6060 Svensson

F = 1 | 1 000 000 µF

µF : 0,000 001 F | 1000 nF

nF 0,000 000 001 F | 1000 pF

µµF = pF 0,000 000 000 001 F



STOCKHOLMS STADS YRKESSKOLORS BOKSERIE

Nr 8

ELEKTRICITETSLÄRA

Del I.

LIKSTRÖM

AV

J. BOLANDER

Ingenjör. Lärare vid Stockholms stads skolor för yrkesundervisning

Tryckt hos
Victor Pettersons Bokindustri Aktiebolag
Stockholm 1953

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
Förord	5
Grundbegrepp	7
Uppgifter	10
De elektriska grundenheterna	11
Måttenheter för resistans, strömstyrka och spänning	11
Uppgifter	14
Serie- och parallellkoppling av motstånd	16
Uppgifter	21
Vätskemotstånd	23
Isolationsresistans	24
Uppgifter	25
Temperaturens inverkan på resistansen	25
Uppgifter	25
Strömstyrka	26
Strömtäthet	28
Uppgifter	30
Spänning	32
Uppgifter	33
Koppling av element	34
Uppgifter	37
Strömförgreningar	38
Uppgifter	39
Ohms lag	39
Uppgifter	43
Emk och polspänning	49
Uppgifter	55
Spänningsfall	56
Uppgifter	57

Uppmätning av resistans 60
Uppmätning av isolationsresistans 64
Elektrisk effekt 68
Uppgifter 70
Elektrisk energi 73
Uppgifter 79
Verkningsgrad 81
Uppgifter 82
Magnetism och elektromagnetism 84
Elekromagneter 90
Magnetiseringskurvor 92
Uppgifter 95
Kraften på en strömförande ledare i ett magnetfält 98
Principen för elektriska motorer 100
Elektrodynamik 101
Elektrisk induktion 101
Ömsesidig induktion och självinduktion 108
Uppgifter 112
Elektriska laddningar, kondensatorer 113
Uppgifter 116
Elektriska ackumulatorer 117
Övningsuppgifter 122

FÖRORD TILL ANDRA UPPLAGAN.

I nu föreliggande upplaga av Elektricitetslära del I ha vidtagits vissa förändringar. Då det rationaliserade enhetssystemet (MKS-systemet) nu har blivit allmänt genomfört vid våra tekniska skolor torde det vara väl motiverat att även vid yrkesskolorna samma enhetssystem kommer till användning. I denna upplaga har jag därför sökt tillämpa MKS-systemet, vilket speciellt de yngre av lärarna äro väl förtrogna med. Vid en övergångsperiod som denna är det emellertid behövligt att för vissa storheter angiva sambandet mellan enheterna i det äldre tekniska måttsystemet och MKS-systemet.

Grundenheterna för MKS-systemet är

1 *meter* = längden av arkivmetern

1 *kilogram* = massan av arkivkilogrammet

1 *sekund* = $\frac{1}{24 \cdot 60 \cdot 60}$ av medelsoldygnet.

Enheten för kraft är *newton* (N) som är den kraft som ger massan 1 kilogram accelerationen 1 m/s². Då 1 kilopond (kp) är den kraft, som ger massan 1 kilogram tyngdaccelerationen (g = 9,81m/s²), så blir tydligen 1 N = $\frac{1}{9{,}81}$ kp = 0,102 kp.

En del figurer ha omritats för att mera överensstämma med de grafiska symboler som utarbetats av SEK.

Stockholm i februari 1953.

J. BOLANDER

ELEKTRICITETSLÄRA.

Grundbegrepp.

Ni har i skolan vid flera tillfällen fått höra, att alla kroppar, vi ha omkring oss, äro sammansatta av ett eller flera *grundämnen*. Nog vet ni också, att de minsta delarna av grundämnena kallas *atomer*, och att dessa atomer befinna sig i ständiga, mycket snabba rörelser. Om kroppen uppvärmes, ökas atomernas hastighet ytterligare, så att det intryck, man har av att en kropp är varm, när man håller den i handen, är intet annat än atomernas stötar mot handen, som blivit intensivare.

Atomerna i sin tur äro sammansatta av smådelar. Gemensamt för alla atomer är, att de bestå av en mycket liten men oerhört tung massa, *atomkärna*, omkring vilken en eller flera *elektroner* kretsa (antalet är olika för olika grundämnen). Dessa elektroner, som jämfört med atomkärnan äro nära nog viktslösa, bestå av *negativ* elektricitet.

