusektsioonides voolusuun neil momentidel, kui sektsioon ületab neutraaljoone.

Ankru tiirlemise suuna muutmiseks peame muutma voolu suun kas ainult ankrus või induktorite mähistes. Harjade ühenduste lihtne vahetus vooluallika poolustega ei anna selles mõttes tagajärge, kuna siis muutub voolusuun ühel ajal ankrus ja induktorites ning tiirlemisesuun jääb endiseks (§ 49).

Mootorina tiirlemise ajal magnetpooluste vahel tekib ankru sektsioonides tavaline elektromagnetiline induktsioon, kuna tegemist on magnetväljas liikuva juhega. Teiste sõnades, ankru sektsioonides tekib lisa E. M. J., mille suun Flemingi **parema** käe reegli kohaselt on alati **vastupidine** välisest vooluallikast tuleva voolu suunale (joon. 186 — vaat. punktiirnooled). Tähendatud n. n. **vastuelektromotoorse** jõu väärtus on loomulikult tiirlemise kiirusest ja magnetvälja tugevusest.

Elektrimootori töö juures tuleb seega silmas pidada, et ankrumähises tegutseb mitte üksi välisest vooluallikast pealelülitatud pinge, vaid selle kõrval veel ankrus indutseerunud vastuelektromotoorne jõud, nii et üldine ankruahelas tegutsev tööpinge võrdub **välise pinge ja vastu- E. M. J-u vahele**.

Viimane asjalugu omab erilise tähtsuse elektrimootori käivitamisel. On teada, et ankrumähise sisemine takistus on õige väike (osad oomist) ja et, teiselt poolt, alalise voolu jõuallikad, näit. dünamod, omavad võrdlemisi kõrge pinge (110 v; 220 v). Kui elektrimootori käivitamisel lüliksime seesugune pinge otsekohe ankrule, siis tekiks lühiühendus ja ankrumähise põleks läbi. Selle hädaohu vältimiseks tuleb käivitamise eel alati peavoolu (ankru) ahelasse sisselülida n. n. **käivitusreostaat R** (joon. 186), mis võimaldab esialgul vaid nõrga voolu pääsemist ankrusse. Ankur hakkab tiirlema, indutseerides mähises otsekohe teatud vastu- E. M. J-u. Nüüd võime reostaat pikkamööda välja lülida, kuna sellejuures ankru tiirud järjest tõusevad ja ühtlasi tõuseb ka voolutugevust pidurdav vastu- E. M. J.

Jookseb ankur tühjalt, s. t. on tema võll koormamata, siis käivitamise lõpul, kui täistiirud käes, on vastu - E. M. J. oma väärtuse poolest peagu välispinge suurune (kunagi ei saa olla täpselt võrdne ega suurem); selle järelduel ankrut läbis tab vaid nõrk n. n. **tühjakäigu vool** — ankru enese mehhaaniliste takistuste ületamiseks.

Saab aga ankruvõll koormatud (näit. treipink külge ühendatud), siis hakkavad tiirud langema, mille järelduel otsekohe kahaneb ka vastu - E. M. J. Välise pinge mõjul pääseb nüüd ankrusse tugevam vool, kuivõrd see tarvilik on välise koormavuse ületamiseks. Vabastame võll koormavusest, siis tõusevad tiirud ja ühtlasi ka vastu - E. M. J. ning vool ankrus automatselt kahaneb tähjakäigu väärtuseni.

Ankrutiirlemise kiirust mootori töö ajal saab reguleerida magnetvälja tugevuse muutmisega. Tehes viimane nõrge-

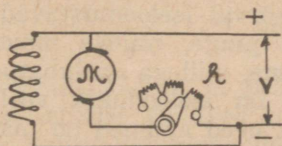
maks, leiame, et ankrud tõusevad. Nähtavasti püüab elektrimootor automaatselt endas arendada seesugust vastu-E. M. J-u, mis tasakaalustaks välist pinget; nõrgendatud magnetvälja juures võib see sündida vaid kiiruse tõusu abil.

§ 75. Alalise voolu mootorite üldosad ja liigitus.

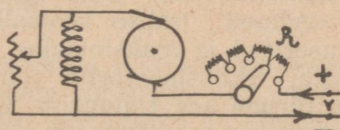
Kuna alalise voolu mootorid konstruktiivselt ei erine dünamomasinatest, siis on nende üldosad üldiselt needsamad, mis dünamomasina juures (§ 68).

Enam levinenud tüüpidest tuleb nimetada järgmised:

a) **haruvoolu** (shunt) mootor; selle mootori induktorite mähistesse juhitakse välisest vooluvõrgust teatud haruvool; välispinge külgeühendamisel sattuvad induktorite mähised otsekohe täie pingele alla (joon. 187), mis on lubatav, kuna mähiste takistus on võrdlemisi suur. Asudes kogu aeg täie välise pingele all, on induktorite mähiste vool ja ühes sellega ka magnetvälja tugevus mootori töö ajal ühtlaselt püsiv ega olene ankrud koormavusest.



Joon. 187.



Joon. 188.

Käivitamisel tuleb ankrudahelasse ühendatud käivitusreostaat **R** pikkamööda välja lülida. Tühja käigu juures omab ankrud seesuguse kiiruse, et vastu-E. M. J. saab peagu võrdseks välispingele. Võlli koormamisel tõuseb voolutugevus ankrud, kuna tiirud koormavuse suurenemisega veidi langevad. Ankrud tiirusid võib reguleerida vastava lisa-reostaadi sisselüümisega induktorite ahelasse.

Selle mootori tüübi iseloomustavaks omaduseks on asjalugu, et koorma all suureneva voolu ja välise magnetvälja vastastik mõju suureneb nii, et tiirud tõusevad endisele väärtusele; tiirude arv seega shuntmootori normaalse koormavuse juures on püsiv.

b) **peavoolu** (series) mootor; selle mootori induktorite mähised asuvad järjestikku ankruga peavoolu ahelas. Käivitamiseks kasutatakse käivitusreostaati **R** (joon. 188).

Tühja käigu juures on vool ankrus õige väike ja selle tõttu ka magnetväli õige nõrk. Ankur võib omada sellejuures liig suure kiiruse (vaat. § 74 viimane lõik), mille tõttu peavoolu mootorit ei tohigi lubada käia tühjalt, kuna see võib ankrumähised rikkuda. Mootori koormamisega kasvab voolutugevus ankrus; kuna aga vastu - E. M. J. püüab tasakaalustada välispinget, siis on selge, et tugevama voolu juures saavutab ta oma eesmärgi väiksema kiirusega, kuna ühes voolu tõusuga tugevneb magnetväli. **Mida suurem on koorem, seda väiksema kiirusega veab peavoolu mootor, kuid seda suurema jõuga.**

Kirjeldatud omaduste tõttu tarvitatakse peavoolu mootoreid näit. trammivagunites, elektrirongides jne., kus mootori käivitamisel tuleb tarvitada õige suurt jõudu paigaltvõtmise inertsi ületamiseks.

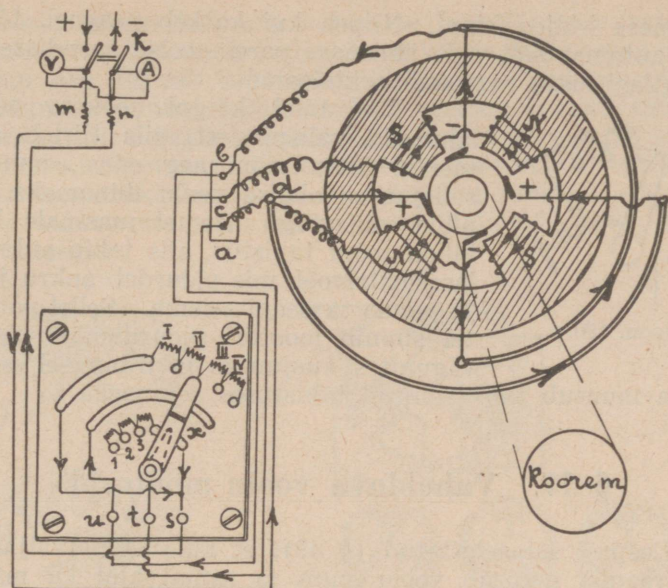
Kiiruse reguleerimine sünnib peavoolu ahelasse lülitatud (käivitus) reostaadiga. Viimane võtab teatud osa välispingest enda peale, nii et mootori ankur töötab sellejuures väiksema pinge all ja seega väiksema kiirusega. Kiirust saab reguleerida veel induktorite mähistele paralleelselt ühendatud reostaadiga.

Elektrimootorit tema tüübi kõrval iseloomustavad järgmised andmed: välise vooluallika **pinge**, millele mootor on konstrueeritud ja maksimaalne **võime**, millega on lubatud teda koormata. Shuntmootorite juures on iseloomulik veel normaalne **tiirude arv** (minutis). Kõik need andmed on märgitud mootori ikele.

§ 76. Haruvoolu mootori montaashskeem ja käivitamine.

Joon. 189 on näidatud nelja poolusiga haruvoolu mootori montaash-skeem. Siit näeme, et mootorit toitev alaline vool tuleb välisvõrgust peakatkestaja **K**, kaitsja **m**, klemm **a** ja plus-harjade kaudu ankrusse. Ankrust väljub vool miinus-harjadest, siit edasi klemm **b**, reostaadi **R** ülemiste sektsioonide, klemm **s** kaudu läbi kaitsja **n** ja peakatkestaja **K** tagasi välisvõrku.

Üks osa sellest voolust hargneb punkt **d** juures induktorite mähistesse, väljub viimastest klemm **c** kaudu ja suundub reostaati klemm **t** kaudu ning edasi klemm **s** all ühineb peavooluga. Reostaadi **R** pide ülemine osa on alumisest eraldatud isolaatoriga **x**.



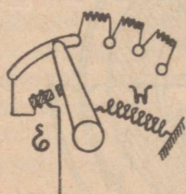
Joon. 189.

Skeemilt näeme, et peakatkestaja **K** sisselülimisega satuvad induktorite mähised kohe täie välispinge alla, kuigi käivitamise juures reostaadi ülemised sektsioonid on esialgul veel sisselülitud ja pide asub äärmises parempoolses asendis.

