

~~1/1~~  
~~2~~  
41.

A-1193/

number 1000

~~5810~~

# ELEKTROMONTAAŽ

KÄSIRAAMAT ELEKTRI TUGEVVOOLU  
MONTÖÖRILE JA MEISTRILE

INS. V. SEPHANS

KAASATÖÖTANUD INSENERID: R. KULBAS,  
R. RAVA JA E. PUUSEPP

I

ELEKTRITEOORIA



K.-ü. „Tehniline Kirjastus“  
VÄLJAANNE Nr. 7

2/25236

# ELEKTROMONTAAŽ

KÄSIRAAMAT ELEKTRI TUGEVVOOLU  
MONTÖÖRILE JA MEISTRILE

INS. V. SEPHANS

KAASATÖÖTANUD INSENERID: R. KULBAS,  
R. RAVA JA E. PUUSEPP

*Op. rühk. nr. 549  
6-65.*

I

## ELEKTRITEOORIA

~~26128~~



~~VI 2  
41~~

~~810~~

K.-ü. „Tehniline Kirjastus“  
VÄLJAANNE Nr. 7

TOIMETAJA: INS. A. PÖDRUS.  
KEELELINE KORREKTOR: K. KORSEN.

Käesolev raamat on kutsekoolide õpperaamatuks lubatud.

A-11937



Nats. trükikoda J. Roosileht & Ko  
Tallinnas, 1940.

576

## Eesõna.

Käesoleva käsiraamatu eesmärgiks on praktiliste juhtnööride andmine elektromontööridele, meistritele ja teistele elektri alal tegutsevatele isikutele.

Raamat on määratud esijärjekorras mitte niivõrd õppe- kui käsiraamatuks ning tema koostamisel on püütud mahu vähendamiseks kinni pidada võimalikult kokkusurutud, konspektiivsest käsitlusviisist.

Peale otseselt elektromontaaži puutuvate küsimuste on raamatus lühidalt käsitletud ka mõningaid naaber-alasid, nagu jõumasinaid, vesivarustust, voolutariife jne., kuna elektrikutel viimastega praktikas tavaliselt paratamatult tegeleda tuleb, eriti maavõrkudes ja väikejaamades.

Raamatu koostamisel on aluseks võetud peale meil maksvate suudekirjade peamiselt IEG ja VDE norme, viimaseid sedavõrd, kuivõrd nad meie oludele sobivad. Koostamisel on materjalina kasutatud peale isiklike kogemuste mitmete elektri alal tegutsevate suurfirmade nagu AEC, ASEA, SSW jne. brošüüre, juhtnöore ja montaaži eeskirju.

Käesolev raamat kujutab endast teatud piirini kollektiivtööd: peatükk „Jaotusvõrgud ja siseinstallatsioon“ koostamisel on kasutatud osaliselt ins. A. Otema andmeid; peatüki „Mõõtmistehnika“ koostamisel on kaasa töötanud ins. R. Kulbas; ptk. „Jõujaamad“ koostamisel ins. E. Puusepp; ptk. „Jaotusvõrgud ja siseinstallatsioon“, „Elektrisoojus“ ja „Elektrikasutamine“ koostamisel ins. R. Rava. Käsiraamatu tehnilist korrektuuri teostas kogu raamatu ulatuses ins. R. Kulbas ja üksikuis osades veel ins. ins. R. Lepp ja K. Hirv.

Kõigile ülalnimetatud kolleegidele avaldan siinjuures kaastöö eest oma suurimat tänu.

Kuna meie arenev tööstus ja järjest laienev maa elektrifitseerimine nõuab üha enam oskustöölisi ja laiematelt ringkondadelt üldiseid kogemusi elektri alal, eestikeelses kirjanduses aga seni valitses põud praktilist elektrotehnikat käsitlevate raamatute alal, loodan, et käesolev töö aitab seda lünka osaliselt täita.

V. Sephans.

Rakveres, suvel 1940. a.



# SISUKORD.

	Lk.
Eessõna . . . . .	3
1. Tekstis kasutatud tähised ja sümbolid . . . . .	9
2. Mõõtühikute märgid . . . . .	10
3. Lühendeid . . . . .	11

## I

### Elektriteooria.

#### I. Üldmõisted.

1. Elektrilaeng. 2. Juhid ja isolaatorid. 3. Pinge U. Elektromotoorne jõud E. Volt V. 4. Elektrivool J. Amper A. 5. Elektri- hulk Q. Kulon C. 6. Takistus R. Oom $\Omega$ . 7. Elektrivoolu mõju. 8. Voolu liigid. 9. Elektri voolamine juhtmeis. 10. Elektrienergia saamine . . . . .	15
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

#### II. Alalisvoolu ahel.

11. Alalisvool. 12. Ohmi seadus. 13. Eritakistus. 14. Takistuse arvutamine. 15. Takistused elektrotehnikas. 16. Võimsus N. Watt W. 17. Töö A. Kilowatt-tund kWh. 18. Energia. 19. Kasu- tegur. 20. Vooluallikate ühendamine. 21. Takistuste (voolutarvi- tajate) ühendamine. 22. Pingelangus. 23. Voolutarvitaja vastu- elektromotoorse jõuga. 24. Joule'i seadus . . . . .	20
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

#### III. Magnetism.

A. Permanent magnetid. 25. Magnet. 26. Magneti tungjooned, -väli, -voog. 27. Permanent-magnetite kasutamine. B. Elektromagnetid. 28. Solenoid. 29. Magnetiline induktsioon. 30. Magneetamise kõverad. 31. Hüsteres, remanents. 32. Elektromagnetid tehnikas . . . . .	30
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

#### IV. Magnetoelektriline induktsioon.

A. Induktsioon püsivas magnetiväljas. 33. Elektri indutseerimine. 34. Kestva voolu saamine. B. Omaiduktsioon. 35. Omaiduktsiooni mõiste.	
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

36. Omainduktsiooni suurus. 37. Induktiivsuste liitmine. C. Vastastikune induktsioon 38. Mõiste. 39. Sädeinduktor alalisvoolule. 40. Transformaator. 41. Pöörivoolud . 34

#### V. Vooluga juhe magnetiväljas.

42. Liikumise tekitamine. 43. Traadi keerd magnetiväljas. 44. Liikumise kiirus. Vastuelektromotoorne jõud. 45. Vooluga juhtmete vastastikune mõju. 46. Juhtmete kaasatõmbamine liikuva magnetivälja poolt . . . . . 41

#### VI. Elektrostaatika.

47. Elektriväli. 48. Kondensaator. 49. Kondensaatori mahtuvus C. Farad. 50. Kondensaatorid tehnikas . . . . . 43

#### VII. Vahelduvvoolu teooria.

A. Ühefaasiline vool. 51. Vahelduvvool. 52. Sagedus. 53. Efektiivne pingeline ja -voolutugevus. 54. Aktiivtakistus vahelduvvoolu ahelas. 55. Induktiivne takistus vahelduvvoolu ahelas. 56. Kondensaator vahelduvvoolu ahelas. 57. Näivtakistus — impedants. 58. Vlektordiagramm. 59. Vahelduvvoolu võimsus. 60. Võimsustegur. 61. Vahelduvvoolu töö.

B. Mitmeefaasilised voolud. 62. Kahefaasiline vool. 63. Kolmeefaasiline vool — keerdvool. 64. Keerdvoolu võimsus ja töö. 65. Keerlev magnetiväli. 66. Keerdvälja tekitamine ühefaasilise vooluga. 67. Nihkeväli . . . . . 46

#### VIII. Elektrokeemia.

68. Elektrolüüs. 69. Elektrolüüsi seadused. 70. Elektrolüüsi teooria. 71. Elektrolüüdi eritakistus. 72. Elektrolüüs kuumades sulatistes. 73. Polariseerimine. 74. Elektrolüüs tehnikas. 75. Elektriline süntees . . . . . 57

#### IX. Elektrivool dielektrikus.

76. Sissejuhatus. 77. Mõjustatud voolamine gaasides. 78. Elektrivool vaakuumtorus. 79. Iseseisev el. voolamine gaasides normaalarõhu juures. 80. Elektrivoolamine hõredas õhkkonnas. 81. Elektrivool vedelikes ja kõvades dielektrikutes . . . . . 61

#### X. Muutuvad voolud.

82. Üldmõisted. 83. Vooluahel ilma mahtuvuseta. 84. Vooluahel induktiivsuse ja mahtuvusega. 85. Elektrivoolu levimine mööda pikki juhtmeid. 86. Elektromagnetilised lained . . . . . 64

## II

### Mõõtmistehnika.

Sissejuhatus.  
Ampermeetrid.  
Voltmeetrid.  
Wattmeetrid.  
Takistuste mõõtmine.  
Energia mõõtmine.  
Mõõduriistad eriotstarbeiks.  
Mõõduriistade pealkirjad.  
Kõrgepinge mõõtmine.

## III

### Jõujaamad ja vooluallikad.

Elektrijõujaamade ja energia ülekandesüsteemide liigid.  
Alalisvoolu jaamad.  
Vahelduvvoolu jaamad.  
Voolu muundajad.  
Lülitusseadmed.  
Jõumasinad ja jõuülekanne.  
Jaotusvõrgud.  
Jõujaamade planeerimine ja ekspluatatsioon.  
Jõujaama ja võrgu rikked.

## IV

### Jaotusvõrgud ja siseinstallatsioon.

Juhtmete materjal ja ehitus.  
Juhtmete põikpinna arvutamine.  
Lülitus- ja kaitseabinõud.  
Õhuliinid.  
Kaabelliinid.  
Majaühendused ja sisemagistraalid.  
Siseinstallatsioonid.  
Installatsioonitööde projekteerimine ja teostamine.

## V

### Valgustus.

Valguse teooria.  
Valgusallikad.  
Lambipesad ja armatuurid.  
Lampide lülitus.  
Valgustusseadmete projekteerimine.



## VI

### Mootorid.

- Mootoritest üldiselt.
- Alalisvoolumootorid.
- Vahelduvvoolumootorid.
- Mootori ühendamine elektrivõrguga.
- Käivitajad.
- Jõu ülekanne.
- Mootori mehaaniline ülesseadmine.
- Mootori rikked.

## VII

### Soojus.

- Üldmõisteid soojusõpetusest.
- Soojuse tekitamine elektri abil.
- Elektrisoojus köögis ja majapidamises.
- Veesoojendid.
- Ruumide kütmine.
- Elektriline keevitamine.
- Elektrisoojus tööstuses.
- Elektrisoojus põllumajanduses.

## VIII

### Elektri kasutamine mitmesugustel aladel.

- Elektrimootor tööstuses.
- Pumbad.
- Ventilaatorid.
- Elektrimootor põllumajanduses.
- Elektrimootor majapidamises.
- Elekter kehakultuuri ja tervishoiu teenistuses.
- Signaalseadmed ja elektrikellad.

## IX

### Kõrgepingetehnika.

- Kõrgepinge lülitusaparaadid.
- Transformaatorid.
- Kõrgepinge lülitusseadmed.

## X

### Lisad.

## I Tekstis kasutatud tähised ja sümbolid.

A — energia, töö (kWh, mkg jne.)	Q — elektri hulk (Ah, kulon)
a — kaugus, vahemaa (cm, m, km)	Q — soojuse hulk (cal)
B — valguse eredus (Sb)	q — juhtme põikpind (mm <sup>2</sup> )
B — magnetivoo tihedus (gauss)	R, r — raadius (cm, m)
b — laius (cm, m)	R, r — aktiivtakistus (Ω)
C — elektriline mahtuvus (μF, F)	s — teepikkus, kolvikäik, seinapaksus
c — erisoojus	T — perioodi värde (s)
cos φ — võimsustegur	t — aeg (s, m., h)
D, d — läbimõõt (mm, cm, m)	t — temperatuur (°C)
E — elektromotoorne jõud (V)	U, u — pinge (V)
E — pinnavalgustus (Lx)	V — ruum, maht (cm <sup>3</sup> , m <sup>3</sup> )
e — pingelangus (V)	v — liikumise kiirus (m/s, km/h)
F — pind (cm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup> )	w — keerdude arv (traadil)
f — sagedus (per/s)	w — pinnakoormus (W/cm <sup>2</sup> )
f — ripe (cm, m)	X — reaktiivtakistus, ebataktus, reaktants (Ω)
G — raskus, kaal (kg, t)	X <sub>L</sub> — induktiivtakistus (Ω)
G — juhtivus (l : R)	X <sub>c</sub> — mahtuvuslik takistus (Ω)
g — vabalanguse kiirendus (9,81 m/s)	Z — näivtakistus, impedants (Ω)
H — magnetivälja tugevus	α (alfa) — temperatuuritegur
h — kõrgus (m)	γ (gamma) — erikaal
J, i — elektrivool (mA, A)	η (eeta) — kasutegur
J — valgusjõud (K)	λ (lambda) — lainepikkus (m, km)
j — voolutihedus	μ (müü) — permeaablus, läbitavus
K — tegur (koefitsient)	π (pii) — 3,14 (ringi ümbermõõdu ja läbimõõdu suhe)
k — erijuhtivus	ρ (rho) — eritakistus
L — induktiivsus (mH, H)	σ (sigma) — mehaaniline pinge (kg/mm <sup>2</sup> , kg/cm <sup>2</sup> )
l — pikkus (m)	Φ (fii) — magnetivoog (maxwell)
M — pöördemoment (mkg, cmg)	Φ (fii) — valgusvoog (Lm)
N — võimsus (W, kW, HJ)	φ (fii) — faasi nihkenurk
ΔN — võimsuse kadu (W, kW)	ω (omega) — nurkkiirus (2π f)
n — tiirude või võngete arv	∅ — läbimõõt (mm, cm, m)
P — jõud (kg, t)	% — protsent (sajandik)
p — pingelangus protsentides	‰ — promill (tuhandik)
p — rõhk (atm)	
2p — masina pooluste arv	

## II Mõõtühikute märgid.

P i k k u s.	W — watt
m — meeter	kW — kilowatt (1000 W)
km — kilomeeter (1000 m)	MW — megawatt (1 000 000 W)
cm — sentimeeter ( $1/_{100}$ m)	VA — voltamper
mm — millimeeter ( $1/_{1000}$ m)	kVA — kilovoltamper
$\mu$ — mikron ( $1/_{1000}$ mm)	J — džaul (wattsek.)
$m\mu$ — millimikron ( $1/_{1\,000\,000}$ mm)	Wh — watt-tund
" — toll (25,401 mm)	kWh — kilowatt-tund
P i n d.	MWh — megawatt-tund
$mm^2$ — ruutmillimeeter	F — farad
$cm^2$ — ruutsentimeeter	$\mu F$ — mikrofarad
$m^2$ — ruutmeeter	H — henri
R u u m.	mH — millihenri
l — liiter	V a l g u s.
$m^3$ — kuupmeeter	K — küünal
$cm^3$ — kuupsentimeeter	HK — hefner-küünal
K a a l.	StK — standard-küünal
g — gramm	Lm — luumen
kg — kilogramm	Lx — luks
t — tonn (1000 kg)	Sb — stilb
A e g, k i i r u s.	M e h a a n i l i n e t ö ö.
h — tund	mkg — meeterkilogramm
m. või min — minut	mkg/s — meeterkilogrammi sekundis
s — sekund	HJ — (HP, PS) hobujõud
m/s — meetrit sekundis	HJh — hobujõutund
S o o j u s.	
gcal — grammkalor	
kcal — kilokalor	
E l e k t e r.	
A — amper	G giga — 1 000 000 000
mA — milliamper ( $1/_{1000}$ A)	M mega — 1 000 000
V — volt	k kilo — 1 000
mV — millivolt	h hekto — 100
kV — kilovolt (1000 V)	D deka — 10
$\Omega$ — oom	d deci — 0,1
M $\Omega$ — megoom (1 000 000 $\Omega$ )	c centi — 0,01
C — kulon	m milli — 0,001
Ah — ampertund	$\mu$ mikro — 0,000 001
	n nano — 0,000 000 001

### Mõõtühikute osade ja mitme kordsete suuruste märkimine.

G giga	—	1 000 000 000
M mega	—	1 000 000
k kilo	—	1 000
h hekto	—	100
D deka	—	10
d deci	—	0,1
c centi	—	0,01
m milli	—	0,001
$\mu$ mikro	—	0,000 001
n nano	—	0,000 000 001

### III Lühendeid.

- A E G „Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft“ — elektrimaterjalide tehas Berliinis.
- A E S C „American Engineering Standards Committee“ — normimiskomitee Ameerikas.
- A S E A „Allmänna Svenska El. Aktiebolaget“ — elektrimaterjalide tehas Rootsis.
- B E S A „The British Engineering Standards Association“ — normimiskomitee Inglismaal.
- ca (circa) ligikaudu, umbes.
- C I G R E „Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques a Haute Tension“ — Rahvusvaheline kõrgepingekonverents.
- C S N O R „Le Comité Supérieur de Normalisation“ — Prantsuse normimis- ja standardimiskomitee.
- D I N „Deutsche Industrie Normen“ — Saksa tööstuse normid.
- D N A „Deutscher Normen-Ausschuss“ — Saksa normimiskomitee.
- G E C „General El. Co“ — elektrimaterjalide tehas Ameerikas.
- H & B „Hartmann und Braun“ — Elektriliste mõõduriistade tehas Saksamaal.
- I E C Rahvusvaheline elektrotehniline komitee.
- k. p. kõrgepinged.
- m. p. madalpinged.
- R C A „Radio Corp. of America“ — raadiomaterjalide tehas Ameerikas.
- R T „Riigi Teataja“.
- S S W „Siemens-Schuckert Werke“ — elektrimaterjalide tehas Saksamaal.
- S & H „Siemens und Halske“ — SSW sõsarfirma mõõduriistade ja sidetehnika alal.
- V D E „Verband Deutscher Elektrotechniker“ — Saksa elektrikute liit.
- vt. p. vaata punkt . . .
-



I

# Elektriteooria



# I. Üldmõisted.

## 1. Elektrilaeng.

Iga aine väikseim osake — aatom — koosneb südamikust ja selle ümber keerlevaist elektronidest. Harilikult on viimased aine aatomitega seotud, võivad aga ka iseseisvalt esineda; taolist vabade elektronide kogu nimetatakse elektriks.

Vastavalt sellele, kas elektrone on kehas suhteliselt vähem või rohkem kui maas, omab keha positiivse (+) või negatiivse (−) laengu.