Vi skulle kunna likna elektronerna vid uppblåsta såpbubblor, som se rätt stora ut men helt försvinna, då de gå sönder. Eftersom elektronerna med stor hastighet kretsa omkring atomkärnan, torde man kunna anta, att de skulle avlägsna sig mer och mer ifrån denna. Men nu är emellertid atomkärnan laddad med *positiv* elektricitet och söker draga till sig elektronerna, varför dessa röra sig i bestämda banor enligt fig. 1. De elektroner, som befinna sig nära atomkärnan, utsättas för en större kraft än de, som befinna sig längre ifrån,

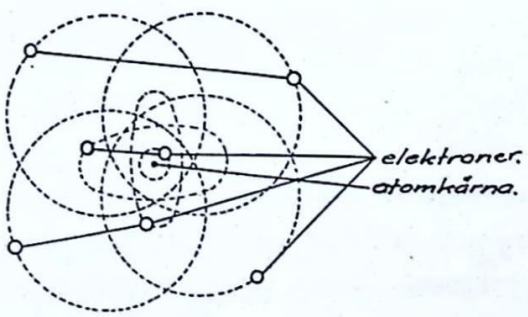


Fig. 1.

och den påverkan de längst bort belägna elektronerna röna från atomkärnan är rätt obetydlig. Dessa elektroner kunna på grund av en yttre påverkan slitas ifrån sin atomkärna och som *fria elektroner* strömma genom ämnet. De ämnen, där sådana fria elektroner i större antal kunna erhållas, kallas *ledare*. I andra ämnen äro elektronerna mera fast förankrade vid atomkärnan och antalet fria elektroner rätt fåtaligt; dessa ämnen kallas *oledare* eller *isolatorer*. Exempel på ledare äro *metaller*, *kol*, *saltlösningar*, *syror* och *baser*, under det att *porslin*, *glimmer*, *gummi*, *oljor*, *hartser* m. m. äga isolerande egenskaper. Både ledare och isolatorer ha inom elektrotekniken stor betydelse, men det är endast ett fåtal material, som uppfylla nutida fordringar, så att de fått en mera vidsträckt användning.

Elektronströmningen i ledarna kalla vi *elektrisk ström*, och en elektrisk strömkällas uppgift är att sätta de fria elektronerna i rörelse på samma sätt som en vattenpump driver fram vattnet i en rörledning.

För att ni lättare skall förstå de fria elektronernas rörelse i den elektriska strömkretsen, jämföra vi denna med vattenströmningen i ett värmeledningssystem. Det i värmepannan, fig. 2 a, uppvärmda vattnet stiger, på grund av att det blir specifikt lättare, upp i stigarröret, samtidigt som lika mycket avkylt vatten rinner tillbaka i återgångsröret. Hela vattenmassan befinner sig alltså i rörelse, och det uppvärmda vattnet avger största delen av sin värmemängd i värmeelementet, under det att en mindre del av värmet upptages av rörledningen. En viss uppfattning av förloppet erhåller man, om temperaturen uppmätes på olika ställen i systemet. Dessa temperaturer äro införda i fig. 2 a; i värmepannan uppvärmes vattnet från + 20° till + 70° dvs. 50°. Denna tem-

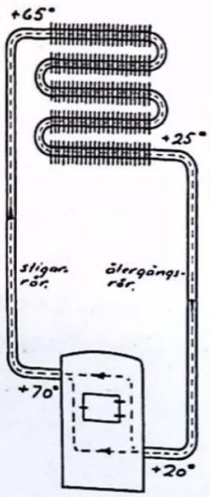


Fig. 2 a.

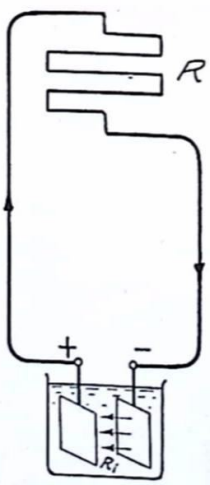


Fig. 2 b.

peratur svarar mot 40° temperaturfall i värmeelementet och 5° i vardera stigar- och återgångsröret. Värmepannan är sålunda "strömkällan", och värmeelementet den "belastning" som är inkopplad i systemet.