Käivitamisel lükkame reostaadi pide järk-järgult vasakule, senikui täistiirude omamisel kõik ülemised sektsioonid on väljalülitatud (pide asub keskmises asendis). Edasi võib mootori tiire reguleerida lükates pide veel rohkem vasakule, kuna sellejuures hakkavad induktorite mähiste ahelasse juurde lülituma reostaadi alumised sektsioonid ja tiirud tõusevad (vaat. § 74 viimane lõik). Induktorite ahel **ei tohi sisaldada** mingit nullpunkti ega katkestust, mille järelalusel võiks kaduda magnetväli ja ühes sellega ka välispinget tasakaalustav vastu - E. M. J. ankrus. Ankrusse tormaks sisse jalamaid ülitugev vool, s. t. tekiks ankru lühiühendus välispingega, mis põletaks ta läbi.

Mootorit saab seisma panna toitva voolu katkestamisega. On masin jäänud seisma, siis ei tohi unustada käivitusreostaadi sisselülimist. Vastasel korral mootori järgmisel käivitamisel võime kogemata tekitada ankru lühiühendust. Selle vältimiseks monteeritakse käivitusreostaadi pide juurde elektromagnet **E** (joon. 190), millest juhitakse läbi peavool (või haruvool) ja mis mootori täie käigu juures hoiab reostaadi

pide enese küljes kinni. Niipea kui katkeb peavool, tõmbab vedru automaatselt pide äärmisse parempoolse asendisse, lüüdes ühtlasi sisse reostaadi sektsioonid.



Joon. 190.

Kui täiel käigul jooksev mootor lahutada välispingest, siis tiirleb ankur inertsi tõttu mõni aeg edasi, muutudes sellejuures alalise voolu dünamoks. Kui nüüd välisvõrgu asemel masinale külge lülida mõni takistus, siis tekib ankruahe las elektrivool, mis pidurdab ankrut jooksu ja paneb ta peagi seisma. Sellel põhimõttel sünnib mootori pidurdamine trammi- vagunites, kusjuures pidurdamisel vabanev

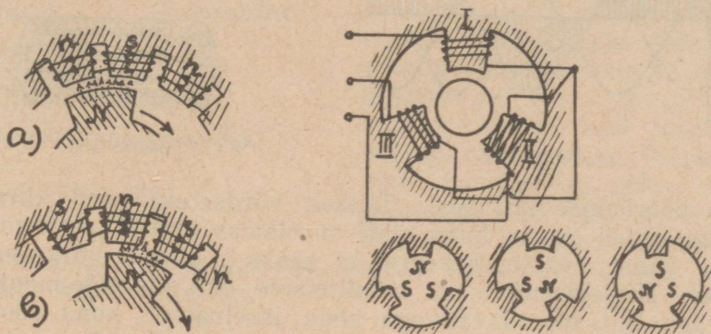
energia muutub juurdelülitud takistuses soojuseks.

§ 77. Vahelduva voolu mootorid.

Eespool sai selgitatud (§ 49), et kui magnetväljas tiirlevas raamis muutub voolu suun ja samal ajal ka magnetvälja suun, siis raami liikumine jätkub endises suunas. Järelikult, kui ühendame **alalise** voolu mootor **vahelduva** pinge alla, kusjuures vool muutub ühel ajal oma suuna niihästi ankrus, kui induktorite mähistes, siis peaks mootor käima hakkama. Praktiliselt sünnivad siin nähted siiski märksa keerulisemal kujul, kuna ankrut ja induktorite mähiste suured induktiivtakistused tekitavad faaside nihkumisi üksikute voolude ja pingete vahel. Selletõttu tuleb nendes n. n. **vahelduva voolu kollektor-mootorites** ettevõtta konstruktiivseid muudatusi, võrreldes harilikku dünamomasinatega.

Kui vaadelda ligemalt tavalise alternaatori ehitust (näit. skeem joon. 185), siis võime ütelda, et juhtides tema induktoritesse alalist voolu ja staatori mähistesse vahelduvat voolu, peaks alternaatori rootor käima hakkama. Näit., kui teatud momendil staatori hammastest tekivad poolused nii, nagu see näidatud joon. 191-a, siis hakkab joonisel näidatud rootori N poolus liikuma paremale. Kuna järgmisel poolperioodil staatori poolused vahelduvad (joon. 191-b), siis rootori liikumise jätkamiseks peaks ta selleks momendiks jõudma staatori ühe hambavahe võrra edasi. Tegelikult see nii ei sünni. Omades suure inertsi ei jõua rootor veel paremale liikuma hakatagi, kui staatori poolused on juba vaheldunud ja tekib uus mõju, mis püüab rootorit lükata vasakule. Lõputulemus on, et rootor staatori vahelduva voolu mõjul väriseb, kuid käima ei lähe. Käivitamiseks on vaja mingi kõrvalise jõuga rootorile sisse

anda voolusagedusele vastava kiiruse ja sellejärel vahelduv vool staatorisse lüüda. Sel viisil kord käima läinud rootor tiirleb kogu aeg täpselt ühesuguse kiirusega. Väiksemagi kõrvalekaldumise juures, näit. andes lisakoormavust, sattuvad magnetpoolused mittevastavate staatorimähiste alla ja mootor jääb seisma. Need n. n. **sünkroon-mootorid** omavad võrdlemisi keeruka konstruktsiooni, tarvitavad käivitamiseks abimootorit ning induktorite jaoks alalist voolu. Leiavad võrdlemisi vähe tarvitamist.



Joon. 191.

Joon. 192.

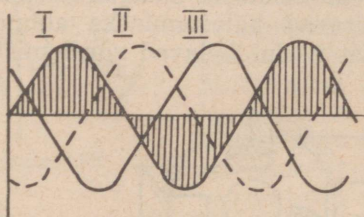
Vahelduva voolu mootoritest on kõige enam levinenud n. n. **kolmefaasilised** mootorid, millised toidetakse kolmefaasilise vooluga (§ 71). Et nende mootorite tööpõhimõttest aru saada, kujutame enesele, et staator omab kolm hammast, millede mähised on ühendatud kolmefaasilise võrguga näit. tähtühendusviisil (joon. 192).

Oletame, et teatud momendil hambas I indutseerub N poolus. Kolmefaasilise voolu diagrammist (joon. 193) on näha, et kui ühes faasis voolutugevus on maksimaalne, siis ülejäänud kahes faasis on vool suunitud vastupidi; seega vaatluse all oleval momendil hammastes II ja III indutseerub S magnetism. $\frac{1}{3}$ perioodi võrra hiljem asub N magnetism hambasse II, kuna I ja III muutuvad S poolusteks, järgmise $\frac{1}{3}$ perioodi järele on N magnetism juba hambas III ja S magnetism hammastes I ja II j. n. e.

Näeme, et staatori hammaste vahel tekib **pöörlev magnetväli**, mille tõttu 3-faasilist voolu nimetatakse sagedasti **pöörlevaks** vooluks. Tähenstatud magnetvälja pöörlemise kiirus on väga suur ja oleneb voolu sagedusest.

Kujutame nüüd edasi enesele, et staatori hammaste vahel asub rootor, mis koosneb raudplekkidest kokkupandud südamikust ja mille pinnale on paigutatud oravapuuri kujuli-

selt ühendatud, kuid kerest isoleeritud vaskvardad (joon. 194). Pöörlev magnetväli indutseerib tähendatud vardades tugevaid elektrivoole, millede mõjul rootor hakkab keerlema magnetvälja pöörlemise suunas, püüdes viimasele järele jõuda. Rootori tühjakäigu juures on tema kiirus peagu võrdne magnet-



Joon. 193.



Joon. 194.

välja pöörlemise kiirusele. Täpselt võrdseteks need kiirused kunagi ei või saada, kuna alati on olemas teatud „libisemine“ nende vahel; vastasel korral ei saaks rootoris indutseeruda voolud. Kirjeldatud n. n. **induktsioon-** ehk **otseside-mootorid** on väga lihtsad, odavad ega nõua järelvalvet, kuna rootoril puuduvad täiesti kontaktrõngad ja harjauhendused.

Suurematel 3-faasilistel mootoritel on rootorid siiski varustatud **kolmefaasilise mähisega**, millist võib soovikorral ühendada täht- või kolmnurk ühendusviisil. Vool juhitakse rootorisse kolme kontaktrõnga ja harja kaudu.

Kolmefaasilise mootori pöörlemise suuna muutmiseks on vaja kaks vabalt valitud faasi omavahel vahetada, mille järel-
dusel magnetväli ja ühtlasi ka rootor hakkavad tiirlema teises suunas. Juhtub töö ajal ühe faasi kaitse läbipõlema, siis jätkub tiirlemine endise kiirusega, kuid vähema võimega. Joon. 192 kujutatud staatoris käib iga faasi juhe tegelikult läbi kahe diametraalselt üksteiste vastas asuva mähise.

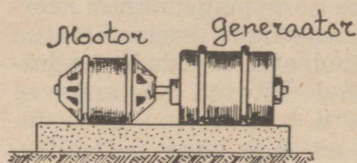
§ 78. Umformerid.

Umformeriks nimetatakse masinat, milles sünnib elektrienergia muutmine ühest kujust teise. Nii võib umformeris muuta:

- 1) alaline vool alaliseks vooluks kõrgema või madalama pingega;
- 2) alaline vool vahelduvaks vooluks;
- 3) vahelduv vool alaliseks vooluks;
- 4) vahelduv vool vahelduvaks vooluks teise sageduse või pingega.

Umformerid võib üldiselt jaotada kahte liiki:

a) **mootorgeneraatorid** — kujutavad enesest kahte iseseisvat elektrimasinat, milledest üks töötab elektrimootorina ja teine — generaatorina. Mõlemad masinad on võllidega otse ühendatud ja kinnitatud ühisele alusele. Muidugi peavad mõlemad masinad olema konstrueeritud võrdsele kiirusele ja mootori võime peab olema küllaldane täielt koormatud generaatori veoks. Mootorgeneraatori väline kuju on näidatud joon. 195.



Joon. 195.

muudetakse alaline vool vahelduvaks või ümberpööratud, nimetatakse **konvertoriteks**.

b) **üheankru-umformerid**

— on varustatud ühe ankruga, millele keritud kaks iseseisvat mähist: üks — mootori mähis, millesse juhitakse ankru tiirlemiseks tarvilik vool käepärast olevast vooluallikast. Teises mähises indutseerub ankru tiirlemise ajal teist liiki elektrivool.

Üheankru umformerid, milledes

IV OSA

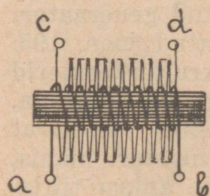
TRANSFORMAATORID.

§ 79. Üldised osad ja töö põhimõte.