## 2. Juhid ja isolaatorid.

Mõnedes ainetes liiguvad elektriosakesed hõlpsasti, teistes raskemini, kolmandais ei liigu peagu üldse. Sellele vastavalt jagunevad ained elektrijuhtideks (metallid, grafiit, tihke süsi jne.), pooljuhtideks (betoon, paekivi jne.) ning isolaatoreiks (portselan, klaas, paber, õli, kummi, kiudained, lakk, vaigud jne.).

## 3. Pinge U. Elektromotoorne jõud E. Volt V.

Mida tihedam on mingis kehas elektrilaeng, seda suurem on tung, millega elekter püüab tungida hõredama elektrilaenguga kehadele. Seda tungi nimetatakse potentsiaaliks. Maakera potentsiaal võetakse mõõtmisel nulliks, samuti nagu merepind kõrguse mõõtmisel või keskmine õhurõhk (736-mm elavhõbesammast) — üle- ja alarõhu mõõtmisel.

Pingeks nimetatakse kahe keha või keha punkti vahelist potentsiaalide vahet. Pinget võib võrrelda ülerõhuga aurukatlas või jalgrattakummis, veepindade kõrguste vahega veeturbiinis jne.

Elektrienergia allika klemmide vahel valitsevat potentsiaalide vahet nimetatakse klemmipingeks.

Klemmipinget kutsuvad esile elektrienergia allika sisemuses peituv elektromotoorne jõud.

Valemities tähistatakse pinge tähega U või u ja elektromotoorne jõud tähega E.

Potentsiaali, pinge ja elektromotoorse jõu mõõtühikuks on volt (V).

$$1 \text{ kV (kilovolt) } = 1000 \text{ V}$$

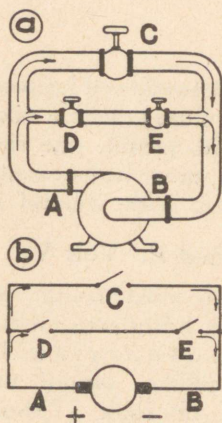
$$1 \text{ V} = 1000 \text{ mV (millivolti)}$$

Tavaliselt esinevad pingesuurused on: Väik — paarsada miljonit kuni miljard volti. Laboratooriumides saavutatud — kuni paar

miljonit volti. Kõrgepinge magistraalliinid — 3000÷380 000 V. Tavalised elektriseadmed eluruumes — 110÷220 V. Elektrikellad ja telefonid — kuni 36 V. Raadio vastuvõtuaparaatide antennides — mõni miljondik volti.

#### 4. Elektrivool J. Amper A.

Kui kaks erineva potentsiaaliga keha omavahel juhtmega ühendada, hakkavad viimases elektriosakesed liikuma ja liiguvad seni, kuni pinge (s. o. potentsiaalide vahe) nende kehade vahel kaob. Nähe on analoogiline auru või õhu voolamisele ülerõhu mõjul ühest kinnisest anumast toru kaudu teise anumasse.



Joon. 1. Elektri ja õhu ringvool.

Kestva voolu saamiseks tuleb potentsiaalide vahet pidevalt alal hoida; elektrienergia allikas (töötav dünamo, akumulaator jne.) tekitab pluss- ja miinusklemmide vahel (joon. 1-b) püsiva potentsiaalide vahe — pinge. Klemmide ühendamisel juhtmega üle lülitite C või D ja E tekib elektri ringvool, elekter voolab plussklemmist läbi juhtmete miinusklemmi ja viimasest läbi vooluallika uuesti plussklemmi. Pinge hoitakse klemmidel püsivana vooluallikas mõjuva elektromotoorse jõu poolt.

Nähe on analoogiline õhu ringvoolule torustikus (joon. 1-a). Töötav ventilaator surub õhu torus A kokku, kuna B-s tekib hõrenus. Ventiilide C või D ja E avamisel tekib püsiv õhu ringvool.

Tervet elektrivoolu ringteed nimetatakse v o o l u a h e l a k s. Vooluahel koosneb elektrienergia allikast, ühendusjuhtmeist ja elektrienergiat tarvitavatest aparaatidest (lambid, mootorid, küttekahad jne.). Vool lõpeb vooluahela katkemisel või elektromotoorse jõu kadumisel.

Vool on seda tugevam, mida kõrgem on pingeline ja mida väiksem on vooluahela takistus.

Voolutugevuse tähiseks on valemities  $J$  või  $i$ .

Voolutugevuse mõõtühikuks on **1 amper (1 A)**. See on vool, milline 1 sek. jooksul eraldab 1,118 mg hõbedat hõbenitraadi vesilahusest (vt. p. 7).

$$1 \text{ kA} = (\text{kiloamper}) = 1000 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA (milliamprit).}$$

Praktikas eeldatakse praegu, et elektriosakesed liiguvad vooluallika plussklemmidelt läbi välise vooluahela miinusklemmi; allpool on elektri voolu suuna all igalpool mõistetud ühaltähendatud suunda. Elektronide liikumise suund on aga sellele vastupidine. Kas elektrivool koosneb ainult negatiivselt laetud elektronidest või võtavad sellest osa ka positiivse laenguga aatomi südamikud — protonid, on osaliselt veel lahtine, millel pole ka praktilist tähtsust.

Tavaliselt esinevad voolu suurused on: Väik 20÷60, harvem kuni 200 kA. Elektri suurjaamad kuni 20 kA. Elektritriikraud 2÷6 A. Hõõglambid (vähemad) 0,1÷1 A. Telefon mõni mA.

## 5. Elektrihulk $Q$ . Kulon $C$ .

Laengu suuruse või läbivoolanud elektri hulga (tähis  $Q$ ) mõõtühikuks on **1 kulon (1 C)**. See on elektri hulk, mis voolab läbi juhtme 1 A voolutugevuse puhul 1 sekundi vältel; s. o. nn. ampersekund =  $1 \text{ A} \times 1 \text{ sek}$ . Suuremate elektrihulkade juures tarvitatakse mõõtühikuks **ampertundi (Ah)**, s. o. elektrihulka, milline voolab läbi juhtme 1-amprilise voolutugevuse puhul 1 tunni vältel.

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ kulonit ehk ampersekundit.}$$

Näide: Voolutugevus 5 A, aeg 3 tundi.

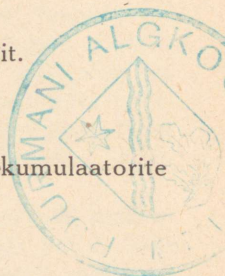
$$Q = 5 \times 3 = 15 \text{ ampertundi.}$$

Elektrihulga mõõtmist kasutatakse peamiselt akumulaatorite mahtuvuse määramisel ja elektrokeemias.

## 6. Takistus $R$ . Oom $\Omega$ .

Mida halvemini juhtmematerjal elektrit läbi laseb ning mida pikem ja peenem on juhe, seda suurem on tema elektriline takistus. Takistuse tähiseks on  $R$  või  $r$ .

Takistuse mõõtühikuks on **1 oom (1  $\Omega$ )**, missugust takistust omab ühe  $\text{mm}^2$  põikpinnaga 106,3 cm pikkune elavhõbesammas  $0^\circ \text{C}$  temperatuuri juures.  $1 \text{ M}\Omega$  (megoom) = 1 000 000  $\Omega$ .



Juhtmaterjali temperatuuri tõusul harilikult suureneb takistus; ta väheneb ainult söe, elektrolüütide ja mõne metalli sulami puhul.

Takistuse pöördsuurust nimetatakse juhtivuseks ( $G$ ).  
Juhtivus  $G = 1 : R$ .

## 7. Elektrivoolu mõju.

Elektri voolamisega on seotud järgmised nähtused:

a) Soojenemine. Elektri voolamisel iga juhe soojeneb, ning seda enam, mida suurem on voolu tugevus ja juhtme takistus.

b) Magnetiväli. Elektri voolamisel iga juhtme ümber tekib magnetiväli, mille tugevus on võrdeline voolu tugevusega.

c) Elektrolüüs. Elektri voolamisel läbi soola-, happe- või leelilahuse tekib nn. elektrolüüs, s. o. vedelik — elektrolüüt — laguneb oma algosadesse.

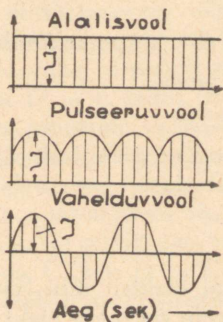
d) Valgusnähtused gaasides ja kiirgamine. Kõrgete pingete ja eriti madalate gaasirõhkude juures voolab elekter ka läbi gaaside, kusjuures viimased hakkavad helendama. Väga suure pinge ja vaakuumi juures purunevad gaasiosakesed; tekivad erilised anoodi-katoodi ja viimaste mõjul röntgenikiired.

e) Füsioloogiline mõju. Voolu mõjul tõmbuvad lihased kramplikult kokku.

## 8. Voolu liigid.

Tarvitusel on järgmised voolu liigid:

a) Alalisvool. Elekter voolab püsivalt ühes suunas.



Joon. 2. Voolu liigid.

b) Pulseeruvvool. Elekter voolab ühes suunas, kuid voolu tugevus suureneb ja väheneb perioodiliselt, harilikult paarikümmend või enam korda sekundis.

c) **Vahelduvvool.** Elekter voolab juhtmes edasi-tagasi, harilikult muutes suunda paarkümmend või enam korda sekundis.

Kaks, kolm või enam üksikut vahelduvvoolu kokkukombineeritult annavad mitmefaasilisi voolusid, milliseist on levinum kolmefaasiline vool (keerdvool).

## 9. Elektri voolamine juhtmeis.

Paigalseisev — staatiline — elekter asetseb peamiselt juhtme välispinnal. Alalisvool läbib voolamisel tervet juhtme põikpinda ühtlaselt nagu vesi torus. Vahelduvvoolu puhul surutakse elekter omainduktsiooni (muutuvate magnetiväljade) mõjul seda enam juhtme välispinnale (nn. „skin efekt“), mida kiirem on voolu suuna vaheldus. Harilikult tugevvoolu tehnikas kasutatava sageduse (50 per/s) juures on see nähe niivõrd väike (maksimaalselt mõned  $\frac{0}{100}$ ), et selle nähtusega ei arvestata (erandiks — raudjuhtmed). Kõrgesagedusega voolude juures (näit. raadiotehnikas) seevastu on vahe väga suur — juhtmeteks kasutatakse suuremate voolutugevuste juures hõbetatud torusid või läbipõimitud kiudtraati.

## 10. Elektrienergia saamine.

Elektrienergiat saadakse tänapäeval enamasti mehaaniliselt, elektrimasinate abil. Viimastes tekib elektromotoorne jõud E magnetoelektrilise induktsiooni tõttu juhtmete liikumisel magnetiväljas. Seni on saavutatud pingeid otseselt, masinaist, kuni 35 000 V — kaudselt, üle transformaatorite, kuni 3 miljonit volti.

Teistest elektrilise energia allikaist on tarvitusel:

**Galvaani elemendid.** Lahjasse soola-, happe- või leelislahusesse — elektrolüüti — asetatakse kaks erinevat metallipulka või plaati — elektroodi. Üheks elektroodiks võib olla ka süsi. E tekib elektroodide ja elektrolüüdi vahelise keemilise protsessi tõttu. Saadav pinge on 1 kuni 4 V ühe elemendi kohta. Neid kasutatakse peamiselt väikeste voolutugevuste saamiseks, side- (signalisatsiooni- ja telefoni-) tehnikas.

**Termoelekter.** E tekib kahe erineva metalli kokkupuutepinna soojendamisel. Pinge on väga väike (paar mV). Säärast vooluallikat kasutatakse harva, peamiselt mõningais mõõtristades ja temperatuuride mõõtmise juures.

**Fotoelekter.** E tekib mõningais aineis valguse mõjul. Saavutatavaks pingeks on mõningad millivoldid — kasutamisel signaal- ja heliapaaratides ning valguse mõõtmisel.

**Hõõrumiselekter.** E tekib kahe keha vastastikusel hõõrumisel. Annab kaunis kõrgeid pingeid, kuid seejuures saadav

elektrihulk on äärmiselt väike. Elektrotehnikas seda menetlust ei kasutata.

Elektrostaatiline induksioon (influentselektter). E tekib naabruses asetseva tugeva elektrivälja mõjul. Tehnikas ei kasutata.

## II. Alalisvooluahel.

### 11. Alalisvool.

Alalisvooluks nimetatakse elektrivoolu, mille voolamise suund, pinge ja voolutugevus on ajaliselt püsivad.

Alalisvool tekib püsiva elektromotoorse jõu mõjul. Alalisvoolu allikana kasutatakse peamiselt galvaani elemente (väikeste elektrihulkade puhul) ja mehaaniliselt käitatavaid dünamomasinaid.

Elektrienergiat tagavaraks kogumisel kasutatakse sekundaar-elemente, nn. akumulaatoreid.

Alalisvoolu allika pooluste kindlaksmääramiseks on olemas järgmised abinõud:

Vee elektrolüüs: Juhtmete otsad asetatakse nõrka happe- või soolalahusesse. Juhtmete otstel tekivad gaasimullid; negatiivsel (s. o. vooluallika negatiivse klemmiga ühendatud juhtmel) kaks korda enam kui teisel. Pingete puhul üle 40 V vool lastakse läbi eeltakistuse (näit. elektrilambi).

Pooluse paber. Fenoolftaleiniga immutatud kuivatuspaberit niisutatakse ja puudutakse juhtmetega; miinusjuhtme kohal värvub paber punaseks.

Helklamp. Kasutamisel pingete juures üle 100 V erilise proovilambi näol. Negatiivse elektroodi juures tekib gaasi helene mine, kuna pluss elektroodi ümbrus jääb tumedaks.

### 12. Ohmi seadus.

See määrab kindlaks pinge, voolu ja takistuse suuruse suhted. Tarvitusel kolmel kujul:

$$a) J = U : R, \quad b) R = U : J, \quad c) U = J \times R,$$

kus  $J$  = voolu suurus amprites (A),  $U$  = pinge suurus voltides (V),  $R$  = takistuse suurus oomides ( $\Omega$ ).

Näide 1: Elektrivõrku, mille pinge 220 V, on ühendatud reostaat takistusega 20 oomi. Leida voolu suurus.

$$\text{Vool } J = 220 : 20 = 11 \text{ A.}$$

Näide 2:  $R = 3$  oomi;  $J = 10$  amp. Leida pinge.

$$\text{Pinge } U = 3 \times 10 = 30 \text{ V.}$$

### 13. Eritakistus.

Eritakistuseks nimetatakse 1 m pikkuse ja 1 mm<sup>2</sup> põikpin-  
naga traadi takistuse suurust 15° C juures.

Eritakistuse suurused määratakse kindlaks mõõtmise teel.

Eritakistuse tähiseks on  $\rho$  (roo).

Eritakistuse pöördsuurus nimetatakse erijuhtivuseks ( $k$ ).

Erijuhtivus  $k = 1:\rho$ .

Tabel n. r. 1. Eritakistused.

A i n e	Eritakistus $\rho$	Temper. tegur $\alpha$	Erijuhtivus $k$
Höbe Ag . . . . .	0,016	0,0039	62
Vask (pehme) Cu . . . .	0,0178	0,0044	57
Kuld Au . . . . .	0,022	0,0037	45
Alumiinium Al . . . . .	0,03	0,0039	34
Tsink Zn . . . . .	0,06	0,0039	17
Nikkel Ni . . . . .	0,11	0,004	9
Raud (pehme) Fe . . . .	0,10—0,143	0,0048	7,7
Tina (inglistina) Sn . . .	0,11—0,14	0,0042	7,1
Plii (seatina) Pb . . . .	0,21	0,0039	4,7
Pronks Cu, Sn, Al . . . .	0,02—0,03	0,0005	50—33
Messing Cu, Zn . . . . .	0,07—0,08	0,0015	14—12
Uushöbe Cu, Ni Zn . . . .	0,2 —0,4	0,0003	5—2,5
Nikeliin Cu Ni . . . . .	0,35—0,45	0,0002	3—2
Manganiin Cu, Mn . . . .	0,4 —0,45	—0,00001	2,5—2
Konstantaan Cu, Ni . . . .	0,46—0,5	0,00002	2
Krupiin Fe, Ni . . . . .	0,8	0,0006	1,2
Kroomnikkel . . . . .	1,0	0,00025	1
Grafiit ja retortsüsi C . .	10—100	{ —0,0008 kuni } { —0,0003 }	0,1—0,01

Eritakistuse suurust mõjutab paari protsendi piires materjali  
ümbertöötamise viis (valamine, valtsimine, läbikuumutamine jne.).

Teiste ainete lisandused, ka vähesel määral, võivad eritakis-  
tust tunduvalt suurendada (metallidel) või vähendada (elektro-  
lüütidel).

Isoleerainetel antakse eritakistus enamikus megoomides 1 cm<sup>3</sup>  
kohta.

### 14. Takistuse arvutamine.

$$\text{Juhtme takistus } R = \frac{\rho \cdot l}{q} \text{ ehk } R = \frac{l}{k \cdot q},$$

kus  $\rho$  = eritakistus,  $l$  = pikkus (m),  $q$  = põikpind (mm<sup>2</sup>),  $k$  =  
erijuhtivus.

Näide: Raudtraadi  $l = 100$  m,  $q = 10$  mm<sup>2</sup>,  $R = (0,13 \times 100) : 10 = 1,3$  oomi.

Eritakistus on antud harilikult  $15^\circ$  C kohta, teissuguse  $t$  juures on takistus  $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ , kus  $R_0 =$  takistus  $15^\circ$  C juures;  $t =$  üle- või alatemperatuur, arvates  $15^\circ$  C-st ( $^\circ$ C);  $\alpha$  (alfa) temperatuuri tegur.

Näide: Vasktraadi takistus  $15^\circ$  C juures on 200 oomi,  $100^\circ$  C juures on takistus

$$R = 200 \cdot (1 + 0,0044 \times 85) = 274,8 \Omega.$$

## 15. Takistused elektrotehnikas.

Iga vooluahelasse kuuluv osa, nagu voolu allikas ise (dünamo, aku jne.) ning ühendusjuhtmed ja voolu tarvitavad aparaadid (lamp, mootor, küttekeha jne.) omavad eranditult teatud takistuse.