Liknande förlopp kunna påvisas i den elektriska strömkretsen fig. 2 b. Strömkällan kan här vara ett galvaniskt element, ett elektriskt batteri, en generator eller dylikt och belastningen eller motståndet (R i fig. 2 b) kan bestå av glödlampor, värmeapparater, elektriska motorer etc. Genom exempelvis kemiska processer i strömkällan uppkommer en *elektromotorisk* kraft (förkortat *emk*) eller *spänning*, vilken förmår driva en elektrisk ström genom den yttre kretsens ledningar och motstånd. Strömkällan har tvenne anslutningsklämmor till strömkällans *plus-* och *minuspol*. Vid minuspolen uppstår ett överskott av elektroner, som svarar mot ett lika stort underskott vid pluspolen. En ledande förbindelse mellan polerna gör det möjligt för elektronerna att gå från minus- till pluspolen och därigenom åstadkomma en utjämning. Strömkällans uppgift är att tvinga elektronerna, som återkomma till pluspolen, att gå vidare till minuspolen i likhet med det inkommande avkylda vattnet i värmepannan som genom uppvärmning tvingas att stiga uppåt. Den emk, som alstras i strömkällan, kommer huvudsakligen belastningen till godo. En mindre del får täcka det *spänningsfall*, som uppstår i ledningarna och i själva strömkällan. Samma ström passerar fram genom hela kretsen, och man har antagit strömmens riktning *från strömkällans pluspol genom den yttre kretsen tillbaka till minuspolen.** Inuti strömkällan går strömmen från minuspolen till pluspolen. Strömriktningen kan ni lätt bestämma med hjälp av fuktat polpapper, så som visas i fig. 3. Strömmen orsakar en sönderdelning av de ämnen, varmed polpapperet är impregnerat. Den ström-

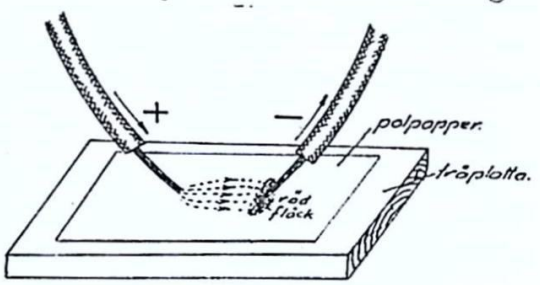


Fig. 3.

* Enligt denna regel går alltså den elektriska strömmen åt motsatt håll mot elektronerna. Regeln för strömriktningen fastställdes långt innan man kände till elektronernas egenskaper.

förande ledare, som orsakar rödfärgning på polpapperet, är ansluten till strömkällans *minuspol.*

Uppgifter.

1. Vilka egenskaper har a) atomkärnan b) elektronen?
2. Vilka ämnen är ledare resp. oledare: aluminium, bomull, fotogen, glas, grafit, kvicksilver, marmor, nickel, svavelsyra?
3. Under vilka förutsättningar uppstår en elektrisk ström?

De elektriska grundenheterna.

Måttenheter för resistans, strömstyrka och spänning.

Resistans. Då det erfordras en emk för att driva elektronerna genom en ledare, så har denna tydligen en egenskap som hindrar elektronerna att röra sig ohämmat. Denna egenskap hos materialet kallas *resistans.*

Vi ha i det föregående gjort jämförelse mellan vattenströmning i en rörledning och elektrisk ström i en ledare. Emellertid skulle vi kunna välja jämförelser också från andra områden. Våra gator och vägar äro ledare för trafikströmmen. Ju bredare vägen är, desto lättare har trafiken att komma fram. Ni vet, vilken skillnad det är att cykla på olika vägbanor. På en cementerad bana går det mycket lättare mot vad fallet är på en grusad eller lös väg. För att en väg skall bliva en så bra ledare för trafikströmmen som möjligt, gör man den kort — rätar ut kurvor — bred och med jämn och hård beläggning. På liknande sätt är det med de elektriska ledarna. En grov elektrisk ledare motsvarar här en bred väg. En jämn och slät vägbana är en ledare med liten resistans. Men även de bästa ledningsmaterial utöva en viss resistans mot den elektriska strömmen, liksom de ämnen, som gälla för isolatorer, alltid äga någon, om än obetydlig ledningsförmåga. En grov ledare har mindre resistans än en klen ledare av samma längd och material. Koppar är en bättre ledare än järn, så att en koppartråd har mindre resistans än en lika lång och grov järntråd. Slutligen har en lång tråd större resistans än en kort men i övrigt likadan tråd.