Elektritransformaator on aparat, milles **vahelduva** voolu energia muudetakse madalapingelisest kujust kõrgepingeliseks või ümberpöörduvalt, sellejuures jättes sagedus muutamatuks.

Transformaator koosneb **raudsüdamikust**, mis pöörisevoolude ärahoidmiseks koostatakse üksikutest paberi või lakiga isoleeritud plekkidest või viitsadest. Raudsüdamikule on paigutatud kaks mähist. Üks n.-n. **madalapinge mähis** on keritud isoleeritud vaskjuhest, mis võrdlemisi jäme ja väheste keerdudega (joon. 196, a—b). Madalapinge mähise otsad on toodud välja vastava kahe klemmi alla. Teine n.-n. **kõigepinge mähis**, on tavaliselt asetatud esimese peale; keritakse õige peenest isoleeritud vaskjuhest õige suure keerdudearvuga. Ka selle mähise otsad on välja toodud kahe hästi isoleeritud klemmi c ja d alla.

Olenevalt sellest, kas transformeeritakse madalapingeline vool kõrgepingeliseks või ümberpöördult, juhitakse vahelduv vool vastavalt kas madalapinge või kõrgepinge mähisesse, mil- line sellel juhusel nimetatakse **primaarmähiseks**, kuna mähis, millest väljub transformeeritud vool, nimetatakse **sekundaar- mähiseks**.



Joon. 196.

Juhtides vahelduva voolu näit. ma- dalapinge mähisesse, leiame, et vooluga kaasas kõikuva magneetvälja tungjooned hakkavad lõikama kõrgepinge mähise keer- de ja indutseerivad igas keerus teatud E. M. J.; kõik ühel ajal keerdudes indut- seeritud E. M. J.-d liituvad ja annavad klemmidele c ja d vahel (joon. 196) ül- dise pinge, mis on õige kõrge selletõttu, et keerde on arvult väga palju. Võttes teisel korral primaarmähiseks kõrgepinge mähis, indutseerime sekundaar- ehk madalapinge mähises madalama pingega voolu.

Kõrge ja madala **pinge** vahekord transformaatoris on lihtne. Nimelt on kõrgepinge mähise pinge niimitu korda **kõrgem** madalapinge mähise pingest, **mitukorda rohkem keerde on esimeses võrreldes teisega**

$$V_k : V_m = n_k : n_m$$

Näide: Kui kõrgele tõuseb pinge transformaatoris, mille primaar- mähist toidetakse 220 v vooluga ja milles mähiste keer- dude vahekord $n_k : n_m = 150$.

Vastus: Küsitud pingeväärtus on $220 \times 150 = 33.000$ v.

Kuna sekundaarmähises eristuv energia ei või olla suurem pri- maarmähisesse juhitud energiast, siis asuvad **voolutugevused** primaar- ja sekundaarmähistes pöördvõrdelises vahekorras, s. t. kõrgepinge mähise voolutugevus on niimitu korda **väiksem** madalapinge mähise voolutugevusest, mitukorda rohkem omab keerde kõrgepinge mähis võrreldes madalapinge mähisega.

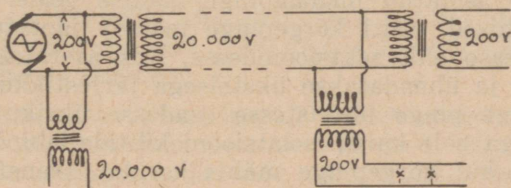
$$J_m : J_k = n_k : n_m$$

Õieti on vool sekundaarmähises veelgi nõrgem, kui see teoreetiliselt peaks olema eelnimetatud vahekorra juures, kuna osa energiat kulub transformaatoris eneses. Peab siiski tä- hendama, et energia kadud transformaatoris on õige väikesed; tema kasutegur, s. o. vahekord tagasi antud ja kulutatud energia vahel kõigub 94—98% vahel.

Transformaatorid leiavad elektrotehnikas õige laia kasu- tamist. Kõigepealt tarvitatakse neid **elektrienergia edasiand- misel** suurematele kaugustele. Suure elektrienergia edasiand-

mine madala pinge juures nõuaks tugevate voolude suunimist magistraaljuhtmetesse. Eespool aga näitasime (§ 24), et energiakadud juhtmetes soojuse kujul tõusevad võrdeliselt voolutugevusele, arvatud teises astmes. Selletõttu on väga otstarbekohane elektrienergia enne väljasaatmist välisliinidesse transformeerida kõrgepingeliseks. Näit., tõstes pinget transformaatoris 200 v kuni 20.000 v, saame sama energia välja saata 100 korda nõrgema vooluga, mille järeltulusel aga voolukadud soojuse kujul on 100×100 korda väiksemad.

Voolutarvitajate rajoonides tuleb kõrge pinget transformeerida uuesti madalaks (joon. 197), kuna voolutarvitajad konstrueeritakse tavaliselt madalale pingele. On olemas voolutarvitajaid, mis nõuavad isegi hariliku tehnilise vahelduva voolu (50 v—220 v) transformeerimist 6—4 voldini, näit. elektrikõlistaja, raadiolambi küte jne. Eriti sagedasti tarvitatatakse transformaatoreid vahelduva voolu mõõtriistade juures kõrgepingeliste voolude mõõtmisel, millejuures mõõtriistad lülitakse transformaatori madalapinget mähise külge.



Joon. 197.

Kui ligemalt vaadata transformaatorite lülitusskeemi (joon. 197), siis paistab, nagu oleks pingetõstmise juures tegemist lühiühendusega. Nimelt on alternaatori pinget alla otsekohe ühendatud transformaatori primaarmähis, mis teatavasti on keritud võrdlemisi jämedast vaskjuhest väheste keerudega, mille tõttu ka selle mähise oomiline takistus on väga väike. Alalise pinget all põleks see mähis kohe läbi, kuid vahelduva pinget juures tuleb meeles pidada, et transformaator omab suure induktiivsuse, mille järeltulusel primaarmähises tekivad omainduktsiooni lisa — E. M. J.-d (induktiivtakistus). Juhul, kui kohtade peal voolu tarvitamist ei ole, on need lisa — E. M. J.-d peagu sama suured, kui vahelduva voolu allika pinget ja sellejuures viimasele vastupidised, mille tõttu primaarmähise ahelas jookseb praktiliselt tähtsusetu nõrk vool.

Niipea kui algab voolutarvitamine, tekib vool ka sekundaarmähise ahelas; viimase voolu magnetväli hakkab induktiivsiooni tõttu transformaatori primaarmähise lisa — E. M. J.-u

halvama, võimaldades seega primaarmähise ahelas voolu kasvamist niivõrd, kuipalju seda tarvis on endise magnetvälja alalhoidmiseks. Näeme, et transformaator omab väärtusliku omaduse **automaatselt reguleerida** voolukulu: tõuseb kohtade peal voolu tarvitamine, siis tõusevad vastavalt ka voolutugevused primaar- ja sekundaarmähistes; kahaneb voolutarvitamine, siis automaatselt kahanevad ka voolud tähendatud ahelates.

Selge on, et alalist voolu kirjeldatud transformaatorites muuta ei saa.

§ 80. Transformaatorite konstruktsioon ja liigitus.

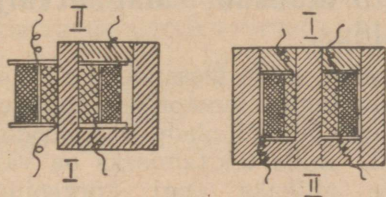
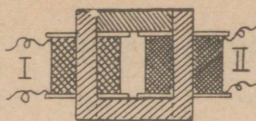
Transformaatorite tüüpidest on lihtsamad n.-n. **lahtise südamikuga** transformaatorid (joon. 196). Nagu eespool öeldud, koosnevad need transformaatorid pulgakujulisest raudsüdamikust ja kahest mähisest, milledest kõrgepinge mähis tavaliselt on asetatud madalapinge mähise peale. Sagedasti on need mähised (eriti kõrgepinge mähis) jaotatud üksikutesse poolidesse ehk sektsioonidesse, mis asetatakse südamikule kõrvuti ja ühendatakse üksteisega järjestikku. Sel viisil jaguneb kõrge pinge ühtlastesse osadesse üksikute sektsioonide vahel ega pole karta isolatsiooni kihtide läbipõlemist, mis on võimalik, kui kõrgepinge mähis kerida transformaatorile üheainsa poolina.

Lahtise südamikuga transformaatorid on lihtsad oma ehituse poolest ja odavad. Võrdlemisi laiali paisatud magnetvälja tõttu on aga nende transformaatorite kasutegur võrdlemisi väike.

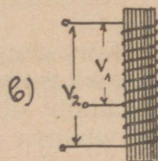
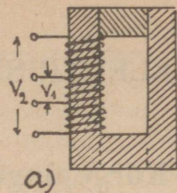
Tavaliselt tarvitatakse n.-n. **kinnise südamikuga transformaatoreid**. Nende südamikud on koostatud üksikutest n- või m-kujulistest raudplekkidest, millised on ühelt küljelt kaetud lakiga või üle liimitud siidipaberiga (n.-n. „transformaatori plekk“) ja asetatud üksteise peale otsadega vaheldumisi ühele ja teisele poole (joon. 198).

Seesugustes transformaatorites magnetvälja tungjooned kõiguvad peagu täielikult raudsüdamikus, mille tõttu transformaatorite kasutegur on kõrge. Ehituse poolest on need transformaatorid keerukamad (mähiste pealepanek raskem, suur rauakulu jne.), mis tõstab nende hinda.

Erilise tüübi moodustab n.-n. **autotransformaator**. See omab vaid ühe mähise, millest osa keerde on võetud madala pinge osana, kuna terve mähis esineb kõrge pinge osana (joon. 199). Seesuguseid transformaatoreid tarvitatakse juhul, kui



Joon. 198.



Joon. 199.

tegemist on väikese transformeerimise astmega; siis on ka kasutegur sellel transformaatoril suur. Autotransformaatori juures on võimalik läbiajada vaid kolme välisjuhega (joon. 199-b), kusjuures üks juhe viimasel juhul on ühine kõrge- ja madalapinge ahelatele.

Kõik eespool kirjeldatud transformaatorid kuuluvad n.-n. madala sageduse transformaatorite liiki, kuna nendega on võimalik transformeerida vaid madala sagedusega vahelduvaid voole. Igat transformaatorit iseloomustab esmalt primaarmähise **normaalpinge**, millele ta on konstrueeritud ja **transformeerimise aste** (näit. 1:100; 1:50 jne). Suuremate transformaatorite kohta antakse teada veel **võime** (kilovattides), milleni on lubatud teda koormata, ilma et pruugiks karta südamikku kuumenemist ja isolatsiooni rikkeid. Võimsad transformaatorid paigutatakse sagedasti õliga täidetud anumatesse, mis tõstab isolatsiooni vastupidavust ja soodustab jahutamist.