Mõnel juhul, nagu ühendusjuhtmeis ja osalt ka vooluallikas, on takistuse mõju kahjulik, tekitades pingelanguse ja võimsuse kao, mis pärast teda püütakse viia miinimumini, kasutades võimalikult väikese eritakistusega jämedaid juhtmeid.

Seevastu voolu tarvitavate aparaatide (hõõglambid, küttekehad) tööviis tugineb enamasti otseselt takistuse omadustel.

Peale takistuse (kui füüsilise omaduse) nimetatakse elektrotehnikas takistuseks ka igat voolutarvitavat aparaati.

Takistusi, millised määratud ainuüksi voolusuuruse piiramiseks või reguleerimiseks — nimetatakse **r e o s t a a t i d e k s** (käivitid, regulaatorid, jne.).

## 16. Võimsus N. Watt W.

Võimsus näitab, millist tööd suudab teha masin või aparaat teatud ajaühiku jooksul. Pumpab näit. üks pump 100 liitrit/minutis teatud kõrgusele, teine samale kõrgusele 1000 l/min. — on teise võimsus 10 korda suurem.

Elektri võimsus võrdub pinge ja voolutugevuse korrutisele.

Võimsuse ühikuteks on  $1$  W (Watt) =  $1$  V  $\times$   $1$  A

$1$  kW (kilowatt) =  $1000$  W

$1$  MW (megawatt) =  $1\,000\,000$  W

$$N = U \cdot J,$$

kus:  $N =$  võimsus wattides,

$U =$  pingevoltides,

$J =$  voolutugevus amprites.

Ülaltoodu selgituseks võib tuua analoogia mehaanikast: veevõimsus on seda suurem, mida suurem on veehulk ja kukkumise kõrgus, olles võrdeline nende korrutisele.

- Näide: a) Dünamo pinge — 110 V, vool — 15 A. Võrku annab  
 $110 \text{ V} \times 15 \text{ A} = 1650 \text{ W} = 1,65 \text{ kW}$ .
- b) Elekterahi võtab 220 V võrgust võimsust 1500 W. Vool  
 $J = 1500 : 220 = 6,8 \text{ A}$ .

## 17. Töö A. Kilowatt-tund kWh.

Mingi masina või aparadi poolt antud või saadud töö hulga leidmiseks tuleb ajaühiku vältel tehtud töö hulk, s. o. võimsus, korrutada ajaga.

$$A = N \cdot t = U \cdot J \cdot t,$$

kus  $A$  — töö,  $N$  — võimsus,  $U$  — pinge,  $J$  — vool,  $t$  — aeg.

Olenevalt sellest, kas võimsus võtta wattides, kilowattides või megawattides ja aeg sekundites või tundides, saame elektri töö watt-sekundites, watt-tundides, kilowatt-tundides või megawatt-tundides.

$$1 \text{ Ws (watt-sekund)} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s} = 1 \text{ džaul.}$$

$$1 \text{ Wh (watt-tund)} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 3600 \text{ Ws.}$$

$$1 \text{ kWh (kilowatt-tund)} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ Wh.}$$

$$1 \text{ MWh (megawatt-tund)} = 1 \text{ MW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ kWh.}$$

Näide: a) 3 lampi, à 60 watti, põlesid 150 tundi. Tarvitatud elektrienergia hulk  $A = 3 \times 60 \times 150 = 27000 \text{ Wh} = 27 \text{ kWh}$ .

b) Elekterahi töötab 3 tundi 220-voldilisel võrgul, kusjuures voolutugevus oli 10 amprit. Energiatarvitus  $A = 220 \times 10 \times 3 = 6600 \text{ Wh} = 6,6 \text{ kWh}$ .

## 18. Energia.

Energia all mõistetakse töötagavara. Energia võib ilmnedagi väga mitmesugusel kujul. Näit. soojus, elektrivool, mehaaniline liikumine jne. on energia ilmingud (energia liigid).

Üht energiailmingut saab muundada teissuguseks energiailminguks. Näiteks kiviõie keemiline energia muundub koldes soojusenergiaks, katlas — rõhuenergiaks, turbiinis — mehaanilise liikumise energiaks, dünamos — elektrienergiaks jne. Seejuures energia üldine hulk ei suurene ega vähene, ta muudab ainult oma ilmingut.

Igas ilmingus mõõdetakse teda isenimelistes ühikutes; nende võrdlemiseks on toodud alljärgnev tabel:

Mehaaniline töö:  $1 \text{ mkg} = 9,81 \text{ Ws} = 2,35 \text{ gcal}$ .

„ võimsus:  $1 \text{ HJ} = 0,736 \text{ kW} = 176 \text{ gcal/s}$ .

Elektriline töö:  $1 \text{ kWh} = 1,36 \text{ HJh} = 367200 \text{ mkg} = 859 \text{ kcal}$ .

„ võimsus:  $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ HJ} = 102 \text{ mkg/s} = 0,24 \text{ kcal/s}$ .

Soojuse töö:  $1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg} = 4189 \text{ Ws}$ .

„ võimsus:  $1 \text{ kcal/s} = 5,7 \text{ HJ} = 4,19 \text{ kW}$ .

## 19. Kasutegur.

Energiailmingu muundamisel ei muundu kogu muundatav energia soovitud-ilminguliseks energiaks. Näiteks 736 W elektrienergiat vastab 1 HJ mehaanilisele energiale. Tegelikult aga juhtides 736 W elektrimootorisse, saame selle võllilt ainult 0,7 kuni 0,9 HJ, kuna puuduv osa, muundudes soojuseks, läheb meile kaduma.

Suhet masinalt saadud ( $N_2$ ) ja masinale antud ( $N_1$ ) võimsuste (või energiahulkade) vahel nimetatakse kasuteguriks ( $\eta$ ).

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}$$

Kasuteguri suurus asub 0 ja 1 vahel. Teda väljendatakse murruna või %-des, näit.  $\eta = 0,785$  või  $\eta = 78,5\%$ .

Ligikaudsed kasutegurid üksikute masinate kohta on antud alljärgnevas tabelis:

Transformaator . . . . .	90—99 %	Diiselmootor . . . . .	30—35 %
Õgvendaja (elavhõbe) . . . . .	80—97 %	Gaasimootor . . . . .	20—28 %
Elektrimasin . . . . .	70—95 %	Auruturbiin (koos kat-	
Veeturbiin . . . . .	70—90 %	laga) . . . . .	17—25 %
Kolbpump . . . . .	80—90 %	Aurumasin . . . . .	9—25 %
Akumulaator . . . . .	65—75 %	Elektrilamp . . . . .	2—8 %
Rataspump . . . . .	60—80 %		

## 20. Vooluallikate (elektrienergiaallikate) ühendamine.

Suuremate võimsuste saamiseks võib vooluallikaid omavahel ühendada. Ühendamiseks on kolm võimalust — paralleelselt, järjestikku ja segalülituses.

Galvaani elementidest või akudest koosnevat elementide rühma nimetatakse patareiks.

Allpool tähendavad:

$u$  = ühe vooluallika, näit. galvaani elemendi pinge (V);

$U$  = terve rühma (patarei) pinge (V);

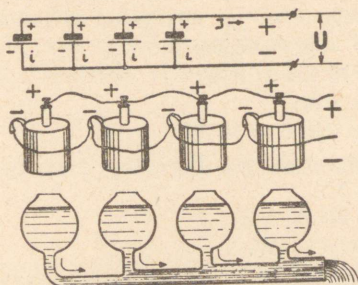
$i$  = maksimaalne lubatav voolutugevus (A), mida üks vooluallikas kestvalt suudab anda;

$J$  = terve rühma (patarei) maksimaalne voolutugevus (A).

a) Paralleel- (rööbiti) lülitus. Kõik plussklemmid ühendatakse omavahel ja miinusklennid omavahel (joon. 3). Seejuures peavad vooluallikad olema ühesuguse pingega.

Liitpinge (patareipinge) jääb endiseks.

$$U = u \quad (V).$$



Joon. 3. Vooluallikate ühendamine paralleelselt.

Lubatud patarei voolutugevus ( $J$ ) on kõikide elementide lubatavate voolutugevuste summa:

$$J = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n \text{ (A).}$$

Paralleelselt lülitatud vooluallikaid võib võrrelda veereservuaaridega, millised kõrvutiasetatult toidavad ühist toru (joon. 3); reservuaaride arvu suurendamisel vee voolus suureneb, kuid rõhumiskõrgus jääb endiseks.

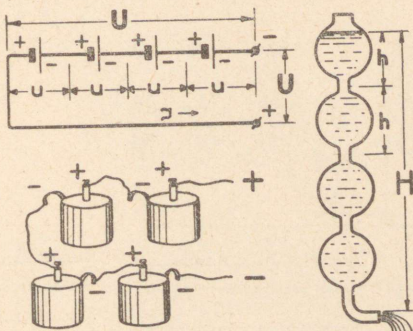
b) Järjestikune (seerias) lülitus.

Esimese vooluallika miinusklenn ühendatakse järgmise plussklenniga jne. (joon. 4).

Patareipinge ( $U$ ) on kõikide elementide pingete summa:

$$U = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n \text{ (V).}$$

Patarei maksimaalselt lubatud voolutugevus jääb endiseks:  $J = i \text{ (A).}$



Joon. 4. Vooluallikate ühendamine järjestikku.

Järjestikku-lülitatud vooluallikaid võib võrrelda vee reservuaaridega, millised asetatud ülestikku (joon. 4 paremal). Reservuaaride arvu suurendamisel rõhumiskõrgus suureneb, kuid voolus jääb endiseks.

Näide 1: Neli galvaani elementi, igaüks pingega  $\dot{a}$  1,5 V ja lubatava voolutugevusega 5 A on ühendatud järjestikku. Kui suur on patarei  $U$  ning maksimaalne  $J$  ja  $N$ ?

Lahendus: Pinge  $U = 4 \times 1,5 = 6$  V;  
 Vool  $J = i = 5$  A;  
 Võimsus  $N = 6 \times 5 = 30$  W.

Näide 2: Ülaltoodud elemendid on ühendatud paralleelselt.  
 $U = u = 1,5$  V;  
 $J = 4 \times 5 = 20$  A;  
 $N = 1,5 \times 20 = 30$  W.

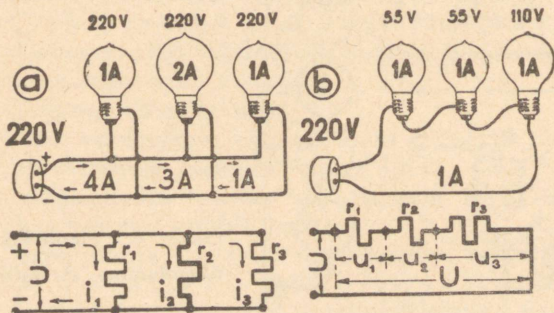
c) Nelja või enam vooluallika juures võib kasutada ka segalülitust, ühendades vooluallikad rühmade kaupa järjestikku ja üksikud rühmad paralleelselt, või ühendades vooluallikad rühmade kaupa paralleelselt ja üksikud rühmad järjestikku.

## 21. Takistuste- (voolutarvitajate) ühendamine.

Takistuste ühendamiseks on olemas samuti kolm võimalust: paralleelne, järjestikune ja segalülitus.

Allpool tähendavad:

$U$  = võrgu (vooluallika) pinge (V);  
 $u$  = pinge ühe takistuse klemmidel (pingelangus takistuses) (V);  
 $J$  = üldine voolutugevus (A);  
 $i$  = voolutugevus ühes takistuses (A);  
 $R$  = üldine takistus ( $\Omega$ );  
 $r$  = üksiktakistuse suurus ( $\Omega$ );  
 $G$  = üldine juhtivus;  
 $G_1, G_2$  = üksikjuhtivused;  
 $n$  = takistuste arv.



Joon. 5. Takistuste voolutarvitajate ühendamine.

a) Paralleellülitus (joon. 5-a).

1) Pinge on kõigil takistustel võrdne:  $U = u_1 = u_2 = u_3 = u_n$ .

2) Üldine voolutugevus:  $J = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$ .

(Kirchhoffi I seadus: juurveoolavate voolude summa võrdub äravoolavate voolude summale.)

3) Voolu tugevus ühes takistuses  $i = U:r$ .

4) Üldine takistus väheneb, juhtivus suureneb

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \dots = \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r_3} + \dots$$

5) Erandjuhul, kui kõik paralleelsed takistused on võrdsed, siis

$$R = r:n.$$

b) Järjestikune (seerias-) lülitus (joon. 5-b).

1) Voolutugevus on kõigis takistustes võrdne

$$J = i_1 = i_2 = i_3 = i_n = \frac{U}{R}.$$

2) Üldine pinge  $U = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n$ .

(Kirchhoffi II seadus: Elektromotoorsete jõudude summa ja pingelanguste summad on omavahel võrdsed.)

3) Pingelangus ühes takistuses

$$u = i \cdot r.$$

4) Üldine takistus suureneb

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

c) Segalülitus.

Takistuste lülitamine toimub nagu vooluallikate juures (kasutatav peamiselt ümbrelülitamisega reguleeritavais reostaatides, näit. kütteaparaadid jne.).

Näide 1: Võrgupingega 110 V on lülitatud paralleelselt 4 reostaati à 20 Ω. Leida R, J ja N.

Lahendus: Üldine takistus  $R = 20 : 4 = 5 \Omega$ .

Vool  $J = 110 : 5 = 22 \text{ A}$ .

Võimsus  $N = 110 \times 22 = 2420 \text{ W}$ .

Vool ühes reostaadis  $i = 110 : 20 = 5,5 \text{ A}$ .

Näide 2: Takistused 5, 8 ja 12 oomi on ühendatud järjestikku 220 V võrgupingega.

Leida: R, J, N ja U.

Lahendus: Üldine takistus  $R = 5 + 8 + 12 = 25 \Omega$ .

Vool  $J = i = 220 : 25 = 8,8 \text{ A}$ .

Võimsus  $N = 220 \times 8,8 = 1936 \text{ W}$ .

Pinged üksikute takistuste klemmidel:

$u_1 = 8,8 \times 5 = 44,0 \text{ V}$

$u_2 = 8,8 \times 8 = 70,4 \text{ V}$

$u_3 = 8,8 \times 12 = 105,6 \text{ V}$

$U \text{ kokku} = 220,0 \text{ V}$

Näide 3: Takistused 5, 8 ja 12 oomi on paralleelselt 220 V võrgus. Leida R, J ja N.

Lahendus:  $i_1 = 220 : 5 = 44 \text{ A}$ ;  $i_2 = 27,5 \text{ A}$ ;  $i_3 = 18,3 \text{ A}$ .

Üldine vool  $J = 44 + 27,5 + 18,3 = 89,8 \text{ A}$  ja üldine takistus  $R = 220 \text{ V} : 89,8 \text{ A} = 2,45 \Omega$ .

Üldine võimsus  $N = 220 \times 89,9 = 19\,756 \text{ W}$ .

## 22. Pingelangus.

Elektrivool juhitakse vooluallikast tarvitajani ja tagasi läbi juhtmete (joon. 6; joonisel tähendab G — vooluallikat, T — tarvitajat). Kuna juhtmed omavad teatud takistuse, tekib juhtmeis, vastavalt Ohmi seadusele (vt. p. 12 ja 21-b), pingelangus, mille suurus

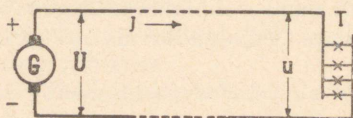
$$e = J \cdot r \quad (\text{V}),$$

kus  $J$  = juhtmeid läbistav vool (A) ja  $r$  = juhtmete takistus ( $\Omega$ ).

Et tarvitaja klemmidel valitseks vajalik pinge, peab vooluallika klemmipinge olema pingelanguse võrra kõrgem.

$$U = u + (J \cdot r) = J \cdot R,$$

kus  $U$  = vooluallika klemmipinge,  $u$  = pinge tarvitaja klemmidel,  $R$  = üldine välisahela (tarvitaja + juhtmed) takistus,  $J$  ja  $r$  nagu ülal.



Joon. 6. Ühendusjuhtmed vooluallika ja tarvitaja vahel.

Näide: Tarvitaja pinge —  $u = 220 \text{ V}$ , vool —  $J = 5 \text{ A}$ . Juhtmed  $10 \text{ mm}^2$ , vasest. Liini pikkus  $1 \text{ km}$  (edasi-tagasi  $2 \text{ km}$ ). Leida vooluallika klemmipinge.

a) Liini takistus  $r = (0,0175 \times 2000) : 10 = 3,5 \Omega$ .

b) Vooluallika pinge peab olema  $U = 220 + (5 \times 3,5) = 237,5 \text{ V}$ .

Iga vooluallikas eranditult omab teatud takistuse, nn. sisetakistuse ( $r_s$ ); selle tulemusena tekib ka vooluallikas pingelangus. Tühijooksul (koormamata vooluallikas) on klemmipinge  $U$  võrdne elektromotoorsele jõule  $E$ ; koormamisel, s. o. vooluvõtmisel on klemmipinge

$$U = E - (J \cdot r_s) \quad (\text{V}),$$

kus  $J$  — vooluallika poolt antav vool (A) ja  $r_s$  — vooluallika sisetakistus ( $\Omega$ ).

Dünamotel ja akumulaatoritel on sisetakistus ja seetõttu ka pingelangus võrdlemisi väikesed (tavaliselt dünamol = 1÷10%).

Otseside (lühiühenduse) korral, s. o. vooluallika klemmide ühendamisel lühikese jämeda juhtmega, mille takistus on praktiliselt null, on otseside-voolu suurus

$$J = E : r_s.$$

Klemmipinge langeb seejuures nullini.

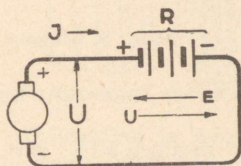
Dünamol ja akul kasvab voolutugevus väikese  $r_s$  tõttu otseside korral niivõrd suureks, et võib muutuda nendele kardetavaks. Galvaani elementidele lühiaegne otseside kardetav pole.

### 23. Voolutarvitaja vastuelektromotoorse jõuga.

On tarvitajas olemas sisemine, välispingele  $U$  vastu suunatud elektromotoorne jõud  $E$  (näit. laetav aku, töötav mootor jne.) (joon. 7) — on voolutugevus

$$J = (U - E) : R \text{ (A)},$$

kus  $R$  on voolutarvitaja sisetakistus ( $\Omega$ ).