Enheten för resistansen är *ohm* (förkortat Ω = grekiska bokstaven "omega") och *ett ohm är resistansen i en kvicksilverpelare av 1,063 meters längd och 1 mm² tvärsnitt vid 0° C.*

Med denna enhet som jämförelse beräknar man resistansen i andra material. Som ni vet, har olika material olika specifik vikt, vilket är detsamma som vikten av motsvarande volymsenhet. Olika ledare har

olika *resistivitet*, vilket motsvaras av *resistansen i en tråd av 1,0 meters längd och 1,0 mm² tvärsnitt.*

Följande tabell visar resistiviteten ϱ (grekiska bokstaven "rå") för några av de i elektrotekniken använda materialen vid + 15° temperatur.

Silver	$\varrho = 0{,}016$	Mässing	$\varrho = 0{,}08$
Koppar	0,0175	Nysilver.....	0,37
Aluminium	0,029	Nickelin	0,43
Zink	0,062	Manganin	0,46
Stål, mjukt	0,13	Konstantan	0,49
Volfram	0,055	Kromnickel	1,0
Kol	10—100	Kanthal	1,4

Resistansen hos en ledare erhålles, om vi utgå ifrån att en tråd, som har

1	m	längd	och	1	mm²	area,	har	resistansen	ϱ ohm
2	»	»	»	1	»	»	»	»	$2 \cdot \varrho$ »
15	»	»	»	1	»	»	»	»	$15 \cdot \varrho$ »
l	»	»	»	1	»	»	»	»	$l \cdot \varrho$ »
l	»	»	»	2	»	»	»	»	$\frac{l \cdot \varrho}{2}$ »
l	»	»	»	6	»	»	»	»	$\frac{l \cdot \varrho}{6}$ »
l	»	»	»	a	»	»	»	»	$\frac{l \cdot \varrho}{a}$ »

Vi erhålla alltså

$$\textit{Resistansen i ohm} = \frac{\textit{längden i meter} \cdot \textit{resistiviteten}}{\textit{arean i kvadratmillimeter}}$$

eller som formel

$$R = \frac{l \cdot \varrho}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 1a*.}$$

* Av formel 1a kan följande uttryck härledas:

$$l = \frac{a \cdot R}{\varrho}; \quad \varrho = \frac{a \cdot R}{l}; \quad a = \frac{l \cdot \varrho}{R}.$$

Märk att bråkets täljare antingen är $a \cdot R$ eller $l \cdot \varrho$.

Mycket stora resistanser, exempelvis hos isolationsmaterial, uttryckas ofta i en större enhet, nämligen *megohm* (M Ω)

$$1\ \text{M}\,\Omega = 1\,000\,000\ \Omega.$$

En ledare med liten resistans har stor *ledningsförmåga* eller *konduktans;* är ledningsförmågan liten, så är resistansen i stället stor. Ledningsförmågan erhålles av det omvända (inverterade) värdet på resistansen, alltså

$$\text{Ledningsförmågan} = \frac{1}{\text{Resistansen}}$$

Betecknas ledningsförmågan med G, så blir

$$\boxed{G = \frac{1}{R}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 1b}$$

Mycket goda ledare, såsom koppar och aluminium, vilka hava mycket låga värden på resistiviteten, användas som ledningsmaterial för transport av elektrisk energi. Ledare med högre resistivitet utnyttjas som motståndsmaterial i regleringsapparater, värmeapparater etc.

De i elektrotekniken förekommande ledarna hava vanligen cylindrisk form (ledningstråd och kabel med cirkelformigt tvärsnitt), i enstaka fall prismatisk form (samlingsskenor och ankarledare med kvadratiskt eller rektangulärt tvärsnitt). Har ledarens tvärsnitt form av en cirkel (fig. 4) så erhålles arean (a) = ytan av tvärsnittet genom formeln

$$\boxed{a = \frac{3{,}14 \cdot d \cdot d}{4}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{Formel 2a}$$

$$(3{,}14 = \pi)$$



Fig. 4.

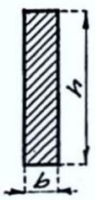


Fig. 5.

Är diametern d angiven i millimeter (mm) så blir arean a i kvadratmillimeter (mm²).

För ett rektangulärt tvärsnitt (fig. 5) beräknas arean genom formeln

$$\boxed{a = b \cdot h} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 2b}$$

Om arean skall erhållas i mm², måste b och h vara angivna i mm.