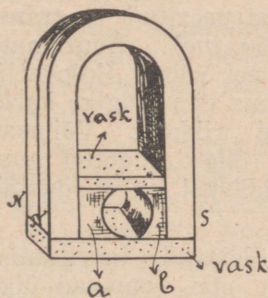
Kõrge sageduse transformaatorid leiavad tarvitamist raadiotehnikas, kus tegemist vooludega, mis omavad õige kõrge sageduse. Põhimõtteliselt ei erine nad madala sageduse transformaatoritest, kuid neil puudub raudsüdamik. Viimane tõstaks induktiivtakistuse niivõrd kõrgele, et ükski kõrge sagedusega vool ei suudaks läbistada raudsüdamikuga varustatud transformaatorit.

ELEKTRISÜTAMINE SISEPÕLEMISE MOOTORITES.

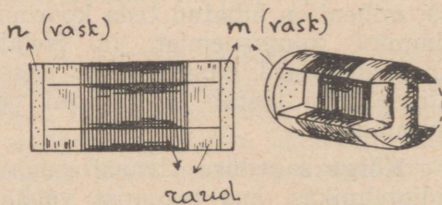
§ 81. Kõrgepinge magneto üldosad. Magnetvälja korraldus.

Kõrgepinge magneto on aparat, mille ülesandeks on süüdata kokkusurutud põlevsegu sisepõlemise mootorite silindrites. See sünnib silindritesse asetatud süüteküünlade elektrodide vahel sündiva elektrisädeme abil, mille tekitamiseks on vaja kõrgepingelist voolu. Viimase allikaks ongi kõrgepinge magneto.

Ehituse poolest on kõrgepinge magnetol palju sarnadust väikese alternaatoriga. Magnetvälja moodustavad magnetos permanent **magnetid** (üksik, või 2—3 tükki koos), mille pooluste N ja S otsadele on kinnitatud tungjoonte koondamiseks pehmest rauast tehtud n.-n. **kingad a ja b** (joon. 200). Pooluste otsade alla on kinnitatud vask- või alumiiniumplaat ja samast ainest teine plaat kingade peale. Tähendatud plaadid takistavad tolmu ja mustuse sattumist magneto sisemusse; loomulikult ei või need plaadid mingil tingimusil olla rauast või terasest. Magnetraud peavad olema võrdlemisi tugevad ja suutma tõsta raudplaadi kaaluga umbes 9 kg.



Joon. 200.

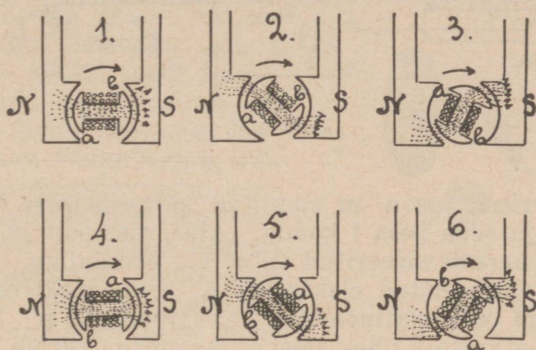


Joon. 201.

Magnetraudade pooluste vahel tiirleb **ankur**, mille südamik on koostatud üksikutest kaksik-T kujulistest raudplekkidest (joon. 201). Südamiku küljed on tehtud vasest (vask-diskid).

Kirjeldatud raudsüdamikuga ankur on asetatud magnetpooluste kingade vahele õige väikese vahega (umbes 1 m/m);

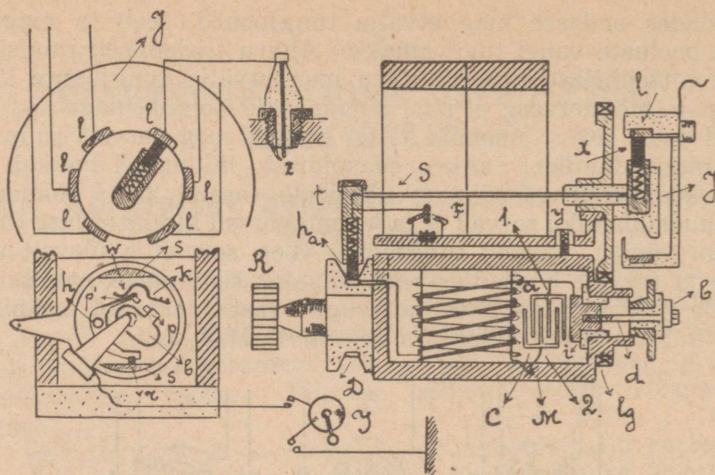
koondades endasse magnetvälja tungjooned, teeb ta magnetvälja pooluste vahel tugevamaks. Ankru tiirlemisel, raudsüdamikule mitteühtlase profiili tõttu, magnetvälja tungjoonte kimp ehk n.-n. **magnetvoog** ei püsi paigal, vaid kõigub, nagu see näidatud joon. 202. Asendis 1. on magnetvoog tervelt suunatud läbi raudsüdamikule; ankru edaspidisel liikumisel hakkab see voog koos ankruga liikuma ülespoole (asend 2.). Momendil, kus raudsüdamikule servad **a** ja **b** eemalduvad kingaservast (umbes 1 m/m võrra), kargab tungjoonte voog servalt **a** ülevalt allapoole ja servalt **b** alt ülespoole, lõigates sellejuures ankrusüdamikule keritud ning ühes ankruga vastujooksvaid **mähiseid** ning indutseerides viimastes teatud E. M. J.-u.



Joon. 202.

On selge, et ankru ühe täistuuruga sünnib kirjeldatud tungjoonte ülekarvamise kaks korda, millejuures mähistes indutseerub E. M. J. kord ühes suunas, teinekord teises suunas. See E. M. J. on kõige tugevam momentidel, kus ankrusüdamikule servad **a** ja **b** on eemaldunud kingaservadelt umbes 1 m/m võrra, kuna just nendel momentidel mitte ainult ankrumähised ei lõika tungjooni, vaid ka tungjoonte voog ise jookseb suure hooga mähistele vastu. Sel teel on võimalik saavutada õige suurt relatiivkiirust magnetvälja ja selle sees liikuva metalljuhe vahel, kuna vastasel korral juhe liikumine paigalseisvas, kuid võrdlemisi nõrgas tungjoonte voos ei annaks ankrumähises küllalt tugevat induktsiooni.

Ankrusüdamik kannab enesel kaks mähist: üks sisemine **madalapinge mähis**, keritud võrdlemisi jämedast isoleeritud vaskjuhest ($d = 0,6 - 0,8$ m/m) väheste keerdudegaga (120—180). Selle mähise üks, **sisemine**, ots on ühendatud raudsüdamikuga, s. o. magneto kerega punktis **M** (joon. 203).



Joon. 203.

Teine, isoleeritud ots *a* on suunitud katkestajasse *K* alasi *b*, alasispoldi *d* ja selle pesa *i* kaudu. Alas, alasispolt ja selle pesa on magneto kerest **isoleeritud** fiibri või eboniidiga. Alas kannab enesel platineeritud elektroodi *p*. Selle elektroodiga võib kokkupuutuda oma platineeritud elektroodiga *p'* katkestaja **haamer** *h*. Katkestaja ühes alasi ja haameriga tiirleb koos magneto ankruga. Sellejuures hoovakujuline haamer oma kühmuga *r* libiseb iga poolringi järele paigalseisvatele segmentidele *s—s* ja annab seega platineeritud elektroodide vahel katkestuse. On haamer oma kühmuga *r* jõudnud üle segmenti, surub vedru *w* haamri oma elektroodiga jälle alasi elektroodi vastu. **Haamer on kerest isoleerimata.**

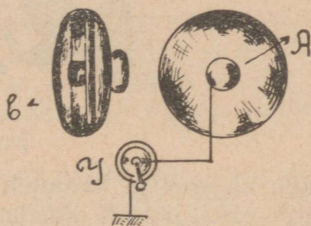
Madalapinge mähise isoleeritud otsaga on ühendatud ankru südamikku monteeritud lehtkondensaatori *C* isoleeritud klemm *1*. See kondensaator on tehtud stannioollehtedest vilgukivi isolatsiooniga ja omab võrdlemisi suure elektrimahtuvuse. Kondensaatori teine klemm *2* on isoleerimata, s. t. seisab ühenduses ankru südamikuga ja seega terve magneto kerega. Näeme, et kondensaator *C* asub rööbiti katkestaja elektroodide vahel, nagu see oli Ruhmkorffi spiraalis (§ 44).

Madalapinge mähisele on magnetol keritud **kõrgepinge mähis** penikesest isoleeritud vaskjuhest ($d = 0,01—0,05$ m/m) õige suure keerdude arvuga (5500—10.000). Selle mähise üks ots on ühendatud madalapinge mähise isoleeritud otsa külge; teine ots on toodud hästi isoleeritult n.-n. **kõrgepinge kollektori** *D* külge. Näeme, et kõrgepinge mähis on ühendatud mag-

neto kerega väikese takistuse omava madalapinge mähise kaudu ja moodustab viimasega transformaatori (õieti autotransformaatori, — vaat. § 80).

Kollektori **D** pinnal hõõrub selle pinna vastu ankru tiirlemisel sõehari **ha**, mille kaudu läbi piibu **t** ja silla **S** (viimaste vahel võib olla ka sõehari) läheb kõrgepingeühendus jagaja **J** sõeharjale **x**; viimane käib ringi ankrurega ühendatud erilise hammasratta abil ja libiseb sellejuures üle jagaja lamellide **l—l**, mis on kaablite kaudu ühendatud silindritel asuvate süüteküünlade isoleeritud klemmidega. Mõnedel magnetodel jagaja hari **x** ei asu otsekohe kontaktis lamellide pinnaga, vaid liigub nendest mööda vaba, umbes 1 m/m laiuse vahega.

Katkestaja **K** on väljaspoolt kaetud kaanega (joon. 204), mille keskel asub isoleeritud klemm **A**. Viimane on ühendatud kaane seesmisel pinnal vedrutava sõeharjaga **b**, mis kaane pealepanemisel asub kontakti oma telje ümber ringi käiva alasipoldi **d** peaga. Klemm **A** on ühendatud isoleeritud vaskjuhega lülilija **Y** ühe elektrodiga, kuna lülilija teine elektrod on ühendatud masinakerega.