Joon. 7. Voolutarvitaja vastuelektromotoorse jõuga.

### 24. Joule'i (loe džauli) seadus.

Takistuses soojuseks muutunud energia hulk on:

$$A = N t = U J t = (J R) J t = J^2 R t \text{ (Ws)}$$

või  $A = 0,24 J^2 R t \text{ (gcal)}.$

Valemis on  $U$  — pinge takistuse otste vahel (V);

$J$  — voolutugevus takistuses (A);

$R$  — takistuse suurus ( $\Omega$ );

$t$  — aeg (s).

1 wattsekund (džaul) = 0,24 gcal.;

1 watt-tund = 859 gcal.;

1 kWh = 859 kcal.

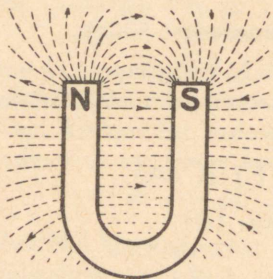
M ä r k u s. kcal (kilokalor) on soojuse hulk, mis on vajalik 1 liitri (kg) vee soojendamiseks 1°C võrra. 1 kcal = 1000 gcal (grammkalorit).

### III. Magnetism.

#### A. Permanentmagnetid.

##### 25. Magnet.

Magnetiks nimetatakse terast või rauda, millel on omadus teisi rauatükikesi külge tõmmata. Magnetiliste omadustega mineraale ja raua ühendeid leidub mitmel pool looduses, samuti valmistatakse magnetit ka kunstlikult, teise magneti või elektrivoolu abil. Harilikult antakse kunstlikule magnetile hobuseraua (joon. 8), harvem sirge lati kuju.



Joon. 8. Magnet.

Külgõtombetung on raua otstes kõige tugevam; keskel puudub see üldse.

Magnetraua otsi nimetatakse magneti poolusteks (nabadeks). Kui magnet on vabalt — pöörlevalt asetatud (näit. niidil, nõelal, ujuval korgil), siis pöörduv üks, alati sama poolus, põhja, teine — lõuna poole.

Esimest nimetatakse vastavalt põhja- (N-), teist lõuna- (S-) pooluseks.

Magnetiseerimata rauda tõmbab magnet alati külge; kahel magnetil seevastu ühenimelised, s. o. N- ja N- ning S- ja S-poolused, tõukuvad teineteisest eemale, isenimelised, s. o. N ja S, lähevad teineteisele.

##### 26. Magneti tungjooned, -väli, -voog.

Kui magnetraua peale paber asetada ja paberile riputada rauapuru, siis asetuvad rauaosakesed täiesti korrapäraselt ümber magneti (joon. 8); magnetit ümbritsevad erilised tungjooned (jõujooned), mis lähevad ühest poolusest välja, teisest tagasi sisse.

Tungjoonte suunaks on võetud väljaspool magnetit suund N—S.

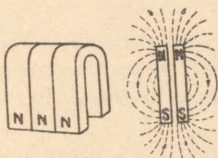
Ruumi, kus on olemas magnetilisi tungjooni, nimetatakse magnetiväljaks. Pooluste juures, eriti nende vahel, on väljatugevus  $H$  kõige suurem. Välja tugevuse mõõtühikuks on weber ( $\text{Amp/cm} = 1,257$  weber).

Kõik tungjooned kokkuvõetult annavad magnetivoo  $\Phi$ . Viimase mõõtühikuks on maxwell. Magnetivoo suund on N-poolusest välja ning läbi ruumi S-poolusesse tagasi, kujutades endast kinnist ringi; seetõttu ei esine N- ja S-poolus kunagi üksikult; magneti poolitamisel tekib alati kaks uut, poole vähemat magnetit.

## 27. Permanent-magnetite kasutamine.

Terasest valmistatud permanent- (kestvaid) magneteid kasutatakse nõrkade, kuid püsivate magnetiväljade saamiseks.

Materjaliks on harilik (süsinik-) teras, harvem volfram- või koobalteras ( $50\div 60\%$  Fe,  $40\%$  Co,  $1\div 5\%$  W, Kr ja C). Magnetitugevus ja püsivus on viimasel kõige suuremad. Magnetiseerimine toimub elektrivoolu abil.



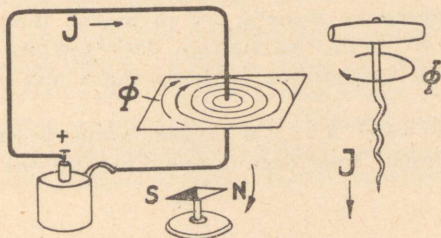
Joon. 9. Magnetite liitmine.

Tugev pörutamine ja soojenemine üle  $300\div 400^\circ\text{C}$  nõrgendab magnetit;  $600\div 800^\circ\text{C}$  juures kaotab teras ja raud magnetilised omadused täielikult. Kasutamata seisval magnetraual on soovitav poolused omavahel ühendada pehme raua tükiga. Suuremad magnetid koosnevad tihti mitmest loogast; neid tuleb nii kokku panna, et kõik N-poolused jääksid ühele ja S-poolused teisele poole (joon. 9).

## B. Elektromagnetid.

### 28. Solenoid.

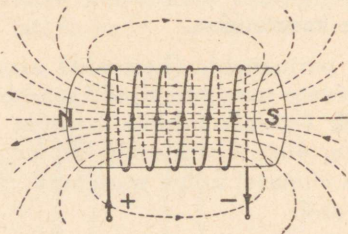
Elektri voolamisel juhtmes tekib viimase ümber kontsentriiline (ringikujuline) magnetiväli (joon. 10), mille tugevus on võr-



Joon. 10. Magnetiväli vooluga juhtme ümber.

deline voolutugevusega. Tungjoonte suuna kindlaksmääramiseks on rida reegleid. Üks neist, nn. stopori seadus, on näidatud joonisel 10. Kui hariliku kruvi edasiliikumise suund langeb ühte elektrivoolu suunaga, siis kruvi pöörlemise suund näitab magnetiliste tungjoonte suunda.

Juhtmete mähkimisel spiraalikujuks pooliks — solenoidiks (joon. 11) — liituvad üksikute keerdude tungjooned; tekib vastavalt suurem ja tugevam magnetivälja ja magnetivoog. Väljatugevus  $H$  säärase solenoidi sees on võrdeline amperkeerdu-



Joon. 11. Solenoid.

dele — keerdude ja amprite arvu korrutisele. Näit.  $15 \text{ A} \times 100$  keerdu = 1500 amperkeerdu annab samatugevusega magnetivälja kui  $1,5 \text{ A} \times 1000$  keerdu = 1500 amperkeerdu. Harilikul silindrilisel poolil on väljatugevus

$$H = (1,25 i w) : l \text{ ja magnetivoog } \Phi = H \cdot F, \text{ kus}$$

$i$  — voolutugevus (A),  
 $w$  — keerdude arv,  
 $l$  — pooli pikkus (cm),  
 $F$  — pooli põikpind ( $\text{cm}^2$ ).

## 29. Magnetiline induksioon.

Magnetivälja, näit. solenoidi, mitmesuguseid aineid asetades, võib mõnel juhul märgata magnetivälja ja -voo suurenemist või vähenemist.

Tekkiv, indutseeritud magnetivoo tihedus

$$B = \mu \cdot H \text{ (gaussi ehk tungjoont ühe } \text{cm}^2 \text{ kohta,}$$

kus  $\mu$  (müü) = vastava aine magnetiline juhtivus — p e r m e a a b l u s (läbitavus), missugune on nimeta arv ja näitab mitu korda indutseeritud magnetivoo tihedus on suurem väljatugevusest.

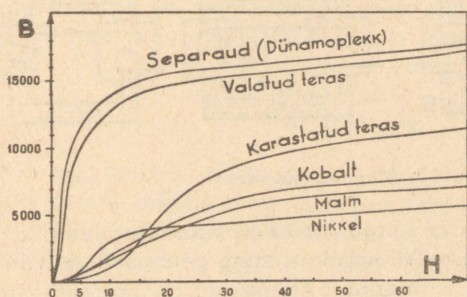
Enamikul aineist on magnetiline juhtivus sama mis õhul või tühjusel, nimelt  $\mu = 1$ .

Diamagnetilised ained (vask, hõbe, vismut, sea-tina jne.) juhivad magneti tungjooni halvemini kui õhk:  $\mu$  on alla 1.

Paramagnetilised (raud, plaatina, pallaadium, mangaan jne.) juhivad magneti tungjooini paremini —  $\mu$  on suurem kui 1. Viimaste hulgas omavad eriseisukoha ferromagnetilised ained — raud, teras, malm, koobalt ja nikkel, millede  $\mu$  on paarsada kuni paar tuhat (pehmel raual). Ferromagnetilisi aineid tõmbab magnet külge, sest magnetiväljas muutuvad nad ise magneteiks.

### 30. Magneetamise kõverad.

Solenoidis, kus keerdude arv  $w$  on muutmata suurus, on väljatugevus  $H$  võrdeline elektri voolutugevusele. Ferromagnetilistes ainetes, näit. rauas, kasvab indutseeritud magnetivoo tihedus  $B$  algul väga ruttu ( $H = 5$  juures on  $B$  juba ca 10 000 gaussi), voolutugevuse või amperkeerude arvu suurendamisel muutub  $B$



Joon. 12. Magneetimiskõverad.

kasvamise aeglasemaks, kuni lõpuks voolutugevuse suurendamine enam peagu üldse ei suurenda indutseeritud magnetivoo tihedust — raud on küllastatud. Väljatugevuse  $H$  ja magnetivoo tiheduse (induktsiooni)  $B$  vahetada mitmesuguseil ainel näitavad joon. 12 toodud magneetimise kõverad. Küllastatud rauda kasutatakse, kui on vaja püsivat magnetivälja kõikuva pinge- ja voolutugevuse juures.

### 31. Hüsterees, remanents.

Magneetiva jõu (elektrivoolu) kadumisel jääb osa magnetismist rauda püsima. Pehmel raual on järelejään magnetism — remanents väike. Mida süsinikurikkam ja kõvem on raud (teras), seda suurem ja püsivam on ka järelejään magnetism.

Ümbermagneetimisel (voolu juhtimisel vastupidises suunas) läheb osa elektrienergiast kaotsi remanent-magnetismi hävitami-

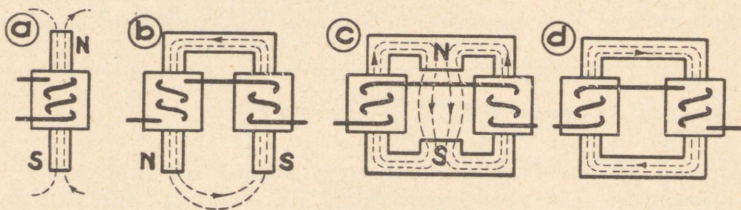
seks; selleks vajalikku, soojuseks muutuvat energiat nimetatakse magnetilise hüstereesi kaoks.

Pehmel raual on viimane väike, terasel tunduvalt suurem.

### 32. Elektromagnetid tehnikas.

Asetades raudsüdamikuga solenoidi (p. 28), saame kuni paaritud korda tugevama magnetiväljaga elektromagneti. Elektromagneteid kasutatakse, kui on vaja tugevaid või perioodiliselt mõjuvaid magneteid (elektrimasinad, magnetkraanad, signaalseadmed jne.).

Südamikuna kasutatakse alalisvoolu puhul pehmet rauda või valatud terast, harvem malmi. Tarvitavamad südamikukujud on näidatud joon. 13. Juhul a katab magnetivoog kõige laialdase-



Joon. 13. Magnetraua ehitus.

mat ruumala; b — c juures katab kitsamat ruumala; juhul d asub magnetivoog tervikuna raudsüdamikus, ning poolused ja väli väljaspool rauda puuduvad — magneti olemasolu on märgatav ainult voolu tekkimisel ja kadumisel (vt. omainduktsioon).

Magneteid saab tekitada ka vahelduvvooluga. Viimasel juhul tuleb raudsüdamik pöörisevoolude vähendamiseks koostada värvi või paberiga isoleeritud raudplekkidest.

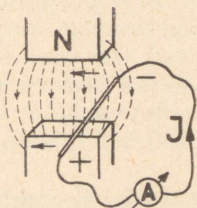
Kõrgesagedusega voolude juures ei saa rauda kasutada suure magnetilise hüstereesi kao tõttu.

## IV. Magneto-elektriline induktsioon.

### A. Induktsioon püsivas magnetiväljas.

#### 33. Elektri indutseerimine.

Liigub juhe magneti väljas tungjooni ristlõigates (joon. 14), tekib temas elektromotoorne jõud  $E$ . Juhtme otsi omavahel väljaspool traadiga ühendades tekib vool  $J$ .



Joon. 14. Liikuv juhe magnetväljas.



Joon. 15. Flemmingu paremakäe reegel.

E ja J suund määratakse kindlaks Flemmingu parema käe reegli abil (joon. 15). Hoides parema käe peopesa vastu N-poolust ja väljasirutatud pöidla juhtme liikumise (V) suunas, näitavad sõrmed E suunda.

Tekkinud E on seda suurem, mida suurem on juhtme liikumiskiirus, juhtme magnetiväljas asetseva osa pikkus ja magnetivoo tihedus.

$$E = \frac{B \cdot l \cdot v}{100\,000\,000} \text{ (V)},$$

kus B — magnetivoo tihedus,

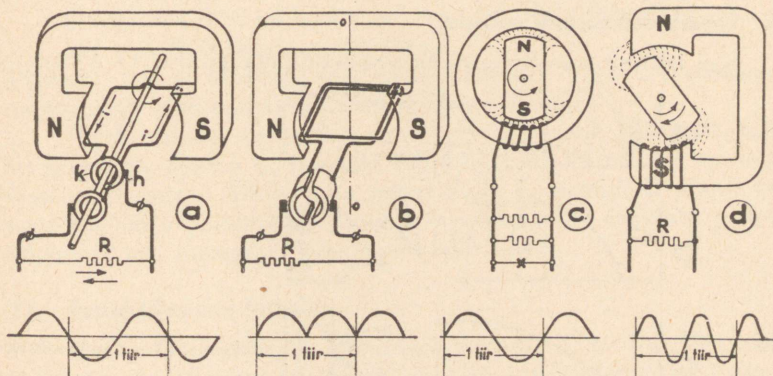
l — traadi pikkus magnetiväljas (cm) ja

v — liikumiskiirus cm/sekundis.

E tekib ka paigalseisva juhtme ning liikuva magnetivälja korral.

### 34. Kestva voolu saavutamine.

Tarvitusel on neli viisi, mis on skemaatiliselt näidatud joonisel 16.



Joon. 16. Elektrimasinate tüübid.

a) Pöörlev traadikeerd magnetiväljas. Juhtme otsad on toodud kontaktrõngastele  $k$ , kust vool üle paigalseisvate kontaktharjade  $h$  välisvõrku juhitakse. Ühe keeru asemel võetakse neid harilikult suur hulk, kusjuures traat ise on mähitud isoleeritult raudplekkidest trumlile — ankrule. Annab vahelduvvoolu.

Kasutatakse väikeste (kuni 50 kW ja 500 V) vahelduvvoolu masinate, automagneetode jne. ehitamisel.

b) Alalisvoolu saamiseks tuleb paigutada kontaktrõngaste asemele kollektor (kommutaator). Viimane muudab juhtmetes tekkiva vahelduvvoolu välisvõrku saates ühesuunaliseks, sest neutraaljoonel 0—0, joonisel 16-b, vaheldub nii voolu suund kui ka kollektori lamellide (lestade) asend.

Kahelamellise kollektori vool on pulseeruv, ühtlasema voolu saamiseks tuleb lamellide ja sellega seoses mähiste — sektioonide — arvu suurendada paarikümne kuni paarisajani. Kasutamisel alalisvooludünamote ehitamisel.

c) Seisev juhe keerlevas magnetiväljas. Juhe on mähitud paigalseisvale osale — staatorile. Viimane on ehitatud pöörivoolude vähendamiseks raudplekkidest. Staatori sees keerleb elektromagnet.

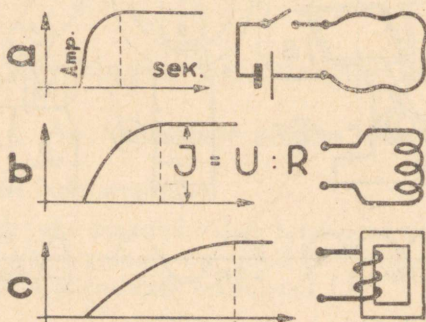
Kasutamisel suurte vahelduvvoolu masinate, harvem automagneetode ehitamisel. Pooluseid võib ka 4, 6 või rohkem olla.

d) Juhe õõtsuvas magnetiväljas. Juhe ja magnet seisavad paigal. Magnetipooluste vahel pöörleb pehmest raudplekkidest rootor, mis veab tungjooned iga tiiru juures kuni pooluse ääreni endaga kaasa. Annab vahelduvvoolu. Kasutamisel automagneetodes ja kõrgesagedusega vahelduvvoolu masinates.

## B. Omainduktsioon (endainduktsioon).

### 35. Omainduktsiooni mõiste.

Kui lahtine traat ühendada vooluallikaga (joon. 17-a) saavu-



Joon. 17. Omainduktsiooni mõju.

tab vool peagu silmapilkselt (mõne miljondiku sekundi vältel) oma täie suuruse

$$J = U : R.$$

Kui sama traat spiraaliks kokku keerata (joon. 17-b) saavutab vool sama suuruse, kuid kasvab aeglasemalt, suurel raudsüdamikul (joon. 17-c) aga õige aeglaselt (kuni paari sekundi jooksul).

Põhjus: Voolu suurenemisel tekivad juhtmete ümber magneti tungjooned, millised paisudes omakorda juheta ennast löikavad, indutseerides selles vastuelektromotoorset jõudu  $E_v$ .

Tungjooni võib võrrelda pinguletõmmatud kummipaelaga. Voolu vähenemisel tõmbuvad nad kokku, sundides voolu edasi voolama. Järsul katkestusel tekib hetkeline, nn. ekstra (omainduktsiooni) pinget, mis on välispingega ühesuunaline, kuid suuruselt võib ületada selle kuni paarkümmend korda.

Üldiselt mõjub omainduktsioon nagu inertsjõud mehaanikas — takistades voolu suurenemist või vähenemist (Lenzi seadus).

### 36. Omainduktsiooni suurus.

Omainduktsiooni pinget

$$E_x = (L \cdot J) : t \quad (V),$$

kus  $L$  = induktiivsus (omainduktsiooni tegur) (H),

$t$  = aeg (s),

$J$  = vool (A).

Induktiivsuse  $L$  mõõtühikuks on 1 H (henri), mis on parajasti nii suure pooli induktiivsus, milles siis, kui vool mähises 1 s vältel muutub 1 A võrra, tekib omainduktsiooni elektromotoorne jõud, mille suurus  $E_x = 1 V$ .

1 henry = 1 000 milli-H (m. H) = 1 000 000 mikro-H ( $\mu H$ ),

1  $\mu H$  = 1 000 centimeetrit (cm).

Märkus: cm ei tähenda siin mitte pikkuse, vaid  $L$ -i absoluutset mõõtühikut elektromagnetilises mõõdusüsteemis.

Pooli induktiivsuse ( $L$ ) suurus oleneb pooli ehitusest. Induktiivsuse tõttu tekkiv  $E_x$  on seda suurem, mida kiirem on voolutugevuse muutumine. Alalisvoolu puhul tekib  $E_x$  peamiselt ainult voolu sisse või välja lülitamisel, vahelduvavoolu puhul seevastu pidevalt, tekitades nn. faasinihet pinget ja voolu vahel.

### 37. Induktiivsuste liitmine.

Kui poolid pole magnetiliselt seotud, s. o. kui ühe väli ei mõju teisele (kaugel, risti, või kinnise raudsüdamikuga) on liit-

mine analoogiline lihtsate aktiiv- (metalsete) takistuste liitmisele. Järjestikku:  $L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$  (H);

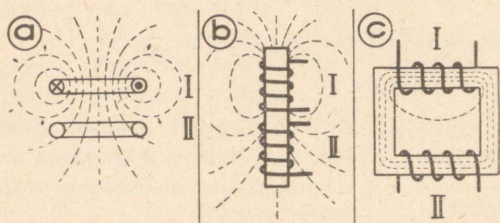
paralleelselt:  $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$ .

Induktsioonivaba mähis saavutatakse, kui vool mähise ühes kihis üht-, järgmises teispidi läbi lastakse, või kui traat „bifilaarselt“ mähitakse: kaks traati korraga vastupidisele voolusuunale. Vastupidiste amperkeerdude tõttu on resulteeriv magnetiväli ja sellega seoses ka  $L$  null.

### C. Vastastikune induktsioon.

#### 38. Mõiste.

Voolab läbi traadi või mähise (joon. 18 I) muutuva suurusega elektrivool, muutub ka traati ümbritseva magnetivälja tugevus võrdeliselt voolutugevusele: voolu suurenemisel laienevad tungjooned, vähenemisel — tõmbuvad kokku. Asub läheduses teine traat või mähis (joon. 18 II), lõikavad esimese tungjooned ka teist, viimases E indutseerides.



Joon. 18. Vastastikune induktsioon.

Esimest nimetatakse primaar-teist sekundaar-mähiseks. Viimast lõikab ainult üks osa primaarmähise tungjoontest.

Sidetegur kõigub 0—1 vahel. Sideteguri suurendamiseks asetatakse mähised tihti ühisele raudsüdamikule (joon. 18-b ja c).

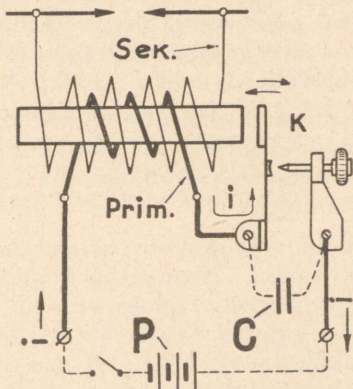
#### 39. Sädeinduktor alalisvoolule.

Raudsüdamikul (joon. 19) on kaks mähist isoleeritud traadist: primaar, 50÷1 000 keerdu, jämedusega 0,5÷3 mm, ja sekundaar, 1 000÷1 000 000 keerdu, peenikesest 0,1÷0,2-mm traadist. Primaarmähist toidetakse alalisvooluga, mis 15÷1 000 korda sekundis katkestatakse elektromagnetilise (joon. 19 k), elektrolüütilise

või pöörleva katkestaja abil. Igal sisse- ja väljalülitamisel tekib sekundaarmähises hetkeline pinge — seda kõrgem, mida enam on keerdusid, suurem magnetvoog ja kiirem magnetvoo muutumine.

$$U_2 = U_1 \cdot K \cdot \frac{w_2}{w_1} \quad (\text{V}),$$

kus  $U_2$  = sekundaarpinge (V),  $U_1$  = primaarpinge (V),  $K$  = sidetegur,  $w_2$  = sekundaarmähise keerdude arv,  $w_1$  = sama primaarmähisel.



Joon. 19. Sädeinduktor.

Kuna katkemisel vool kiiremini kaob, on ka katkestamisel pinge ja säde kontaktide vahel kuni paarkümmend korda suurem. Järsuma katkestuse saamiseks ja kontaktide läbipõlemise vältimiseks on nende vahele lülitatud kondensaator (joon. 19 c).

Ülalkirjeldatud sädeinduktor (bobiin, Rumpfkorfi spiraal) annab kõrge, kuid katkelise pinge, vool ja võimsus on tal väga väikesed. Kasutamisel erandjuhtumeil: plahvatusmootorites süüteks, väikeste röntgenaparaatide toiteks jne.

#### 40. Transformaator.

Transformaatorit kasutatakse vahelduvvoolu pinge ümbermuutmiseks, s. o. suurendamiseks või vähendamiseks.

Ehitusskeem on näidatud joon. 18 c. Kinnisel raudsüdamikul on kaks mähist. Ühte (primaar-) mähisesse vahelduvvoolu juhtides tekib rauas vahelduv magnetiväli, mis teises (sekundaar-) mähises samuti vahelduvpinge indutseerib.

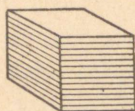
Kinnise raudsüdamiku tõttu, on sidetegur  $K$  ligi 1, s. o. kõik primaarmähise poolt indutseeritud magneti tungjooned löikavad ka sekundaarmähist ning seetõttu indutseeritud pinged suhtuvad teineteisele nagu vastavad keerdude arvud.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

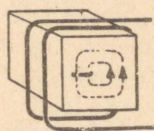
kus  $U_1$  — primaarmähise pinge,  $U_2$  — sekundaarmähise pinge,  $w_1$  ja  $w_2$  — vastavad keerdude arvud. Kui näiteks sekundaarmähises on kerde 5 korda enam kui primaarmähises, on ka pinge 5 korda kõrgem.

#### 41. Pöörivoolud.

Elektrimasinais, transformaatoreis jne. asetatakse mähised, tugevamate magnetiväljade saamiseks, raudsüdamekele. Seejuures indutseerub elektromotoorne jõud mitte üksnes mähiseis, vaid ka raudsüdamikus ja teistes metallist masinaosades, kui nad asetsevad muutuva tugevusega magnetväljas.



Ülaltähendatud elektromotoorse jõu tõttu tekivad voolud liiguvad metallosades ringi (joon. 20); neid nimetatakse pööriv- ehk Foucoult' (loe fukoo) vooludeks.



Joon. 20.  
Pöörivoolud.

Pöörivoolud raiskavad energiat ja ajavad metallosad kuumaks. Nende vähendamiseks tehakse muutuvates magnetiväljades asuvad osad (dünamo ankrud, alternaatori staatorid, trafo südamikud jne.) üksikutest 0,3—0,5 mm, harvem kuni 1 mm paksustest lakiga või paberiga isoleeritud plekkidest.

Mõnikord, eriti transformaatoreite juures, kasutatakse raudplekki siliitsiumilisandusega (legeeritud plekk), millel magnetiline juhtivus on võrdne, elektriline takistus aga suurem kui harilikul plekil ja seetõttu pöörivoolud on vähemad. Vahelduvas magnetiväljas läheb pidevalt osa energiat pöörivoolude ja hüstereseis tõttu rauas kaotsi.

Nende kadude suurus on antud allpool tabelis nr. 2.

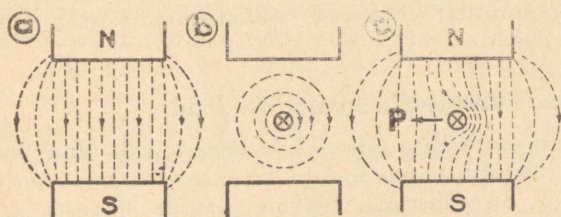
Tabel nr. 2. Kadu wattides 1 kg raua kohta 50 per/sek. juures.

B	Dünamoplekk			Legeeritud plekk	
	0,35 mm	0,5 mm	1 mm	0,35 mm	0,5 mm
5 000	0,7	0,84	1,87	0,35	0,58
10 000	2,36	3,05	6,8	1,24	2,0
15 000	5,3	7,4	16,5	3,0	5,0

## V. Vooluga juhe magnetiväljas (elektrodünaamilised jõud).

### 42. Liikumise tekitamine.

Kui paigalseisvasse magnetivälja asetada juhe (analoogiliselt joon. 14) ning viimasest juhtida läbi elektrivool, mõjub juhtmele mehaniline tung, mis püüab teda panna liikuma magneti tungjoonte suunale risti. Voolu mõjul tekib juhtme ümber magnetiväli (joon. 21 b), mis koos paigalseisva väljaga annab resulteeriva välja (joon. 21 c). Viimasel on tungjooned paremal pool juhet kokku surutud; püüdes lühemaks ja sirgemaks tõmbuda, suruvad nad juhtme vasakule (joonisel 21 liigub vool eest tahapoole; ristiga märgitakse noole saba, punktiga — noole teravikku). Jõu P suurus oleneb voolutugevusest (J), juhtme pikkusest magnetiväljas (l) ja magnetivoo tihedusest (B).



Joon. 21. Vooluga juhe magnetiväljas.

$$P = 10 \cdot J \cdot l \cdot B \text{ (düüni)} = \text{ca } 0,01 \cdot J \cdot l \cdot B \text{ (grammi)}.$$

J — vool (A), l — juhtme pikkus (cm),

B — magnetivoo tihedus (gaussi).

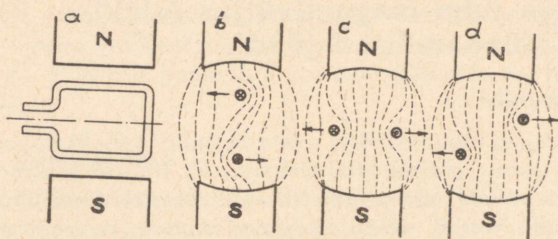
Liikumise suund määratakse Flemmingu vasaku käe reeglga: hoides vasaku käe peopesa vastu N-poolust ja väljasirutatud sõrmed voolu suunas, näitab põial liikumise suunda.

### 43. Traadikeerd magnetiväljas.

Asub magnetiväljas sirge juhtme asemel traadikeerd (joon. 22), saame sirgjoonelise liikumise asemel pöörlemise. Traadi keerd teeb poolpöoret ja jääb siis neutraalvöös seisma (joon. 22 c). Hoo tõttu üle neutraalvöö läinud keerule (joon. 22 d) mõjuvad elektrodünaamilised jõud liikumisele vastupidises suunas.

Selleks, et alalist pöörlemist saada, tuleb keeru asetsedes neutraalvööl voolu suunda muuta. See saavutatakse joonisel 16-b näidatud kollektori abil.

Jõu suurendamiseks võib ühe keeru asemel võtta mitmest keerust koosneva mähise — sektsiooni. Et ühtlasemalt mõjuvat jõudu saa-



Joon. 22. Traadi  
keerdmagnetiväljas.

da ning vooluallika otsesidet neutraalvool vältida, võetakse lamelle ja mähiseid paarkümmend või enam.

Märkus: Pöörlemist võib seletada ka järgmiselt: mähisel tekiavad voolu mõjul N- ja S-poolused; kuna ühenimelised poolused tõukuvad, isenimelised tõmbuvad, hakkab mähis magnetide vastastikusel mõjul pöörlema.

Ülaltoodud põhimõttele töötavad alalisvoolumootorid ning voolumootorid.

#### 44. Liikumise kiirus. Vastuelektromotoorne jõud.

Voolu mõjul magnetiväljas edasiliikuv juhe löikab omakorda magneti tungjooni, mistõttu temas indutseeritakse elektromotoorne jõud  $E$ . Tekkinud  $E$  on välisringis olevale pingele  $U$  vastu suunatud.

Mida suurema kiiruse saavutab juhe, seda vähemaks jääb juhtmes voolutugevus.

$$J = (U - E) : R \quad (A),$$

kus:  $U$  — juhtme klemmipinge (võrgupinge) ( $V$ ),

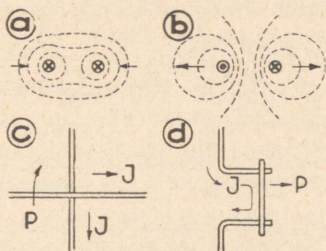
$E$  — juhtmes indutseeritud vastuelektromotoorne jõud ( $V$ ),

$R$  — juhtme takistus ( $\Omega$ ).

Voolu vähenemisega väheneb ühtlasi aga edasitõukav jõud.

#### 45. Vooluga juhtmete vastastikune mõju.

Kaks paralleelset juhet ühesuunaliste vooludega, juhtmete ümber tekkinud magneti tungjoonte mõjul, tõmbuvad (joon. 23 a), isesuunaliste vooludega — tõukuvad. Ristiasetatud juhtmed pöörduvad paralleelseks. Asetsevad kaks juhet paralleelselt ja ühendatakse nad omavahel kolmandaga (joon. 23 d), püüab viimane liikuda sellaselt, et voolu tee pikeneb. Voolude juures alla 1 000 A on ülal tähendatud elektrodünaamilised jõud niivõrd väikesed, et nendega ei arvestata.

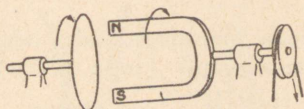


Joon. 23. Vooluga juhtmete vastastikune mõju.

Suuremad voolutugevused (näit. otseside suurjõujaamades üle paarituhande kW) võivad esile kutsuda õige tunduvaid mehaanilisi pingutusi ja isegi üksikosade purunemisi.

#### 46. Juhtmete kaasatõmbamine liikuva magnetivälja poolt.

Asetseb juhe risti edasiliikivas (joon. 14, noolte suunas) magnetiväljas ja on juhtme otsad väljaspool omavahel elektriliselt ühendatud, tõmbab magnetiväli juhtme endaga kaasa, sest viimasel tekib vastavalt p. 33-le elektrivool (aga teises suunas kui joon. 14, kuna juhe lõikab magneti tungjooni teises suunas) ning liikumine voolu mõjule vastavalt p. 42-le. Juhe liigub veidi aeglasemalt kui magnetiväli, kuna muidu vool ja edasilükkav jõud kaoksid. Kiiruste vahet nimetatakse libisemiseks. On juhtme otsad lahtised, tekib küll elektromotoorne jõud, mitte aga elektrivool ning liikumine.



Joon. 24. Metallšei kaasaõmbamine magneti poolt.

Kui teljel liikuva metallketta (näiteks vasest, alumiiniumist) ette asetada pöörlev magnet (joon. 24), paneb viimane ka ketta pöörlema, või ümberpöördult: paigal seistes pidurdab see ketta pöörlemist.

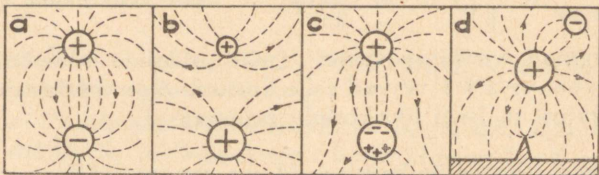
Ülaltoodud põhimõttele töötavad enamik vahelduvvoolumootoreid ning voolumõõtjaid.

## VI. Elektrostaatika.

#### 47. Elektriväli.

Elektrilised nähted ei piirdu ainult elektriseeritud kehaga, vaid levivad ka ümbruskonda; iga elektrilaenguga keha on ümbritsetud elektriväljaga.

Positiivse laenguga kehalt algavad elektri tungjooned, mis lõpevad mingil negatiivse laenguga kehal (joon. 25). Elektrivälja tugevus on proportsionaalne elektripingele voltides. Elektri tungjoonte nähtavakstegemine on võimalik vedelasse õlisse puistatud mingi kerge pulbri, näit. likopoodiumi või, kõrgete pingete juures, kergete paberiribade abil. Elektri tungjooned sarnanevad oma omadustelt väljavenitatud kummipaeltele — püüavad lühemaks

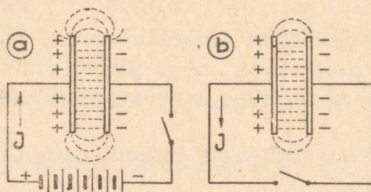


Joon. 25. Elektrivälja.

ning laiemaks muutuda. Sellest tingituna: a) Staatiline (paigalseisv) elekter asub ainult juhtmete välispinnal, kogunedes peamiselt teravikesse. b) Pingete vahe (gradients) elektroodide vahelises dielektrikumis on jaotatud ebahühtlaselt. c) Kaks isenimelise laenguga keha (pluss- ja miinus-) tõmbuvad, ühenimelise laenguga (+ ja + või - ja -) tõukuvad.

#### 48. Kondensaator.

Kui vooluallika klemmidega ühendada kaks lähestikku asetatud üksteisest isoleeritud metallplaati (joon. 26-a), täituvad



Joon. 26. Kondensaator.

plaadid elektriga ja tekib hetkeline laadimisvool. Väikese vahemaa tõttu on plaatidevaheline elektrivälj väga tugev. Seetõttu mahutab niisugune plaatide paar, nn. kondensaator, enesesse suure elektrihulga. Kahe plaadi asemel võib neid ka rohkem võtta. Kondensaatori plaate vooluallikast eraldades ja omavahel traadiga ühendades tekib viimases hetkeline tühjenemisvool (joon. 26-b).