Joon. 204.

§ 82. Kõrgepinge magneto ahelad ja nendes tekivad protsessid magneto töö ajal. Kaitse.

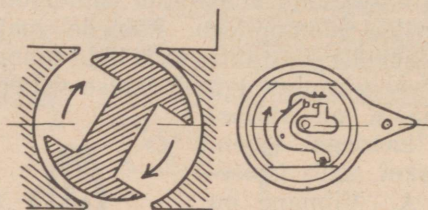
Kõrgepinge magneto ankur on hammasratta **R** abil (joon. 203) ühendatud sisepõlemise mootori võlliga. Mootori käimisel jookseb seega magneto ankur magnetpooluste vahel ringi. Oletame esialgul, et magneto katkestaja kaan **A** (joon. 204) on **maha võetud** ja vaatleme ligemalt, millised protsessid tekivad magneto ühendustes.

Vaatlemise alla tuleb **kaks ahelat**.

A. Madalapinge ahel, mille moodustavad järgmised osad (joon. 203): madalapinge mähise kerega ühendatud otsapunkt **M** — madalapinge mähis — alasipolt — alas — haamer — ankrure — punkt **M**.

Selles ahelas indutseerub ankru tiirlemisel vahelduv E. M. J., mille sagedus võrdub ankru tiirude arvule sekundis ja mille amplituudid vastavad momentidele, kus ankrusüdamik asub magnetpooluste suhtes asendis vaat. joon. 202 — 3. ja 6.

See vahelduv E. M. J. annab vastava vahelduva voolu ja sellega kaasaskäiva kõikuva magnetvälja ainult nendel ajavahemikkudel, kus alasi ja haamri elektrodid $p-p'$ asuvad kontaktis. Momentidel, kus haamrikühm hakkab ronima segmentile, sünnib alasi ja haamri elektrodide vahel katkestus; sellejuures on haamer ankru mähise suhtes monteeritud nii, et katkestusemoment vastab maksimaalse induktsiooni momendile (amplituudi momendile) — vaat. joon. 205. Katkestusega üheskoos



Joon. 205.

katkeb ka vool ja kahaneb ühtlasi selle voolu magnetväli, mis sünnib eriti järsult kondensaatori kaasabi tõttu, kuna selle laengud halvavad katkestuse ekstravoolu — vaat. kondensaatori tegevus Ruhmkorffi spiraalis (§ 44). Väike, nõrk sädelemine elektrodide vahel on tunnuseks, et kondensaator töötab korralikult.

B. **Kõrgepinge ahel**, mille moodustavad järgmised osad (joon. 203): madalapinge mähise kereühendus M — madalapinge mähis — kõrgepinge mähis — kollektor — kollektorihari — piip — sild — jagajahari — lamell — kaabel — küünlasüdamik — mootorikere — ankrukere — kereühendus M.

(Ühendus mootorikere ja ankrukere vahel sünnib kuul-laagrite lg kaudu. Kuna need on õlised ja voolu läbistamisel oksüdeerivad, siis selle ärahoidmiseks ning parema ühenduse saamiseks monteeritakse sagedasti magneto välise kere ja ankrukere vahele n.-n. maandumiseharjad y).

Kirjeldatud ahelas indutseerub ankru tiirlemisel magnetpooluste vahel samuti vahelduv E. M. J., võrdlemisi kõrgema pingega, kuna mähisekeerde on siin märksa rohkem. Selle E.M.J-ga ühineb madalapinge mähise kõikuva magnetvälja poolt indutseeritud E. M. J. (transformaatori töö põhimõttel). Mõlemad vahelduvad E. M. J.-d, moodustades ühise pinget, ei ole siiski suutelised andma koos seesuguse E. M. J., mis sünnitaks ahelas voolu, kuna silindris asuva süüteküünla elektrodide vahe z (0,4 m/m), eriti veel põlevsegu kõrge rõhumise all, moodustab selleks liig suure takistuse.

Alles madalapinge ahelas asetleidva voolu mehhaanilise katkestuse momendil kondensaatori kaasabil eriti järsku kokkulangev magnetväli suudab indutseerida kõrgepinge mähises **niivõrd kõrge E. M. J.-u**, et see sünnitab ahelas lühikese voolu, mis avaldub süüteküünla elektrodide vahel tekkiva **elektrisädeme** kujul. (N. B. Juhul, kui jagajaharja ja lamellide vahel on olemas püsiv vahe, kargab elektrisäde korruga kahes kohas — tähendatud vahes ja süüteküünlas).

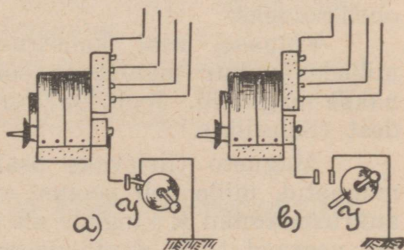
Näeme, et kõrgepinge ahelas tekib elektrivool (ja küünlas säde) ainult nendel momentidel, mil sünnib madalapinge ahela katkestus alasi ja haamri vahel ja seda tänu just kondensaatori tegevusele, milleta omainduktsiooni nähe tõttu aeglaselt kahanev mähise magnetväli ei suudaks kõrgepinge mähises indutseerida tarviliku kõrgusega E. M. J.

Kuna jagajal on niipalju lamelle, kuipalju on mootoril silindreid ja kuna mootori peavõlli kahe täistiiru jooksul peavad kõik silindrid teatud järjekorras elektrisädet saama, siis peab aset leidma peavõlli, magnetoankru ja jagaja hammasrataste tiirude vahel kindel vahekord.

Näide: 6-e silindriga mootoris peavõlli 2 tiiru jooksul peab jagajahari tegema ühe täisringi (kõik lamellid läbi) ja ankur andma sama ajaga 6 sädet, s. o. 3 täistiiru.

Asetame nüüd katkestaja kaan oma kohale ja vaatame, mis sünnib siis, kui lülüja **Y** on **sisselülitud** (joon. 206-a). Nüüd tekib eelmise kahe ahela kõrvale kolmas n.-n. **kontaktiahel**: madalapinge mähise kereühendus **M** — madalapinge mähis — alaspolt — katkestaja kaane hari — lülüja **Y** — masinakere — ankrukere — kereühendus **M**.

Näeme, et selles suletud ahelas annab madalpinge mähises ankru tiirlemisel indutseeruv E.M.J. **pideva voolu** ja katkestaja platineeritud elektrodide lahutamine ei saavuta mingisugust efekti. Kõrgepinge ahelas indutseerub oma teatud vahelduv E. M. J. endisel kujul, millele seltsib madalapinge mähise kõikuvast magnetväljast indutseeritud pidev vahelduv



Joon. 206.

E. M. J., kuid mõlemad, nagu eespool öeldud, pole suutelised andma kõrgepinge ahelas sädet. Kondensaatori tegevus on halvatud, kuna madalapinge mähises indutseerunud vooludel ei pruugi otsida teed katkestaja platineeritud elektrodide kaudu, leides vaba ringkäigu kontaktiahela kaudu.

Alles siis, kui asetame lüljaja **Y** asendisse vaat. joon. 206-b, astub esile katkestaja mõju ja pääseb tegevusele kondensaator ning kõrgepinge mähises hakkab indutseeruma säde tekitamiseks vajalik kõrge pinge.

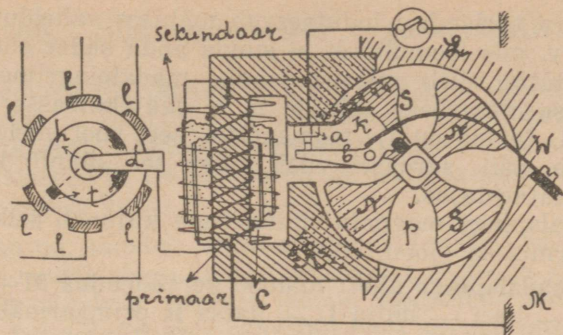
Juhul, kui magneto kõrgepinge ahelas on tekkinud mõni rike, näit. katkenud kaabel, või lahti pääsenud kaabliots küünla klemmi küljest, võib tekkida hädaoht, et indutseeritud kõrge pinge, mitte leides lahendust küünla kaudu, lööb läbi isolatsiooni kihij kõrgepinge mähises ja rikub seega viimase. Selle ohu ärahoidmiseks varustatakse magneto n. n. **kaitsjaga F** (vaat. joon. 203); viimane kujutab enesest kahte metall-elektroodi, millest üks on kerest isoleeritud ja ühendatud kõrgepinge ahelaga, teine aga ühendatud kerega. Kuna vahe elektrootidide vahel peab olema umbes 10 mm, siis magneto ahelate korraliku seisukorra juures need elektrootidid ei takista säde tekkimist küünlates. On aga kõrgepinge ahel kusagil juhuslikult katkestatud, siis võib see pinge laheneda sädeme kujul kaitsja elektrootidide, mitte aga soovimatult mähise isolatsiooni kihtide kaudu.

§ 83. Paigalseisva ankruga ja tiirlevate magnetidega kõrgepinge magneto.

Eelmisest § selgub, et kõrgepinge magneto ankrule tuleb seda rohkem lisada tiirlemisekiirust, mida suurematel tiirudel see mootor töötab (rohkem plahvatusi ajaühikus). Liig suurte tiirude juures võib ette tulla konstruktsiooni raskusi, kuna ankrumähistes tekkinud tsentrofugaal jõud võivad saada mähistele ohtlikkudeks.

Viimasel ajal konstrueeritakse kõrgepinge magnetod, milledes ankur mähistega seisab paigal, kuna tiirlema pannakse magnetid. Joon. 207 on näidatud üks tähendatud tüüpidest (Scintilla).

Magneto tiirlevaks osaks (rootor) on siin permanent magnetid, mille neli poolust vaheldamisi liiguvad paigalseisva ankrusüdami **R** kingade alt mööda. On arusaadav, et rootori iga veerand tiiru järele magnetvälja tungjooned raudsüdami kus muudavad oma suuna, mille tõttu ankrule asetatud mähistes indutseeruvad vahelduvad **E. M. J.** Rootori ühe täistiiru kestvusel indutseerub kaks perioodi; selle juures **E. M. J.** amplituudid vastavad nende momentidele, kus mõni magnetpoolus asub ankrusüdami kingade vahel (joon. 207 näidatud momendil on induktsioon null). Momendil, mil induktsioon mähistes kõige tugevam, sünnib madalapinge ahelas katkestus.