#### 49. Kondensaatori mahtuvus C. Farad.

Kondensaatorisse mahtuv elektri hulk on seda suurem, mida kõrgem on pinge ja mida suurem on kondensaatori mahtuvus

$$Q = C \cdot U,$$

kus  $Q$  = elektri hulk kulonites (ampere sekundites),  $U$  = pinge (V),  $C$  = kondensaatori mahtuvus (faradites). Mahtuvus oleneb kondensaatori ehitusest, olles seda suurem, mida suurem on plaatide pind, mida väiksem on plaatide vahemaa ning mida suurem on plaatidevahelise isoleeraine dielektriline tegur.

Mahtuvuse ühikuks on farad (F); see on niisuguse kondensaatori mahtuvus, millesse 1 voldi juures mahub 1 kulon elektrit.

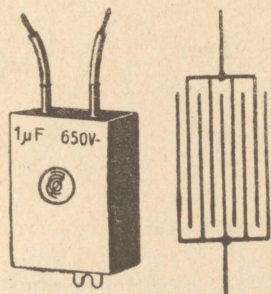
1 farad (F) = 1 000 000 mikrofaradit ( $\mu\text{F}$ ),

1  $\mu\text{F}$  = 900 000 sentimeetrit (cm),

1 cm on kuuli mahtuvus, kui viimase raadius on 1 cm.

#### 50. Kondensaatorid tehnikas.

Kasutamist leiavad kondensaatorid peamiselt side- ja raadio- tehnikas. Tugevvoolutehnikas harva, ainult erandjuhtumel: peamiselt faaside nihknurga kompenseerimiseks kõrgepinge toiteliinis ( $\cos \varphi$  parandamine), nihknurga tekitamiseks mõnedel ühefaasilistel mootoritel ja pulseeruva voolu tasandamiseks õgvendajais. Tarvitatavamad tüübid: Plokk-kondensaator — koosneb ülestikku- laotud tina- ning parafineeritud paberilehtedest (joon. 27).



Joon. 27. Kondensaatori ehitus.

Pöördkondensaator — ühe pooluse plaadid on kohtkindlad, teisel liikuvad, võimaldades mahtuvuse pidevat muutmist. Kondensaatorina mõjuvad ka kaablid ja, vähemal määral, pikad õhuliinid.

Väike osa elektrienergiast muundub kondensaatori dielektrikus soojuseks. Kõige vähemad on kaod gaasides, mispärast kaovabadel kondensaatoritel (raadio võnkeringides) on õhk dielektrikuks. Alalisvoolu kondensaator läbi ei lase. Vahelduvvoolu seda enam, mida suurem on mahtuvus ja voolu sagedus.

Samuti kui takistusigi, võib kondensaatoreid ühendada paralleelselt ja järjestikku. Paralleelühenduses mahtuvus suureneb

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

järjestikku — väheneb

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

kus  $C$  — üldine-,  $C_1, C_2$  jne. — osamahtuvus.

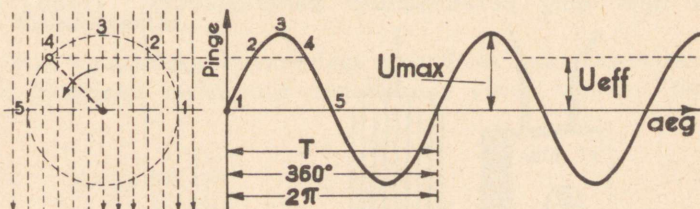
## VII. Vahelduvvoolu teooria.

### A. Ühefaasiline vool.

#### 51. Vahelduvvool.

Vahelduvvooluks nimetatakse voolu, mille pinget, ja seega ka voolu, muudab pidevalt oma suurust ja suunda; pinget ja voolutugevus kasvab nullist kuni teatud maksimumini ning kahaneb siis jälle nullini, korrates seejärel sama protsessi vastupidises suunas.

Harilikult toimub see paarkümmend või enam korda sekundis. Vahelduvvoolu saavutatakse peagu eranditult vahelduvvoolu-generaatorite (nn. alternaatorite) abil. Viimaste ehituskeem on näidatud joonisel 16-a ja -c.



Joon. 28. Vahelduvvool.

Kui voolutekitavad traadikeerud pöörlevad täiesti ühetasases homogeeneses magnetväljas, muutub pinget ja voolutugevus lainekujulise, nn. siinuse joone (joon. 28) järgi.

Tegelik muutumine on tihti veidi ebahütlasem — voolukõverik on moonutatud.

#### 52. Sagedus.

Üheks perioodiks nimetatakse aega, mille vältel pinget või voolu, alates nullist, omab üks kord positiivse ja üks kord nega-

tiivse väärtuse ning muutub jälle nulliks. Periood, täpsemalt perioodi väide, märgitakse  $T$ -ga. Perioodide arvu sekundis nimetatakse sageduseks (frekventsiks).

Sageduse mõõtühikuna on kasustusel:

1 per/s = 1 hertz = (1 cikkel),

1 kHz (kilohertz) = 1 000 per/s.

Sagedus märgitakse harilikult  $f$  või  $\sim$  abil.

$f = 1 : T$  ehk  $T = 1 : f$ .

Tehnikas kasutatavad sagedused on:

16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> per/s elektriraudteed.

25 „ raudteed ja el.-võrgud, peamiselt Ameerikas.

42 „ el.-võrgud, peamiselt Skandinaavias ja Itaalias.

50 „ el.-võrgud Euroopas üldiselt.

60 „ el.-võrgud Ameerikas üldiselt.

Kõrgemat sagedust, 100–10 000 per/s, kasutatakse tugevvoolutehnikas ainult erandjuhtudel ja eriotstarbeiks. Voolusid sagedusega 20 000 per/s ülespoole nimetatakse kõrgesagedusvooluks — kasutatakse peamiselt raadio- ja nõrkvoolutehnikas.

### 53. Efektívne pinge ja voolutugevus.

Kuna vahelduvvoolul voolutugevus pidevalt muutub, võetakse sellisena arvesse efektiivvoolu tugevus, s. o. voolutugevus, mis asetseb suuruselt nulli ja maksimaal- (tipp-) suuruse vahel ning annab samasuguse hulga tööd, näit. soojust, kui võrdse tugevusega alalisvool.

Efektívivool.

$$J_{\text{eff}} = \frac{J_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \frac{J_{\text{max}}}{1,41} = 0,71 J_{\text{max}} \quad (\text{A}).$$

Efektívpinge (joon. 28 —  $U_{\text{eff}}$ ) on see pinge, mis vooluahelas efektiivvoolu esile kutsub.

$$U_{\text{eff}} = 0,71 U_{\text{max}} \quad (\text{V}).$$

Voolu ja pinge suurusena võetakse vahelduvvoolu-tehnikas arvesse alati efektiivsuurused, samuti näitavad kõik mõõduriistad efektiivsuurusi; tippsuurustega tuleb arvestada harva, erandjuhtumil (näit. läbilöögi pingepuhul).

### 54. Aktívtakistus vahelduvvooluahelas.

Kui vahelduvvooluvõrku ühendada metalne takistus, näit. reostaat, läbib vahelduvvool viimast nagu alalisvoolgi. Voolu suurus on vastavalt Ohmi seadusele:

$$J = U : R$$

( $J$  ja  $U$  on efektiivsuurused). Vool muutub üheaegselt pingega. On pinge null, on ka vool null, on pinge maksimumini tõusnud, on ka voolusuurus maksimaalne; pinge ja voolu muutud ehk  $f a a s i d$  langevad kokku.

### 55. Induktiivne takistus vahelduvvooluahelas.

Sisaldab vooluvõrku lülitatud aparaat magnetivälju (mootorid, transformaatorid jne.) esineb vahelduvvoolu puhul pidev omainduktsiooni mõju, avaldades kahes nähtes:

1) Omainduktsioon mõjub nagu takistus. Induktiivse takistuse suurus:

$$X_L = 2\pi f L = 6,28 f L \text{ ja vool} \\ J = U : X_L = U : (6,28 \cdot f \cdot L),$$

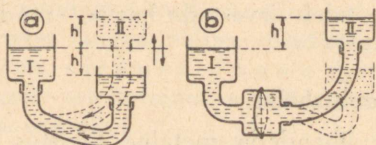
kus,  $X_L$ -induktiivne takistus ( $\Omega$ ),  $f$  — sagedus (per/s),  $L$  — induktiivsus (H),  $J$  — voolutugevus (A),  $U$  — pinge (V).

Alalisvoolu omainduktsioon ei takista, vahelduvat aga laseb seda halvemini läbi, mida suurem on sagedus.

2) Omainduktsioon tekitab pinge ja voolu vahelise nihknurga  $\varphi$  (fii). Momendil kui pinge suurus on maksimum, vool pole veel seda saavutanud ja jätkab kasvamist; on pinge langenud nullini, liigub vool veel endises suunas. Öeldakse: vool jääb pingest ajaliselt maha (põhjus vt. p. 35). Puhtinduktiivse takistuse juures vool jääb pingest maha  $1/4$  perioodi võrra, s. o. nihknurk  $\varphi = 90^\circ$  (joon. 30-c).

Teatud induktiivsuse omab iga vahelduvvoolu aparaat ja voolu ahel. Otseselt kasutatakse induktiivset takistust paispooli (drosseli, kägikatsa) näol eeltakistusena, kõrgesageduse võnkeringides jne.

Paispool kujutab endast mähist, milline asetseb kinnisel raudsüdamikul, kesk- ja kõrgesagedusvoolu puhul lahtisel raudsüdamikul või on rauata. Ehitus näidatud joonistel 13 ja 17.



Joon. 29. Hüdrauliline mudel omainduktsiooni ja kondensaatori mõjust.

Omainduktsiooni mõju selgitamiseks võib tuua näite mehaanikast: kui kaks nõu kummivoolikuga ühendada (joon. 29 a) ja teist nõu kiiresti üles-alla liigutada, siis tekib vahelduv veevool;

voolamine ei lõpe sel hetkel, kui kõrguste vahe  $h$  nulliks on muutunud, vaid hoo tõttu voolab vesi veel mõni aeg nagu vastu mäge edasi.

## 56. Kondensaator vahelduvvoolu ahelas.

Alalisvool kondensaatorist läbi ei pääse, vahelduvvoolu laseb kondensaator läbi seda enam, mida suurem on ta mahtuvus ja vahelduvvoolu sagedus.

Kondensaatori takistus:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$J = U : X_c = U : \frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f C U,$$

kusjuures:

$X_c$  — mahtvuslik takistus ( $\Omega$ ),

$f$  — sagedus (per/s),

$C$  — mahtuvus (F),

$J$  — kondensaatorit läbiv vool (A),

$U$  — pinge (V).

Kondensaatori mõju võrreldes induktiivsusega on vastupidine; kuna omainduktsiooni juures vool jäi maha pingest  $1/4$  perioodi võrra, tõttab ta siin  $1/4$  perioodi võrra ette; voolu ja pinge vahel on nihkenurk  $= -90^\circ$ ; on pinge tippsuuruseni kasvanud, on ka kondensaator täis laaditud ning vool nullini langenud ja hakkab pinge langema, hakkab vool vastupidises suunas kasvama, kondensaator tühjeneb, andes energia vooluallikasse tagasi.

Ülaltoodu selgituseks võib tuua analoogia mehaanikast: on kaks veenõu omavahel toruga ühendatud, kusjuures ühendustoru on suletud elastilise, kummist vaheseinaga (joon. 29 b) — ei lase säärane toru ühesuunalist, küll aga vahelduvat voolu läbi; seejuures ei pääse vesi otsekohe ühest nõust teise, samuti nagu elekter ei pääse otsekohe läbi kondensaatori dielektrikumi — toimub ainult veehulkade nihkumine edasi-tagasi.

## 57. Näiv- (liit-) takistus — impedants.

Sisaldab mingi aparaat korraga aktiivset ja induktiivset takistust või on mõlemad järjestikku — on üldine resulteeriv takistus, nn. näivtakistus, mõlema osataktuse geomeetriline summa, mis on alati väiksem nende aritmeetilisest summast:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

kusjuures:  $Z =$  näivtakistus (impedants) ( $\Omega$ ),  $R =$  aktiivne takistus,  $X_L =$  induktiivne takistus.

Ülaltoodu kehtib ka kondensaatori kohta.

On aktiivne takistus  $R$ , induktiivne takistus  $X_L$  ja mahtuvuslik takistus  $X_C$  järjestikku — on näivtakistus (impedants):

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2};$$

$X_L$ -i ja  $X_C$ -i nimetatakse ka reaktiivtakistusteks (reaktants).

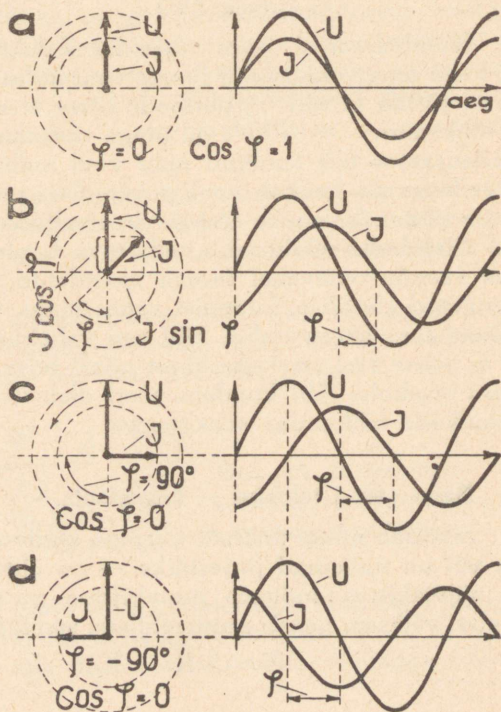
## 58. Vektordiagramm.

Piltlikuma ülevaate pinge ja voolu vahekorras annavad joonisel 30 toodud vektor- ja siinussoidaal-diagrammid.

Pingevektori  $U$  asend vastab elektromotoorset jõudu tekitava traadikeeru asetusele magnetiväljas (joon. 16 a ja 28).

Traadi või viimast kujutava vektori pöörlemisel tekib laineliselt muutuv vool.

Aktiivkoormuse juures langevad  $U$ - ja  $J$ -vektorid kokku (joon. 30 a). Induktiivsel koormusel jääb vooluvektor pingest maha (joon. 30 b ja c). Mahtuvusliku juures nihkub vool ette (joon. 30 d).



Joon. 30. Vektordiagrammid.

- a) aktiiv-,
- b) poolinduktiiv-,
- c) induktiiv-,
- d) mahtuvusliku koormuse juures.

## 59. Vahelduvvoolu võimsus.

Aktiivkoormusel (hõõglampid, küttekehad jne.) on vahelduvvoolu võimsus sama mis alalisvoolulgi (vt. p. 16).

$$N = U \cdot J,$$

kus  $N$  — võimsus ( $W$ ),  $U$  — pinge ( $V$ ),  $J$  — voolutugevus ( $A$ ).

Reaktiivkoormusel (mootorid, paispoolid, kondensaatorid jne.) esineb faasinihe; vooluallikas saadab energiat elektri- voolu näol aparati, kuid järgmisel hetkel saadab aparat sellest osa uuesti vooluallikasse tagasi (vt. p. 55 ja 56), ning seda suurema osa, mida suurem on nihkenurk  $\varphi$ . Puhtreaktiivsel koormusel on nihkenurk  $90^\circ$ , sel juhul annab aparat saadud energia veerand- perioodi hiljem tervikuna tagasi.

Vooluahelasse asetatud ampermeeter näitab ainult voolu suu- rust, olenemata sellest, kas voolu energia täielikult aparadis ära kasutatakse või saadetakse tervikuna vooluallikasse tagasi.

Korrutis pingest ja voolust annab pildi ainult üldisest läbivoo- lanud võimsusest, mida nimetatakse näivvõimsuseks ja mõõdetakse voltamprites ( $VA$ ) või kilovoltamprites ( $kVA$ ).

$$\text{Näivvõimsus } N_z = U \cdot J \quad (VA).$$

Aparadi poolt tegelikult tarvitatud aktiivvõimsuse (tegev- võimsuse) määramiseks tuleb näivvõimsust korrutada veel võim- susteguriga ehk  $\cos \varphi$ -ga (koosinus fii-ga).

$$\text{Aktiivvõimsus } N = U \cdot J \cdot \cos \varphi \quad (W, kW).$$

## 60. Võimsustegur.

Võimsustegur  $\cos \varphi$  näitab suhet wattmeetriga mõõdetava aktiivvõimsuse ja volt- ning ampermeetriga määratava näivvõim- suse vahel.

$$\cos \varphi = \frac{N}{U \cdot J}.$$

$\cos \varphi$  suurus asub 0 ja 1 vahel, olenedes voolutarvitaja iseloomust (viimase induktiivsusest või mahtuvusest).

$\cos \varphi$  suurus on:

hõõglampidel, küttekehadel ja reostaatidel	1
vahelduvvoolu asünkroonmootoritel:	
täiskoormusel, suurtel (100 kW) . . .	0,85—0,9
—, —, väikestel (1 kW) . . .	0,65—0,85
vahelduvvoolumootoritel tühjalt . . . . .	0,1 —0,5
transformaatoritel tühjalt ja paispoolidel .	0,1

Mida väiksem on  $\cos \varphi$ , seda suurem tuleb võrdse võimsuse juures voolutugevus, viimase suurenemisega suurenevad ühtlasi aga kaod ning pingelangus; samuti tulevad alternaatorid, transformatorid ja liinid valida vastavalt voolu suurusele tugevamad, olenemata tarvitusest kW-des.

Tabel nr. 3. Voolusuuruse olenevus võimsustegurist.

$\cos \varphi$ Nihkenurk $\varphi^\circ$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Näiv (tegelik) vool J	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Aktiivvool, J. $\cos \varphi$	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Reaktiivvool, J. $\sin \varphi$	0	43	60	70	80	86	92	95	98	99	100

### 61. Vahelduvvoolu töö (energia).

Vooluallika poolt väljaantud või aparadi poolt tarvitatud elektrilise töö (energia) leidmiseks tuleb võimsust korrutada ajaga:

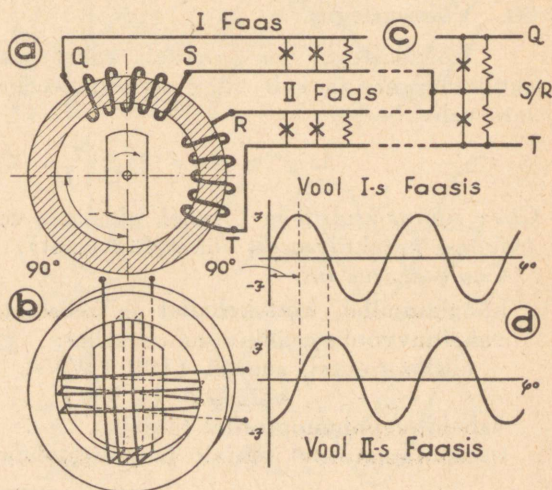
$$A = N \cdot t = U \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot t \text{ (Wh või kWh);}$$

mõõtühikud on samad, mis alalisvoolulgi (vt. p. 17).