Joon. 207.

Katkestaja **K**, s. t. alas ja haamer platineeritud kontaktidega, seisavad paigal ja katkestamine sünnib mehhaaniliselt rootori võllile monteeritud ja nelja kühmuga varustatud muhvi **p** abil. Vedru **W** surub kontaktid kokku ajal, kui haamrikühm on libisenud üle muhvikühmu.

Madalapinge ahela ringkäik on järgmine: kereühendus **M** — primaarmähis — isoleeritud alas **a** — isoleerimata haamer **b** — ankrukere — kereühendus **M**.

Kõrgepinge ahela moodustavad: kereühendus **M** — primaarmähis — sekundaarmähis — isoleeritud elektrood **d** — jagaja rootori söehari **h** — jagaja hari **t** — lamell — kaabel — süüteküünal — mootorikere — ankrukere — kereühendus **M**.

Madalapinge mähiste otsade vahele, rööbiti katkestajale, on ühendatud silindrikujuline kondensaator **C**.

Näeme, et kirjeldatud magnetos esinevad endised ahelad, mis olid eespool selgitatud tavalise magneto juures; selletõttu on endised ka nendes ahelates esinevad protsessid.

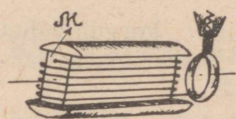
§ 84. Madalapinge magneto ja selle süüteseadeldis.

Madalapinge magneto oma ehituselt omab palju ühist kõrgepinge magnetoga. Magnetsüsteem, ankrusüdamik ja tungjoonte korraldus on sarnane sellele, mis kirjeldatud eespool (§ 81) kõrgepinge magneto kohta, vaat. joon. 200, 201 ja 202. **Ankur** on varustatud üheainsa (madalapinge) mähisega, mille üks ots on kinnitatud ankrusüdamikule; teine, väline ots on isoleeritud ja ühendatud kollektori rõngaga (joon. 208), mille pinna mööda libiseb söehari.

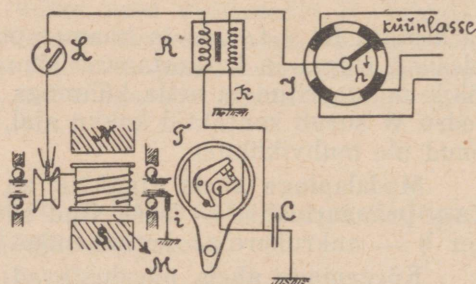
Ankru tiirlemisel indutseerub mähises vahelduv E. M. J. 100—150 v, mis loomulikult ei suuda anda sädet süüteküünlates. Selletõttu tuleb ankrust saadud madalpingeline vool pinge tõstmise otstarbeks juhtida n. n. **süütekatsasse** (§ 86) ja vastavatel (amplituudi) momentidel see vool mehhaaniliselt **katkestada**, näit. sarnasel viisil, nagu see sünnib kõrgepinge magneto katkestajas.

Madalapinge magneto süüteskeem kujuneb sellejärele üldiselt järgmiseks (joon. 209):

1) **madalapinge ahel**: mähise kereühendus **M** — mähis — kollektor — hari — lülili **L** — katsa **R** primaarmähis — katkestaja (isoleeritud) alas — haamer (isoleerimata) — ankrukere — kereühendus **M**.



Joon. 208.



Joon. 209.

See ahel katkestatakse momentidel, kus induksioon ankrus on maksimaalne, s. t. kui ankru südamik asub magnetide vahel asendis vaat. joon. 202 — 3. ja 6, mis sünnib kaks korda ankru ühe täistiiru jooksul;

2) **kõrgepinge ahel**: kereühendus **K** — katsa **R** sekundaarmähis — jagaja hari **h** — lamell — kaabel — süüteküünal — kere — kereühendus **K**.

Momendil, kui jagaja hari asub mõne lamelli keskkohal, sünnib madalapinge ahela eespool nimetatud katkestus ja katsa sekundaarmähises indutseerub kondensaatori **C** kaasabil niivõrd kõrge pinge, et see annab ahelas lühikese voolu ja süüteküünlas sädeme.

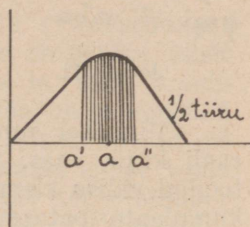
Magneto ankur tiirleb kuullaagritel, nagu see oli kõrgepinge magnetos. Mähise kerega ühendatud ots leiab kontakti mootori üldise metallmassiga kuullaagrite kaudu, milline kontakt, nagu eespool selgitatud, ei ole hea. Parema kontakti saamiseks üldise massiga asetatakse ankru võllile **maandumisharjad** (**i**), millede pesad asuvad isoleerimatult magneto välisel kerel.

§ 85. Süütemomendi reguleerimine.

Süütemomendi reguleerimine (varajane, hiline süütus) sünnib kõrge- ja madalapinge magnetode juures tavaliselt sel teel, et katkestaja segmente kandev rõngas **T** (joon. 209) anab normaalasendist teatud nurga all pöörata ankru tiirlemise suunas või sellele vastu.

On antud silindris süütamine reguleeritud normaalseks, siis sünnib madalapinge ahelas katkestuse algus ja jagaja hari asub antud silindrile vastava lamelli keskkohas parajasti sel momendil, kui silindri kolv asub ülemises surnud punktis (survekäigu lõpul). Kui nüüd katkestaja segmentide rõnga pöörane mõne nurga võrra ankru liikumise suunas, siis sünnib katkestus veidi hiljem ja saame n. n. **hilise süütuse**; pöörates rõnga ankru liikumisele vastu, saame **varajase süütuse**.

Loomulikult, ei vasta viimasel juhul madalapinge ahela katkestus täpselt maksimaalse induktsiooni momentidele, kuid nagu joon. 210 näha, see induktsioon oma maksimumi ehk amplituudi momendi lähedal muutub võrdlemisi vähe, nii et kõrgepinge ahelas sünnib ikkagi küllaldane pinge vaatamata sellele, kas madalapinge ahela katkestus sündis täpselt momendil **a** või momentidel **a'** või **a''**.



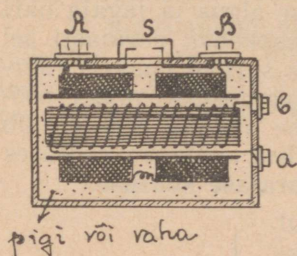
Joon. 210.

§ 86. Süütekatsa (bobiin).

Sisepõlemise mootori süütamist võib teostada ka **alalise** voolu allika, näit. akkumulaatorite patarei abil. Muidugi ei suuda patarei vahetult anda süütamiseks vajalikku pinget. Tarvilise kõrgepinge saavutamiseks kasutatakse põhimõtet, mis oli aluseks Ruhmkorffi spiraali ehitusel (§ 44). Alalise voolu allika kõrval tuleb siin tähtsamatest lisaaparatuuridest nimetada **süütekatsat** ja **katkestajat**.

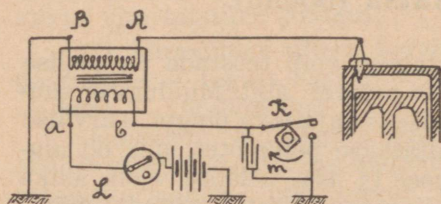
Süütekatsa kujutab enesest tavalist lahtise südamikuga transformaatorit (joon. 211), mis sisaldab **kaks mähist**: madalapinge mähis, mille otsad on ühendatud klemmide **a** ja **b** alla ja kõrgepinge mähis, mille otsad on toodud hästi isoleeritud klemmide **A** ja **B** alla. Kõrgepinge ahel on sagedasti kaitsitud metallplaat-kaitsjaga s põhimõttel, nagu see oli selgitatud eespool (§ 82).

Süütesealdise korraldamiseks tuleb katsa madalapinge mähise üks klemm, näit. *a* ühendada lülilija *L* kaudu (joon. 212) akkumulaatoripatareiga, mille teine poolus on ühendatud mootori kerega. Katsa teine klemm *b* tuleb ühendada mehhaanilise katkestaja *K* ühe elektroodiga, kuna katkestaja teine elektrood ühendatakse mootori kerega. Katkestamine sünnib automaatselt mootori peavõlliga ühenduses oleva kühm-muhvi *m* abil momentidel, kus silindris peab tekkima elektrisäde.

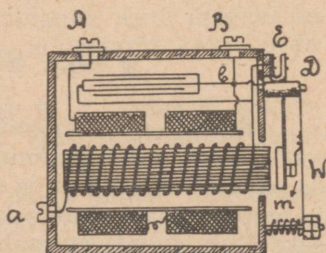


Joon. 211.

Viimasel juhtumil võtab katsa täiesti Ruhmkorffi spiraali kuju, vaat. joon. 213. Madalapinge mähise üks ots on toodud välise klemmi *a* alla ja ühendatakse lülilija *L* kaudu akkumulaatoripatareiga (joon. 214), mille teine poolus on ühendatud mootorikerega. Mähise teine ots on ühendatud haamerkatkestaja alusega *E* ja edasi kontakt *m*, vedru *W* ja kron-



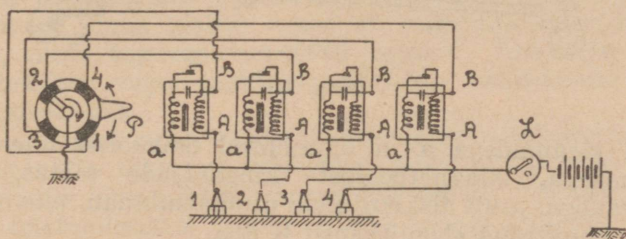
Joon. 212.



Joon. 213.

steini *D* kaudu klemmiga *B*, milline omakorda seisab ühenduses mootori kerega. Sama klemmiga *B* on ühendatud ka kõrgepinge mähise üks ots (punkt *b* juures), kuna mähise teine ots ühendatakse süüteküünlaga. Kereühendus klemm *B* juures ei ole pidev, vaid sünnib katkeliselt jagaja lamellide kaudu, nagu see näidatud joon. 214 neljasilindrilise mootori jaoks.