### B. Mitmefaasilised voolud.

#### 62. Kahefaasiline vool.

Kui vahelduvvoolu masinale asetada kaks ühesugust mähist, kuid  $90^\circ$  nurga all (joon. 31), tekib mõlemas vahelduvvool,



Joon. 31. Kahefaasiline vool.

võrdse pingega ja sagedusega, kuid voolu muutud ei toimu üheaegselt. On vool esimeses mähises null — on ta teises maksimaalne ja ümberpöördukt. Taolisi seotud vooluringe nimetatakse faasideks. Kahefaasilisel voolul on faasidevaheline nihkenurk  $90^\circ$ . Joonisel 31 a on kujutatud ülevaatlikkuse mõttes nn. ringmähis. Tegelikult kasutatakse vahelduvvoolumasinais joonisel 31 b skeemiliselt kujutatud trummelmähist, mis võimaldab mähiste- ja magnetiväljade paremat kasutamist.

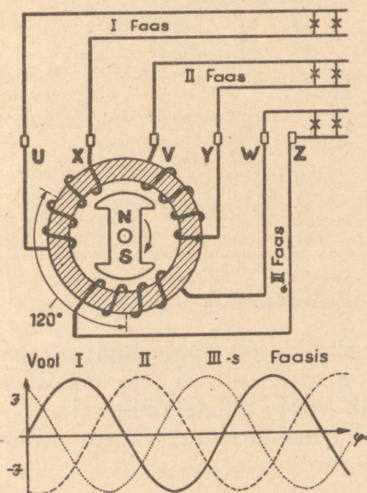
Kahefaasilisest masinast väljub neli juhet. Voolu juhtimisel kaugemale võib juhtmete arvu vähendamiseks kaks juhet kokku liita — tekib liidetud kahefaasiline vool (joon. 31 c).

Liitpinge kahe äärmise juhtme vahel:  $U = \sqrt{2} \cdot u = 1,41 u$ ; liitvoolu suurus keskmises juhtmes mõlema faasi ühtlasel koormusel on  $J = \sqrt{2} \cdot i = 1,41 i$ , kus  $u$  ja  $i$  on ühe faasi pinge ning vool.

Kahefaasilisi vooluvõrke enam ei ehitata.

### 63. Kolmefaasiline vool — keerdvool.

Kahe mähise asemel võidakse masinasse asetada kolm, neli või enam mähist, sellele vastavalt saab kolme-, nelja- jne. faasilist voolu. Üldisel tarvilusel on ainult kolmefaasiline ehk keerdvool (joon. 32). Liitmata keerdvool omab kuus juhet; üksikuid faase kokku liites saab juhtmete arvu vähendada kuni kolmeni. Liitmise viise on kaks: täht- ja kolmnurklülitus.



Joon. 32. Kolmefaasiline vool.

a) Tähtlülitus — kõik faasimähiste lõpud või algused ühendatakse omavahel kokku nn. nullpunkti. Vooluringe moodustavad kolm faasi- (liini-) juhet (joon. 33-RST) ja nulljuhe. Koormust võib asetada kõigi kolme faasijuhtme vahele või soovikohaselt mõne faasijuhtme ja nulljuhtme vahele.

On kõik kolm faasi ühtlaselt koormatud, siis on voolude summa null, s. o. nulljuhtmes puudub vool ja nulljuhtme võib sel juhul ära jätta või asendada peenemaga.

Tähtühenduse korral voolab läbi masina faasimähise niisama suur vool kui välisliiniski, liitpinge kahe faasi- (liini-) juhtme vahel on aga kõrgem.

$$J = i,$$

$$U = \sqrt{3} \cdot u = 1,73 u,$$

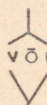
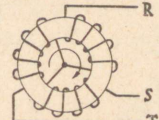
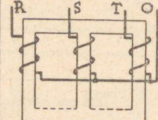
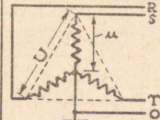
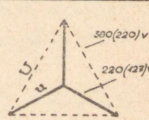
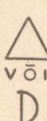
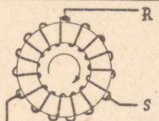
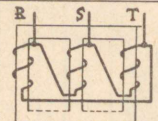
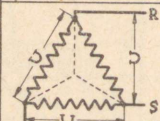
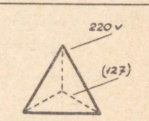
kusjuures:  $i$  on vool masina ühes faasimähises (tähtvool).

$J$  — vool liinijuhtmeis (liitvool).

$u$  — pinge ühe faasimähise otste vahel (tähtpinge), s. o. faasijuhtme ja nulljuhtme vahel.

$U$  — liitpinge, pinge kahe faasijuhtme vahel.

b) Kolmnurklülitus. Ühe mähise lõpp ühendatakse järgmise mähise algusega (joon. 33). Liitepunktidest viiakse välja kolm faasi- (liini-) juhet.

NIMETUS	MÄRK	L Ü L I T U S S K E E M			VEKTOR DIAGRAMM
		MASINATEL	TRAFODEL	LIHTSUSTUD	
TÄHT					
KOLM- NURK (DELTA)					

Joon. 33. Kolmefaasilise voolu liitmine.

Mähised kujutavad siin kinnist vooluringi; et aga kõigi kolme mähise pingete summa on alati null, ei teki mähistes omavahelist ringvoolu ja masin annab voolu ainult välisahelasse.

Koormus lülitakse faasijuhtmete vahele kolmnurgas või, erandjuhul, ka tähes.

Kolmnurkühenduse korral pinge ei muutu, liitvool (liinivool) on suurem faasivoolust.

$$J = \sqrt{3} \cdot i = 1,73 i,$$

$$U = u.$$

Näide: Joonisel 32 toodud masina faasipinge, klemmide U X vahel, on 220 V; vool maksimaalselt 25 A. Leida liitpinge ja -vool. Kolmnurkühenduse korral on välisahela pinge 220 V; vool  $J = 25 \cdot 1,73 = 43,25$  amp.

Tähtühenduse korral on välisahela pinge  $U = 220 \cdot 1,73 = 380$  V, vool  $J = 25$  amp.

#### 64. Keerdvoolu võimsus ja töö.

Liitmata keerdvoolu korral on tegemist kolme iseseisva vahelduvvooluga; ühtlasel koormusel on üldine võimsus

$$N = 3 \cdot i \cdot u \cos \varphi.$$

Liidetud keerdvoolul

$$N = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cos \varphi = 3 \cdot i \cdot u \cdot \cos \varphi,$$

kusjuures:  $N$  – võimsus (W),

$i$  – vool ühes faasimähises (A),

$u$  – pinge ühes faasis (V),

$J$  – liitvool faasijuhtmes (A),

$U$  – liitpinge kahe faasijuhtme vahel (V).

Elektri töö leidmiseks tuleb üldist võimsust korrutada ajaga, analoogiliselt p. 17 toodule.

$$A = N \cdot t = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot t \quad (\text{Ws, kWh}).$$

Näide 1: Keerdvoolu liinipinge (kahe faasijuhtme vahel)  $U = 500$  V. Vool ühes juhtmes  $J = 82$  amp.

Ühtlase koormuse korral kõigis faasides ja  $\cos \varphi = 1$  juures (lambid koormuseks) on ülekantav võimsus

$$N = \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 82 = 71930 \text{ W} = \text{ca } 72 \text{ kW},$$

olenemata vooluallika lülitusest.

Näide 2: Keerdvoolu generaatori tähtpinge on 220 V, tähtvool 25 amp. Võrgu  $\cos \varphi$  on 1. Leida võimsus.

Kolmnurkühenduse korral on võimsus

$$N = \sqrt{3} \cdot 43,25 \text{ A} \cdot 220 \text{ V} = 15,500 \text{ W} = 15,5 \text{ kW}.$$

Tähtühenduse korral on võimsus

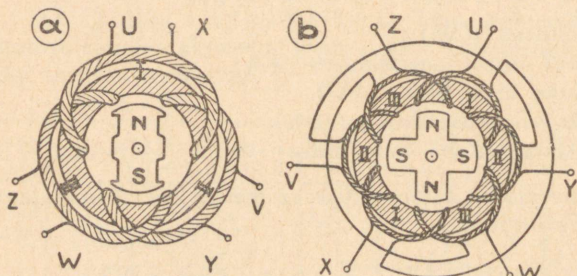
$$N = \sqrt{3} \cdot 25 \text{ A} \cdot 380 \text{ V} = 15,5 \text{ kW}.$$

Liitmata keerdvoolu korral on võimsus  
 $N = 3 \cdot 25 \text{ A} \cdot 220 \text{ V} = 15,5 \text{ kW}$ .

Näide 3: Keerdvoolu generaator andis välisvõrku 15,5 kW 4 tunni jooksul. Leida väljaantud elektri töö.  
 $A = 15,5 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h} = 62 \text{ kWh}$ .

## 65. Keerlev magnetiväli.

Kuj joonisel 31 kujutatud kahefaasiline masin ühendada kahefaasilise vahelduvvoolu võrguga sellaselt, et üks faas oleks ühenduses esimese, teine teise mähisega, tekib masinas keerlev magnetiväli: teatud hetkel läbib vool ainult ühte mähist, indutseerides vastava asetusega magneti N- ja S-poolused. Veerandperioodi vältel kahaneb vool esimeses mähises nullini, kasvades teises maksimumini; seetõttu nihkuvad ka magnetipoolused  $90^\circ$  võrra edasi. Sama kordub ka iga järgmise veerandperioodi kestusel, mistõttu magnetiväli teeb iga perioodi vältel ühe ringi, kuigi raudkere ja mähised ise seisavad paigal. Keerdvoolu juures on nähe samasugune. Joonistel 31, 32 ja 34 a kujutatud mähise juures omab



Joon. 34. Kahe- ja neljapooliline keerdvoolumasin.

keerdväli ainult ühe pooluste-paari, tehes 50 per/s puhul 3 000 tiiru minutis. Suurendades mähiste-sektsioonide arvu kahe-, kolme- jne. kordselt ja vähendades samal ajal viimaste sammu (vahet) (joon. 34 b), saame kahe pooluse asemel neli, kuus jne., kusjuures tiirude arv vastavalt langeb, olles 50 per/s juures 1 500, 1 000, 750 jne.

Kui keerdvälja asetada metalltrummel, hakkab viimane vastavalt p. 46-le väljaga kaasa keerlema. Tähtendatud nähet kasutatakse vahelduvvoolu-induktsioonmootorites.

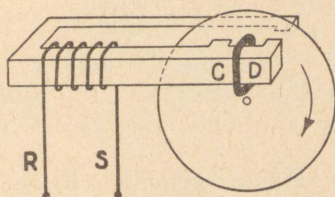
## 66. Keerdvälja tekitamine ühefaasilise vooluga.

Keerlevaid magnetivälju tekitavad ainult mitmefaasilised voolud.

Mootor töötab ka ühe faasiga, kuid ei lähe sel kombel ise käima. Käivitamiseks ehitatakse mootor kahefaasilisena, kusjuures abifaasi lastakse vool läbi kondensaatori või paispooli (vt. p. 55 ja 56). Õige pisikestes mootorites (toaventilaatorid) on abifaas otsesides; mootor töötab analoogiliselt p. 67 toodule.

## 67. Nihkevälj.

Kui vahelduvvoolu magnetipoolustele asetada üks või enam isoleeritud vaskringi (joon. 35), indutseeritakse viimaseis elektri- voolud. Tähenatud sekundaarvoolud omakorda tekitavad pooluste otsas magnetivälju, millised peavälja suhtes hilinevad kuni veerand perioodi; seetõttu saame pooluse otsas C-st D-sse liikuva magnetilise nihkevälja, mille tagajärjel hakkab keerlema pooluste vahele võllile asetatud alumiinium- või vaskketas.



Joon. 35. Magneti nihkevälja tekitamine.

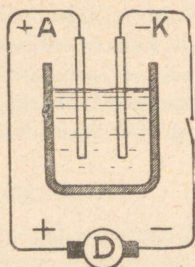
Ülaltoodud põhimõtet kasutatakse pisikestes reguleermootorites (releed, leeklambid) ja mõõduriistades (voolulugejad, ampermeetrid jne.); jõumootorina seda menetlust väikese kasuteguri tõttu ei kasutata.

## VIII. Elektrokeemia.

### 68. Elektrolüüs.

Kui soola-, happe- või leelilahusesse vees, piirituses jne. asetada kaks elektroodi (joon. 36) ning viimaste kaudu lasta läbi lahuse alalist elektrivoolu, laguneb lahustunud aine oma algosadesse: pluss elektroodile koguneb metall või vesinik, miinusele metallid või mittemetalne jääk.

Säärast lahutusprotsessi nimetatakse elektrolüüsiks, vedelikku — elektrolüüdiks, positiivset elektroodi — anoodiks, negatiivset — katoodiks ning nõu vedeliku ja elektroodidega lahutus- kärjeks või -vanniks.



Joon. 36. Elektrolüüs.

Mõnikord ühinevad eraldunud ained omakorda veega või elektrootidega, tekitades nii uusi aineid. Sellast nähet nimetatakse sekundaarprotsessiks.

### 69. Elektrolüüsi seadused.

Elektrivoolu toimel eraldunud aine hulk

$$G \text{ (milligrammides)} = b \cdot t \cdot i = b \cdot Q,$$

kus  $t$  = aeg sekundites,  $i$  = voolutugevus (A),  $Q$  = elektri hulk kulonites ja  $b$  elektrokeemiline ekvivalent, s. o. ühe ampri poolt ühe sek. jooksul eraldatud ainehulk milligrammides.

Tabel nr. 4. Elektrokeemiline ekvivalent.

Aine		b mg	Aine		b mg
<b>Katoodil</b>			Tsink	Zn	0,338
Vesinik	H	0,0103	Vask	Cu	0,328
Hõbe	Ag	1,118	<b>Anoodil</b>		
Kuld	Au	0,681	Hapnik	O	0,082
Nikkel	Ni	0,304	Kloor	Cl	0,367
Raud	Fe	0,291	Lämmastik	N	0,048

### 70. Elektrolüüsi teooria.

Lahustumisel segunevad aine molekulid vedeliku omadega. Elektrolüütides lõhestab vedelik seejuures ühe osa lahustunud aine molekulidest veel kaheks osaks — iooniks, milledest üks on positiivse, teine negatiivse laenguga. Nähet nimetatakse dissotsiatsiooni või ka ionisatsiooniks. Osa ioone ühineb kokku sattudes omavahel, teine osa eraldub uuesti ja üldine vahekord, dissotsiatsiooni-

kraad jääb muutmatuks, oleneb ühel ja samal lahusel ainult temperatuurist ja lahuse tihedusest.

Elektroodidevahelises elektriväljas hakkavad positiivsed ioonid külgetõmbejõu mõjul liikuma (vt. p. 47) katoodi, negatiivsed — anoodi suunas, viimase juures neutraliseerudes ja sadenedes gaasina, vedelikuna või kõva aina.

## 71. Elektrolüüdi eritakistus.

Elektrolütide eritakistus on lahuse keemilisest koostisest, kontsentratsioonist ja temperatuurist — vähenedes viimase tõusmisel. Mõningate elektrolütide eritakistus oom/cm-tes (1 cm<sup>2</sup> pinnaga elektrodid 1 cm kaugusel) 18° C juures on antud alljärgnevas tabelis nr. 5.

Tabel nr. 5. Elektrolütide eritakistus oom/cm-tes 18 C juures.

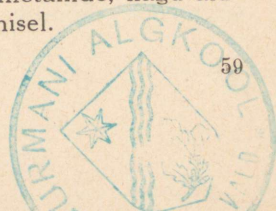
Vett kaalu j. % Lisanduse %	95 5	90 10	80 20	70 30	60 40	40 60	20 80
Väävelhape . . . . .	3,8	2,5	1,5	1,3	1,5	2,7	9
Salpeeterhape . . . . .	3,9	2,2	1,4	1,28	1,37	1,95	3,7
Soolhape . . . . .	2,5	1,6	1,3	1,5	1,95	—	—
Harilik seebikivi . . . . .	5,8	3,2	2,0	1,85	2,2	—	—
Kaalium-seebikivi . . . . .	5,12	3,22	3	5	8,7	—	—
Söögisool . . . . .	15	7,66	5,16	—	—	—	—
Vasevitriool . . . . .	53	31	20	—	—	—	—
Salmiak . . . . .	10,6	5,6	3	—	—	—	—

Pinge kasvamisel kasvab vool võrdeliselt viimasele (joon. 37-a), kui mõned muud kõrvalmõjud, nagu polarisatsioon jne., olukorda ei muuda.

## 72. Elektrolüüs kuumades sulatistes.

Elektrolüüs on läbiviidav mitte üksnes lahustes, vaid ka kuumades sulatistes. Kui näit. kuiv kloorina (PbCl<sub>2</sub>) tiiglis sulaks ajada ning sulatisele elektrivool läbi lasta — koguneb tiigli põhja sula tina.

Sulatiste elektrolüüsi kasutatakse paljude metallide, nagu alumiiniumi, magneesiumi, kaaliumi jne. saavutamisel.



### 73. Polariseerimine.

Vahelduvvoolule mõjub ainult elektrolüüdi takistus. Alalisvoolu puhul tuleb takistusele lisaks tihti veel vastuelektromotoorne jõud. Kui näit. vasevitrioli lahusesse asetada plaatina- või söe-elektroodid — koguneb katoodile voolu mõjul vasekiht; tekib galvaani element, mille üheks elektroodiks on vask, teiseks plaatina (süsi). Väävelhappelahuses on elektroodideks vesiniku ja hapniku kihid elektroodidel jne. Kärg omab poolused — polariseerub. Kärge läbibistav vool  $J = (U - E) : R$ , kus  $R$  — takistus,  $U$  — välispinge ja  $E$  — polariseerimise vastuelektromotoorne jõud, harilikult  $1 \div 2,5$  V.