Skeemilt on näha, et igal silindril on oma iseseisev katsa, mis töötab ainult siis, kui selle silindrile on vaja anda süütamist. Näit. skeemil kujutatud momendil töötab silindri nr. 2 katsa. Madalapinge vool läheb patareist katsa primaarmähise, haamerkatkestaja ja klemm B kaudu üle lamelli 2 ja jagaja



Joon. 214.

sõeharja mootorikeresse. Haamri katkestuste (vibreerumise) ajal indutseeritud kõrgepingeline vool sattub ringkäiku ühelt poolt klemmist A vastavasse süüteküünlasse ja selle kaudu mootorikeresse; teiselt poolt klemmi B ja sama ühise lamelli 2 kaudu üle jagaja sõeharja mootorikeresse. Teised katsad sel ajal ei tööta, s. t. nende primaarmähiste ahelates ei ole voolu ega haamri vibreerumist. Järgmisena hakkab tööle silinder nr. 4 katsa, sellejärele nr. 1 ja nr. 3 katsad jne.

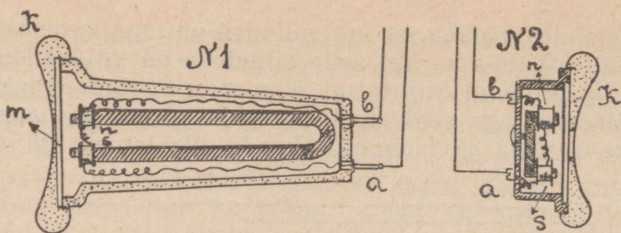
Skeemilt näeme, et elektromagnetilise katkestusega kat-sadel on kondensaatorid monteeritud katsade sisse. Pide P pööramisega ühele või teisele poole teostatakse varajast ja hilisemat süütamist, kuna selle pööramise järelduusel muutub kat-sade madalapinge ahelate sulgemise moment vastava lamelli kaudu.

VI OSA.

TELEFON JA MIKROFON.

§ 87. Telefon.

Telefon koosneb permanent magnetist ns, millele antud hobuseraua kuju ja mille pooluste otsadele on kinnitatud väikesed raudkingad (joon. 215). Kingadele asetatakse kaks vastupidi suunades keritud mähistega pooli, mis üksteisega järjestikku ühendatud. Poolide otsad ühendatakse iso-



Joon. 215.

leeritud klemmidega **a** ja **b**, millised omakorda ühendatakse välisjuhedega. Magnetpooluste kingaotsade vastas, umbes 1 mm vahega, asub diskikujuline **raudmembraan**, mis oma äärtega on kinnitatud eboniitkapsli **K** alla.

Seesugune telefon võib töötada helienergia edasiandjana ja vastuvõtjana. Vaatleme ligemalt, millised protsessid sünnivad telefonis, kui teda kasutatakse **helisaatjana**, näit. telefonis nr. 1 (joon. 215).

Magneti **ns** pooluste ümbruses on olemas teatud magnetväli, mille tungjooned lähedal asuva raudmembraani mõjul on koomale tõmmatud. Senikui membraanile ei kõneleta, ei sünni aparadis mingisuguseid muudatusi. Niipea aga, kui hakkame membraanile kõnelema või mõnda heli andma, hakkab membraan **võnkuma** (s. t. asub magnetpoolustele kord ligemale, kord kaugemale) sagedusega, mis vastab helile. Meie teame, et juhul, kui raudkeha asub poolustele lähemale, muutub magnetväli tugevamaks ja magnetist paisuvad välja uued tungjooned; asub keha poolustest eemale, siis nõrgeneb magnetväli ja tungjooned tõmbuvad tagasi poolustesse. Näeme, teiste sõnadega, et membraani võnkumine põhjustab magnetvälja tugevuse kõikumist sama sagedusega, millega võngub membraan. Kõikuv magnetväli indutseerib pooluste kingadel istuvates mähistes vahelduva E. M. J-u, mis annab välisjuhedesse sama **sagedusega vahelduvat voolu**. Lõpeb kõnelus membraanile, siis lõpevad ka voolud telefoni liinides.

Mis sünnib telefonis, kui teda kasutada tähendatud voolude **vastuvõtjana**, näit. telefonis nr. 2 (joon. 215)?

Senikui tähendatud voolud puudusid, püsib vastuvõtte telefonis täieline vaikus. Niipea aga, kui selle telefoni poolides hakkavad jooksva saatetelefonis indutseerunud vahelduvad voolud, liitub nende vooludega kaasas käiv vahelduv magnetväli permanent magneti oma väljaga, tehes viimase kord tugevamaks, kord nõrgemaks sagedusega, mis võrdne voolu, s. t. helisagedusele. Magnetvälja tugevnemise momentidel asub membraan poolustele ligemale; selle välja nõrgenemise mo-

mentidel oma elastsuse tõttu asub ta eemale; — ühe sõnaga, membraan hakkab võnkuma vastavalt saatetelefoni helisagedusele, tuues seega heli uuesti kuuldavale.

Telefon võib seega täita niihästi vastuvõtja kui saateaparadi osa. Vastuvõtjana on telefon äärmiselt tundelik. Nii on võimalik telefoni abil kuuldavale tuua voole (muidugi ainult **vahelduvaid**, kuna alalise voolu all membraan teatavasti ei võngu), mille tugevus 0,0000001 amperi. Selletõttu tarvita-takse telefone väga sagedasti nõrkade vahelduvate voolude mõõtmistehnikas.

Kui saateaparad, ei ole telefon otstarbekohane ja on selles osas välja tõrjutud mikrofon poolt. Nimelt on telefoni membraanile kõne ajal üle antud helienergia liig väike ja selletõttu telefoniliinides indutseerunud voolud äärmiselt nõrgad, et nende abil võiks kõneleda kaugemale, näit. korteri piiridest. Pealegi läheb sellest nõrgast energiast osa kaduma membraanide hõõrumisele, õhutakistusele; osa energiat kaob juhedes soojuste kujul jne.

Praktilises elus helienergia edasiandmise tehnikas esineb telefon eranditult vastuvõtte aparadina, kuna saateaparadiks võetakse võimsam riist — mikrofon.

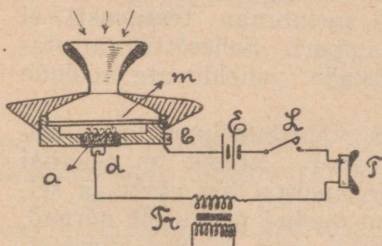
§ 88. Mikrofon.

See aparat on põhimõtteliselt väga lihtne, moodustades enesega, lihtsalt öeldud, — „halba kontakti“. Mikrofon osadest tuleb kõigepealt nimetada silindri või kettakujulist **söeelektroodi a** (joon. 216), mille pinnale on sisselõigatud üksikud pesad või sooned. Viimastesse on asetatud **söekuulikesed** või riputatud **söepuru**. Söekuulikeste või söepuru peale on kergelt asetatud metallist või söest **membraan m**, mis elektriliselt on ühendatud mikrofon kerega. Söeelektrood **a** sellevastu on kerest isoleeritud ja kannab enesel klemmi **d**, kuna mikrofon teine klemm **b** (isoleerimata) asub kerel. Mikrofon tegevus on järgmine.

Lülime ahelasse kirjeldatud mikrofon järjestikku Lec-lanché elementide patareiga **E** (4—6 volti), lülilija **L** ja telefoniga **T**. On lülilija **L** sisse lükatud, siis tekib ahelas **alaline** vool üldiselt väikese tugevusega, kuna telefoni mähised ja eriti mikrofon avaldavad kokku võrdlemisi suurt takistust. See vool on püsiv, senikui mikrofon membraan on rahul, kuna ahelas tegutsev **E. M. J.** on püsiv ja püsiv on ka ahela üldine takistus.

Hakkame nüüd mikrofon membraanile kõnelema või tooni andma. Selle järelduel hakkab membraan võnkuma ja üht-

lasi söepurule suruma kord tugevamalt, kord nõrgemalt heli-
toonile vastava sagedusega. Tugevama surumise momentidel
läheb mikrofoni ja seega kogu ahela **üldtakistus väiksemaks** ja
voolutugevus tõuseb; nõrgema surumise momentidel, vastu-
oksa, **üldtakistus kasvab** ja voolutugevus kahaneb. Näeme, et



Joon. 216.



Joon. 217.

kõnelemise ajal mikrofoni ahelas voolutugevus ei ole enam pü-
siv, vaid **muutub** sagedusega, mis vastab helile; sellejuures pü-
sib voolu suun endisena (patarei plus-poolusist miinus-poolusi
poole), kuna muutub vaid voolutugevus, vaat. diagramm
joon. 217.

Senikui telefoni **T** läbib püsiv alaline vool, tõmbub te-
lefoni membraan poolustele ligemale või tõukub eemale, kuid
ei võngu. Niipea aga, kui vooluväärtus hakkab kõikumama, siis
hakkab vastavalt nende kõikumistele vibreeruma ka telefoni
membraan, tuues heli kuuldavale. Süsteem on äärmiselt tun-
delik, nii et telefonis võib kuulda isegi kõige nõrgemaid mikro-
fonile antud helisid, näit. hingamine, kärbse jooks mikrofoni
kerel jne.

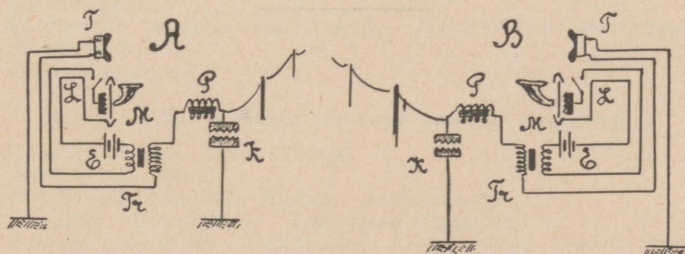
Et siin vooluvõnkumised olenevad patarei pingest ja **ta-
kistuse võnkumistest**, siis on ahelas võnkuva voolu energia
märksa suurem, kui selle vahelduva voolu energia, mis indut-
seerus telefonis, kui saateaparadis. Selletõttu on mikrofoni
abil võimalik kõneenergiat üleanda märksa kaugemale.

Pikkade telefoniliinide juures läheb siiski suur osa ener-
giat kaduma soojuseks oomilise takistuse ületamisel. Tähen-
datud kadu vähendamiseks lülitakse mikrofoni ahelasse oma pri-
maarmähisega n. n. **telefoni transformaatore**. Transformaatori
sekundaarmähis ühendatakse samal ajal välisjuhedega. On
arusaadav, et välisjuhedes mingit voolu ei ole, senikui mikro-
foni ahela vool on püsiv. Kõne ajal hakkab aga mikrofoni
ahela vool, nagu ülal selgitatud, kõikumama ja ühes sellega ka
vooluga kaasas käiv magnetväli. Kõikuv magnetväli indutsee-
rib telefoni transformaatori sekundaarmähises **vahelduvaid**

(mikspärast?) voole sagedusega, mis vastab heli sagedusele. Kuna tähendatud voolude pinge on nüüd tõstetud kõrgele ja voolutugevus vastavalt samakordselt nõrgestatud, siis on energia kadud välisjuhedes märksa väiksemad ja meie võime sama energiaga kõneleda märksa kaugemale.