### 74. Elektrolüüs tehnikas.

Tähtsamad menetlused elektrolüüsi kasutamisel on:

a) *Galvanostegia* — metallide katmine elektrolüütiliselt mõne teise metalli, harilikult nikkel-, kuld-, hõbe- või kroomkihiga.

b) *Galvanoplastika* — reljeefsete kujutuste ja kooptate valmistamine. Plastilisest ainest (parafiin-, gutaperts- jne.) vorm kaetakse grafiitoolmuga ja siis metallkihiga.

c) *Metallide* (peamiselt vase, tsingi, inglistina ja nikli) *rafinerimine*. Voolu abil kantakse puhastatav metall anoodilt katoodile, kuna lisandused seejuures langevad põhja.

d) *Mitmesuguste ainete saavutamine* ärtsidest ja teistest toorainetest. Toimub kas märjalt: näit. vesinikku ja hapnikku saadakse veest, seebikivi ja kloori söögisoolast jne., või kuumalt: alumiiniumi savimullast, magneesiumi karnaliidist, naatriumi kuumuses sulatatud seebikivist jne.

### 75. Elektriline süntees.

Kahe aine segust elektrivoolu läbi lastes võivad need mõnel juhul tekkiva kuumuse tõttu ühineda, andes nii uue aine. Kasutatakse: kaltsium-karbiidi valmistamisel lubjast ja söest, karborundi valmistamisel liivast ja söest, lämmastikuhappe ja salpeetri valmistamisel õhust jne.

## IX. Elektrivool dielektrikus.

### 76. Sissejuhatus.

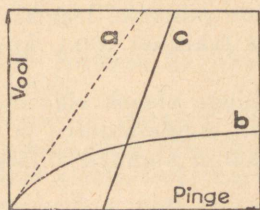
Normaalselt on gaasid ja tühjus absoluutsed isolaatorid, mis võivad aga teatud tingimustel muutuda elektrivoolu juhtideks. Selleks on vaja, et elektrodide vaheline ruumala oleks ioniseeritud, s. o. sisaldaks elektrilaengut kandvaid molekule või aatomeid — ioone.

Ioniseerumise võivad esile kutsuda kas elektrivälja ise või mitmesugused välised põhjused: sellele vastavalt on ka voolamine kas iseseisev või mõjustatud.

### 77. Mõjustatud voolamine gaasides.

Mitmesugused välised asjaolud nagu röntgeni-, raadiumi- ning ultraviolettkiired, kõrge kuumus jne. võivad lõhestada üksikuid gaasiaatome, mille tagajärjel tekivad kaks osakest — iooni, milledest üks (eraldunud elektron või elektronid) on negatiivse, teine — aatomi ülejäänud osa positiivse laenguga.

Elektrodidevahelises elektriväljas liiguvad esimesed anoodi, teised katoodi suunas — gaas juhib elektrit. Nähtus on ligikaudu analoogne elektrolüüsile (vt. p. 70).



Joon. 37. Elektrivoolamiste karakteristika.

Üldiselt on sellane vool väga nõrk ja piirdub mikroampritega. Pinge tõstmisel ei kasva vool piiramatult, vaid saavutab piiri küllastusvoolu näol, kus kõik tekkinud ioonid elektrodideni lenduvad (joon. 37-b).

### 78. Elektrivool vaakuumtorus.

Täielikus tühjuses puuduvad ioniseerimiseks vajalikud gaasiaatomid ning ühtlasi ka juhtivus. Olukord muutub elektrodide kuumutamisel. Hõõgkuum keha paiskab endast välja elektrone, olles ümbritsetud negatiivselt laetud elektronide pilvega.

Elektriväljas liiguvad viimased katoodilt anoodile, vaakuumtoru muutub voolu juhtivaks.

On ainult üks elektrood kuum, töötab toru õgvendusventiilina, s. o. laseb voolu läbi ainult ühes suunas: külmast anoodist kuuma katoodi (arvestatud on nn. positiivse voolusuunaga, elektronide liikumise suund on vastupidine). Voolusuuruse piiriks on maksimaalne elektronide hulk (emissioon), mida hõõgkeha ajaühikus anda suudab. Kasutatakse hõõgkatoodiga vaakuumtorusid õgvendajatena ning lisaelektroodidega varustatult side-, heli- ja raadiotehnikas.

## 79. Iseseisev elektrivoolamine gaasides normaalarõhu juures.

Elekter võib gaasi läbistada helktule, sädeme või leegi kujul.

a) On pinge kõrge (üle paari kV), kuid elektroodide vahemaa suur, tekib teravikel ja peenemal traatidel sinakas helktuli. Teravikes on elektriväli kõige tugevam (vt. p. 47) ning juhul, kui viimane ületab teatud piiri (õhul 29,9 kV/cm kohta), tekib gaasi-osakeste lõhenemine — ioniseerumine.

Helktuli võib esineda koroona-kaona kõrgepingetuhtmeil; koroona vältimiseks tuleb juhtmed 100 kV puhul võtta näit. mitte alla 70—95 mm<sup>2</sup>. Kõrgemate pingete juures, 150 kV ülespoole, kasutatakse vase kokkuhoiu mõttes õõnsaid, torukujulisi trosse.

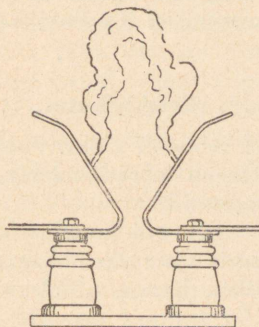
b) On elektroodide vahemaa väiksem või pinge kõrgem — tekib säde. Tugeva vooluallika juures (suur dünamo, transformator) muutub kord läbilöönud säde püsivaks leegiks; langeb aga pinge nõrga vooluallika või suure takistuse tõttu, kustub säde — lüües pinge tõusmisel uuesti läbi.

Sädeme läbilöögiks vajalik pinge oleneb elektroodide kujust ja kaugusest ning gaasi koosseisust, temperatuurist ja rõhust. Õhu kohta (normaalarõhu juures) on antud andmed alljärgnevas tabelis nr. 6.

Tabel nr. 6. Sädepinge.

Ef. pinge KV Tipp- (läbilöögi-) pinge	0,5	1	2	4	6	10	15	20	30	50
	0,7	1,4	2,8	5,6	8,4	14	21	28	49	70
	Elektroodide vahemaa mm-tes									
Õhus, teravike vahel . . .	—	1	2	5	8	14	22	30	—	—
Õhus, kuulide vahel r=5 mm	0,05	0,2	0,55	1,5	2	4,0	6,5	10	19	—
Õhus, plaatide vahel . . .	—	—	—	—	2	3,5	6	8,5	15	—
Mineraalõlis plaatide vahel	—	—	—	—	1	1,8	3	4	8	22
Portselanis " "	—	—	—	—	—	0,55	1	1,4	2,3	4,5
Vilgukivis " "	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,6	1,3

c) Püsiv leek (volta kaar) tekib elektrodide vahel, kui need saavad küllaldaselt energiat. Leegi süütamiseks on vaja kas eelnevat sädet, elektrodide ajutist ühendamist peene läbisulava metallkiuga või surutakse elektrodid kokku ja tõmmatakse siis eemale. Leegi temperatuur on ca  $3\,000\div 4\,000^{\circ}\text{C}$ . Leek koosneb kuumuse tõttu ioniseerunud gaasist ja elektrodide materjali aurudest. Leegi alalhoiduks vajalik minimaalpinge oleneb voolu liigist, elektrodide materjalist, kaugusest ja ümbritsevast õhkkonnast. Minimaalpinge (kui leegi pikkus on väga väike) on: alalisvoolul õhus süte vahel 39 V, vase vahel 24 V; vahelduval — süte vahel 21 V, metallide vahel tavaliselt  $600\div 1000\text{ V}$ .



Joon. 38. Kõrgepinge leek sarvelektrodide vahel.

Leeki võib tekitada ka õhutühjas klaastorus, elavhõbedast elektrodide vahel.

Voolu suurus on piiratud ainuüksi vooluallika võimsusega ja toiteliini tugevusega ning võib tõusta tuhandesse ampritesse.

Kasutatakse elektri leeki keevitamisel, sulatusahjudes, valgustuseks ja elavhõbeda auruga töötavais õgvendajais.

## 80. Elektri voolamine hõredas õhkkonnas.

Gaasis leidub alati üksikuid ioone, millised elektriväljas liikuma hakkavad. Liikudes põrkavad nad vastu neutraalseid aatome. On tõuge küllalt tugev, lõhestub aatom kaheks uueks ioniks. Tugeva tõuke jaoks on vaja kas väga kõrget pinget või pikka teed hoovõtmiseks. Viimane on saavutatav osalise aatomite kõrvaldamisega, s. o. osalise gaasi väljapumpamisega.

Kui otstel elektrodidega varustatud klaastorus õhu tihedust välja pumbates hõrendada, hakkab elekter ca 40 mm õhurõhu juures helkiva vöödina läbi toru voolama. Voolu suurus on normaalselt kasutatavais helktorudes kuni mõnikümmend milliamprit, pinge paar tuhat volti. Minimaalpinge oleneb gaasist ja katoodide

materjalist: plaatina vesinikus: 340 V, kaalium lämmastikus: 210 V jne. On hõrendus väga suur (alla 0,01 mm), kaob helk-tuli; kõrgete pingete puhul läbistavad katoodi juurest eraldunud elektronid toru sirge katoodkiirte vihuna. Viimaseid võib saavu-tada ka täielises tühjuses — katoodi kuumutades. Kasutatakse ka-toodkiiri mõnedes mõõduriistades (näit. katood-ostsillograafis).

Langevad katoodkiired mingile kõvale kehale, näit. toru klaasseinale või selleks eraldi asetatud metallplaadile, hakkab vii-mane erilisi nähtamatuid röntgeni- (x-) kiiri välja saatma.

Viimased on, nagu nähtav valguski, elektromagnetilised lai-ned, kuid väga väikese lainepikkusega. Need kiired on võimelised tungima läbi kõvade kehade, mõjuvad fotoplaadile ja mõnedes ai-netes kutsuvad esile helkimise. Kasutamisel kindlate kehade läbi-valgustamisel.

### **81. Elektrivool vedelikes ja kõvades dielektrikutes.**

Vedelaid ja kõvu isoleeraineid läbistab elektrivool analoogi-liselt gaasidele pime- ja helklahendusena ja sädeme ning leegi ku-jul; ainult vajalikud pinged on kõrgemad.

Kõvas aines jätab säde järele augu või kanali. Viimane on tihti, näit. portelanis, nii väike, et seda on raske märgata.

Leek tekib suure jahtumise tõttu harva, ainult väga suurte võimsuste ja pingete juures.

Läbilööki kergendavad suur kuumus ja isoleeraines leiduvad õhumullid, niiskus ning muud lisandid. Pealeselle on läbilöögiks vaja veel teatud energiahulka ning aega — tihti kuni paar minutit.

## **X. Muutuvad voolud.**

### **82. Üldmõisted.**

Püsivaks loetakse säärast voolu, kus voolu suurus ei muutu. Vahelduv vool loetakse püsivaks, kui tema tippsuurus on muutu-mata.

Voolu sisse- ja väljalülitamised, takistuse järsk muutumine jne. muudavad elektrilist tasakaalu, tekib ajutiselt kestev voolu-suuruse muutumine, kuni uue tasakaalu saavutamiseni.

### **83. Vooluahel ilma mahtuvuseta.**

a) *Alalisvool*. Sisselülitamisel kasvab vool teatud aja jooksul oma täie suuruseni (vt. p. 35). Väljalülitamisel tekib kontak-tide vahel leek, kusjuures leegi tekkimist soodustab väljalüli-ta-

misel tekkiv ekstrapinge. Kontaktide kaugenemisel leek pikeneb, suureneb leegi takistus ja väheneb vool kuni ta lõpuks katkeb.

Et leek lüliti kontakte ära ei põletaks, tehakse alalisvoolu-lülitid järsk- (moment-) väljalülitamisega (vedrukontaktide abil); ekstrapinge suureneb seetõttu veidi, kuid lülitusseadisele see ei ole ohtlik.

b) **Vahelduvvool.** Sisselülitamisel esinevad voolu muuted on sõltuvad koormuse iseloomust ja sisselülitamise hetkest. Satutakse sisselülitamisel voolukõveriku nullpunkti (s. o. aktiivkoormusel pingekõveriku nullpunkti, puht induktiivsel koormusel pingekõveriku tippsuurusele) ei teki mingit ekstrapinget. Vool hakkab nullist alates voolama harilikus korras. Toimub sisselülitamine voolukõveriku maksimumi momendil (s. o. ajal kus kestev vool, kui ta juba olemas oleks, omaks tippsuuruse) tekib, nagu alalisvoolugi puhul, välisvoolule vastupidine ekstrapinge, kuid pool perioodi hiljem mõlemate suunad ühtuvad, mille tõttu tekib voolutõuge, mis võib ületada püsiva voolu kuni kaks korda.

Raudsüdame korral (näit. trafodel) võib voolutõuget suurendada või vähendada veel eelmisel väljalülitamisel rauda jäänud remanensmagnetism, peale selle kutsub sisselülitamisel tekkiv tugevam magnetivoog esile raua küllastumise, mis omakorda tunduvalt suurendab magnetiseerimisvoolu, nii et esimene voolutõuge võib olla püsivast voolust 10 ja enam korda suurem.

Vastuabinõuna varustatakse lülitid mõnikord paarisajast kW-st ülespoole eeltakistuskontaktidega.

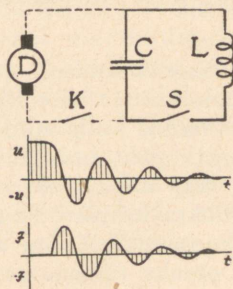
Toimub katkestus voolu nullpunktis — leeki ei teki. Toimub katkestus voolu tippsuuruse ajal, tekib küll leek, kuid kustub  $\frac{1}{4}$  perioodi hiljem. Madalpinge juures (alla 600 V) kustunud leek metallkontaktide vahel kontaktide kiire jahtumise tõttu tavaliselt enam ei sütti, seepärast ei vaja vahelduvvoolu madalpingelülitid momentväljalülitamist. On leegi alalhoidmine vajalik (kaarleekkeevitus) tuleb elektroodid katta erilise, jahtumist takistava ja leegi püsimist soodustava ainega.

Kõrgepinge juures tekib püsiv leek; viimase kustutamiseks on tarvilisel kiirlülitus ja leegikustutaja õli, surutud õhu jne. näol.

#### **84. Vooluahel induktiivsusega ja mahtuvusega.**

Kui kondensaator C (joon. 39) asetada järjestikku pooli L-ga, täis laadida ning siis tühjendada üle sädevahe või lüliti S, tekib ahelas CL elektri võnkumine. Kondensaatori tühjenemisvool tekitab L-is magnetivälja, mis kokku tõmbudes laeb kondensaatori omakorda vastupidises suunas täis jne.

Nõnda võngub elekter, harilikult palju kordi, edasi-tagasi. Võnkumine vaibub juhtme takistuse tõttu. Kogu see protsess kestab harilikult mõned mikrosekundid. Nähtus on analoogiline vee võnkumisele U-kujulises torus.



Joon. 39. Võnkering.

Kondensaatori üle omainduktsioonpooli täislaadimisel on nähtus analoogiline, kusjuures kondensaatori klemmidel tekivad perioodiliselt kuni kahekordsed ülepinged.

Võnkumise sagedus oleneb C ja L suurusest; ühe perioodi kestvus  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  (s), kus L — henrides ja C — faradites.

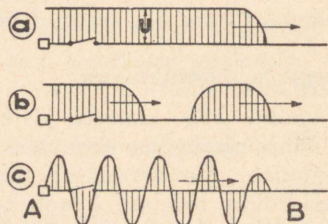
Normaalselt ettetulevad sagedused kõiguvad 10 000—100 000 000 per/s piires.

On takistus väga suur, ei teki võnkumist — tühjenemine toimub aperioidiliselt.

Ülaltoodud võnkumisi kasutatakse peamiselt raadiotehnikas. Pealeselle esinevad nad veel kõrgepingeliinides, tekitades ülepingeid.

## 85. Elektri levimine mööda pikki juhtmeid.

a) Alalisvool. Sisselülitamisel liigub elekter rändlainena mööda juhet edasi kuni lõpuni (joon. 40-a). Toimus sisselülitamine katkendiliselt — tekib rida rändlaineid (joon. 40-b). Liikumise kiirus on vaskjuhtmeis ca 170 000 km/sek.



Joon. 40. Elektri levimine pikkades juhtmetes.

b) Madalsagedusvoolu juures ületab lainepikkus  $l = 170\,000 : 50 \text{ per/s} = 3\,400 \text{ km}$  kõik praktikas ettetulevad liini pikkused, juhtmele mahub ainult murdosa ühest lainest; voolu käik on analoogiline alalisvoolule.

c) Kõrgesageduse juures liiguvad lained pidevalt, vooluallikast liini lõpuni (joon. 40-c), kusjuures iga periood annab ühe laine.

Vastu takistust (lahtise liini lõppu, paispooli jne.) joosnud rändlaine põrkab tagasi, analoogiliselt veelainele, tekitades ülepingeid ning vahelduvvoolu puhul nn. seisvaid laineid.

## 86. Elektromagnetilised lained.

Elektrivoolu võnkumise mõjul tekivad umbruses vahelduvad elektri- ja magnetiväljad, mis levivad lainete näol ja valguse kiirusega ( $300\,000 \text{ km/sek}$ ) umbruskonda. Nähtust võiks ligikaudu võrrelda lainete tekkimisega vaikselt tiigi pinnal vettevisatud kivi mõjul.

Läbi dielektrikute (õhk, portselan, tühjus jne.) liiguvad elektromagnetilised lained takistamatult; suurtest metallpindadest põrkuvad nad tagasi, vähematest libisevad mööda. Metallosades nad tekitavad elektrivoolu. Elektromagnetilised lained on kasutamisel raadiotehnikas.

---



Lk.

M ä r k e d

Lk.

M ä r k e d

Hind Kr. 1.50

A-11937