§ 89. Telefoniseade lihtis skeem.

Telefoniseade skeemid on õige arvukad ja mitmekesised. Lihtsaim skeem kahe abonendi omavahelise kõnelemise otstarbeks on kujutatud joon. 218. Skeemilt on näha, et kumbki abonent omab iseseisva mikrofoniahela. Et mitte asjata kuldada patarei energiat, on ahelasse lülitatud katkestaja *L*. Tavaliselt on see katkestaja konstrueeritud nii, et ta automaatselt sulgeb mikrofoni ahela ühes elementidega vaid siis, kui kuuldetoru on pihku haaratud või kahvlilt mahavõetud. Ahel automaatselt katkestub, niipea kui kõne lõpul kuuldetoru asetame oma kohale. Mikrofoni ahelasse on lülitatud veel telefoni transformaatorei primaarmähis. Selle transformaatorei sekundaarmähis on ühe klemmiga ühendatud telefoniliiniga, kuna teise klemmiga (üle telefoni mähiste) maandatud.



Joon. 218.

Oletame nüüd, et abonent *A* kõneleb oma mikrofonisse. Kõne järelduusel transformaatorei sekundaarmähises indutseerunud vahelduvad voolud jooksevad ühelt poolt telefoniliini, abonent *B* transformaatorei sekundaarmähise ja tema telefoni poolide kaudu maasse; teiselt poolt pääsevad need voolud maasse oma, s. t. abonent *A*, telefonide poolide kaudu. Teiste sõnadega, vahelduvatele vooludele moodustub suletud ahel, kuna maapind on nendele üheks juhtivaks teesaks, mille tõttu on võimalik läbisaada ka üksiku telefonijuhega. Soovib abonent *B* vastata, siis sünnivad samad nähted abonent *B* aparadis.

Sageli jooksevad ühistel telefonipostidel kõrvuti mitme abonendi juhed. Juhul, kui ühes juhes sünnib kõnelus, võivad sellest kõnelusest indutseeritud voolud oma kõikuva magnetväljaga omakorda indutseerida vahelduvaid voolusid naaberjuhedes; need voolud on sama sagedusega ja kuigi nõrgad, tulevad nad võõra abonendi telefonis sagedasti õige selgesti kuuldavale („naaber segab“). Kirjeldatud nähet kasutatakse sõjas vaenlase telefonikõnede pealtkuulamise otstarbeks. Kui indutseeritud voolusi elektroonlampides võimendada, siis on võimalik telefoniliinides peetavat kõnelust pealt kuulata, asetades maapinnale paralleelne juhetükk isegi mitusada meetrit eemal telefoniliinist. Segamiste ja pealtkuulamise ärahoidmiseks võetakse üksiku telefonijuhe asemel **kaksik juhe** (sinna ja tagasi). Sel juhul on kummagis juhes igal momendil voolud suunitud üksteisele vastu ja vastupidi on suunitud ka mõlema haru magnetväljad, millised sellejuures üksteist kui mitte täiesti, siis tunduvalt neutraliseerivad, eriti kui asetame mõlemad juhed üksteisele võimalikult ligemale (näit. kaablites).

Telefoniaparati tuleb pikse eest kaitsta piksekaitsjaga **K** ja paispooliga **P** (vaat. § 48).

SISUKORD.

I jagu.

ELEKTROTEHNIKA ALGÖPETUS.

I osa. Elektrostaatika.

	Lhk.
§ 1. Elektriseeritud keha omadusi. Positiivne ja negatiivne elekter. Coulombi seadus	1
§ 2. Juhed ja isolaatorid. Elektrostaatika ja elektrodünaamika mõisted	3
§ 3. Mis on elekter?	4
§ 4. Vabad elektroonid. Vanemad hüpoteesid elektri loomuse kohta	5
§ 5. Elektripingeline ehk potentsiaal. Elektroskoop. Elektromeeter	7
§ 6. Elektrilaengu korraldus kehal. Teravilkkude mõju. Piksevarras. Hõõrumise elektrimasin	10
§ 7. Elektrimaht	12
§ 8. Elektrostaatiline induktsioon	15
§ 9. Kondensaatorid	16
§ 10. Elektrivälja ja selle tungjooned. Elektrivälja potentsiaal	20
§ 11. Elektrofoor	22
§ 12. Elektrofoormasin	22

II osa. Alaline elektromotoorne jõud ja elektrivool.

§ 13. Elektromotoorne jõud. Allikad	23
§ 14. Elektrivool. Ahel	24
§ 15. Elektrivoolu tugevus. Amper. Ampermeeter	25
§ 16. Takistus. Eritakistus. Takistuste ühendused	27
§ 17. Galvani elemendid. Voltmeeter. Leclanché ja Danieli tüüp	30
§ 18. Elementide ühendamise patareidesse	33
§ 19. Oomi seadus	34
§ 20. Pingelangemine ahelas	36
§ 21. Voolu hargnemine ahelas	39
§ 22. Wheatstone'i sild	41
§ 23. Elektrivõimsus ja energia	42
§ 24. Elektrivoolu soojustegevus. Joule'i seadus	44
§ 25. Elektri-hõõglamp	46
§ 26. Lülüühendus. Kaitsed	50
§ 27. Volta kaar. Elektri leeklamp	51
§ 28. Termoelekter	52

III osa. Elektrolüüs.

§ 29. Soola- ja hapesulfaatide laotamine elektrivooluga. Joomide teooria	53
§ 30. Polarisatsioonivool	55

	Lhk.
31. Tina akkumulaator	56
32. Raud-nikkel akkumulaator	61
IV osa. Magnetism.	
33. Magnetilise keha omadusi	62
34. Magnetiline induktsioon	64
35. Magnetväli ja tungjooned	65
36. Magnetiseerimine ja demagnetiseerimine	67
37. Molekulaar-magnetikeste teooria	68
V osa. Elektromagnetism.	
38. Magnetväli elektrivoolu ümber. Solenoid	69
39. Galvanoskoop. Galvanomeeter	70
40. Elektromagnet	71
VI osa. Elektromagnetiline induktsioon.	
41. Faraday algkatsed, Lenz'i seadus. Pöörisvoolud	74
42. Elektromagnetilise induktsiooni erikujud	78
43. Omainduktsioon. Induktiivsus. Lülamise ekstravoolud	81
44. Ruhmkorffi spiraal (sädeinduktor)	83
VII osa. Vahelduv vool.	
45. Induktsioon magnetväljas tiirlevas raamis	86
46. Vahelduva elektromotoorse jõu ja voolu mõisted	88
47. Vahelduva voolu ahel. Induktiivne ja mahtvustakistused. Faaside nihkumine	90
48. Induktiivtakistuse rakendused. Piksekaitse. Paispool	95
VIII osa. Elektrimootori põhimõte.	
49. Magnetvälja mõju alalisele voolule	96
50. Alalise voolu mõju alalisele voolule. Wattmeeter	97
51. Ampermeeter ja voltmeeter. Shunt ja eeltakistus	98
IX osa. Elektromagnetilised lained.	
52. Eeter. Hertzi katsed	101
53. Kondensaatori lahendus. Võnkeahel	102
54. Suletud võnkeahel. Thomsoni valem	105
55. Avatud võnkeahel. Seisvad elektrilained. Elektromagnetiline kiirgavus	107
56. Elektromagnetiliste lainete omadused. Lainepikkus	110
57. Marconi sädetelegraf	114
58. Elektri resonans. Selektiivsus	116
59. Sidestus	116
60. Seotud süsteemid. Brauni saateaparad	118
61. Elektromagnetiliste lainete vastuvõtmine. Koherer. Detektorid	120
62. Vastuvõtte lihtsamad skeemid kristall-detektoriga	122
63. Kustumata lainete vastuvõtmine. Moduleeritud laine	124
X osa. Elektrivool hõrendatud klaastorudes.	
64. Nähed hõrendustorudes. Katoodkiired	126
65. Elektroontorud (katoodlambid)	128
66. Röntgeni kiired	131

II jagu.

ELEKTROTEHNIKA RAKENDUSOSA.

I osa. Dünamomasin.

§ 67.	Alalise voolu dünamo põhimõte. Gramme'i rõngas	133
§ 68.	Dünamo üldosad	136
§ 69.	Dünamo liigitus. Ergutamise	140
§ 70.	Haruvoolu dünamo montaashskeem ja reguleerimine	142

II osa. Alternaator.

§ 71.	Alternaatori põhimõte	143
§ 72.	Alternaatori üldosad	146
§ 73.	Alternaatori montaashskeem ja reguleerimine	147

III osa. Elektrimootorid.

§ 74.	Alalise voolu mootori põhimõte	149
§ 75.	Alalise voolu mootori üldosad ja liigitus	151
§ 76.	Haruvoolu mootori montaashskeem ja käivitamine	152
§ 77.	Vahelduva voolu mootorid	154
§ 78.	Umformerid	156

IV osa. Transformaatorid.

§ 79.	Üldised osad ja töö põhimõte	157
§ 80.	Transformaatorite konstruktsioon ja liigitus	160

V osa. Elektrisüütamine sisepõlemise mootorites.

§ 81.	Kõrgepinge magneto üldosad. Magnetvälja korraldus	162
§ 82.	Kõrgepinge magneto ahelad ja nendes tekkivad protsessid magneto töö ajal. Kaitse	165
§ 83.	Paigalseisva ankru ja tiirlevate magnetidega kõrgepinge magneto	168
§ 84.	Madalapinge magneto ja selle süüteseadeldis	169
§ 85.	Süütemomendi reguleerimine	171
§ 86.	Süütelkatsa (bobiin)	171

VI osa. Telefon ja mikrofon.

§ 87.	Telefon	173
§ 88.	Mikrofon	175
§ 89.	Telefoniseade lihtis skeem	177

Vigade parandus.

- lhk 35 9-s rida ülevalt, on „voolutugevuses“, loe „voolutugevus“.
lhk 37 17-s „ alt, on „I $v_1 : r_1 =$ “, loe loe „I $= v_1 : r_1 =$ “.
lhk 44 4-s „ ülevalt, on „= 2,05“, loe „= 0,5“.