Ni kommer i det följande att få utföra en mängd räkneuppgifter. Dessa bör ni utföra efter ett visst schema, så att ni även framdeles

lätt kan följa beräkningens gång. Ett lämpligt schema är: 1) angiv de storheter, som äro kända i uppgiften, 2) skriv de formler som erfordras, 3) insätt de kända storheterna i formlerna, 4) utför räkningarna först sedan förkortningar och dylikt verkställts, 5) angiv tydligt resultatet och den enhet, som det skall uttryckas i.

Ni bör alltså behandla uppgifterna på följande sätt:

Exempel. Vilken resistans har en koppartråd av 180 m längd och 4 mm diameter?

$l = 180$ m. $\quad R = \dfrac{\varrho \cdot l}{a}$

$d = 4$ mm. $\quad a = \dfrac{3{,}14 \cdot d \cdot d}{4} \qquad a = \dfrac{3{,}14 \cdot 4 \cdot 4}{4} = 12{,}56$

$\varrho = 0{,}0175$

$$a = 12{,}56 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\overset{1{,}75}{\cancel{0{,}0175}} \cdot \overset{45}{\cancel{180}}}{\underset{314}{\cancel{12{,}56}}} = 0{,}25.$$

Svar: Resistansen = $0{,}25\ \Omega$.

Uppgifter.

4. En tråd med längden 3,5 m har resistansen 0,42 ohm. Vilken resistans har a) 1,5 m b) 7,5 m av samma tråd?
(Vägledning: Huru stor resistans har 1,0 m sådan tråd?)

5. En tråd med 1,5 mm² area har resistansen 0,021 ohm. Huru stor resistans har en lika lång tråd med arean a) 2,5 mm² b) 0,35 mm²?
(Vägledning: Huru stor resistans har en lika lång tråd med 1,0 mm² area?)

6. Resistansen i en tråd av 1 m längd och 1 mm² area är 0,5 ohm. Huru stor är resistansen i en tråd av samma material då a) längden är 3,2 m och arean 0,8 mm² b) längden 10,8 m och arean 0,45 mm²?
(Vägledning: Huru stor är ledarens resistivitet?)

7. Huru lång är den ledare som har resistansen a) 4,6 ohm b) 0,65 ohm, då en lika grov ledare av samma material med längden 1,7 m har resistansen 0,96 ohm?

(Vägledning: Huru lång ledare har resistansen 1,0 ohm?)

8 a. Beräkna och sätt in de uppgifter som saknas i följande tabell:

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8
l	320 m	65 m			100 m	3,6 m	54 m	1,063 m
a	4 mm²	1,5 mm²	2,5 mm²	0,4 mm²			0,3 mm²	1 mm²
ϱ	0,0175	0,13	0,06	0,49	0,029	1,0		
R			4,8 Ω	73,5 Ω	1,16 Ω	45 Ω	2,88 Ω	1 Ω

8 b. Av vilka material bestå ledarna uti ovanstående tabell?

9. En telegrafledning av mjukt stål med 4,5 mm diameter är 22 km lång. Hur stor är resistansen i en sådan tråd?

10. En kopparkabel (fig. 6) består av 7 enkla trådar, vardera med 1,71 mm diameter. Vilken resistans erhåller kabeln då längden är 450 m?



Fig. 6.

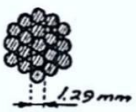


Fig. 7.

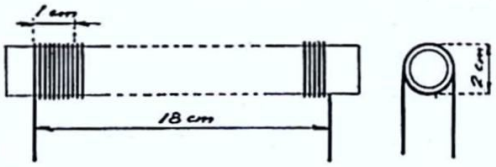


Fig. 8.

11. Ett strykjärnselement är lindat av kromnickelband som har en bredd av 0,8 mm och 0,1 mm tjocklek. Längden 8 m. Huru stor blir resistansen?

12. Ett med en amperemeter parallellkopplat motstånd, s. k. *shunt*, skall utföras av manganintråd med 1,80 mm diameter. Shuntens resistans skall vara 0,0152 ohm. Huru lång manganintråd erfordras?

13. Resistansen i en maskinlindning befanns vara 73,0 ohm och diametern på koppartråden 0,70 mm. Huru många meter tråd hade lindningen?

14. Ett fel har uppstått i en kraftledning. Genom mätningar vid kraftstationen konstaterades att resistansen i en ledning från kraftstationen till felstället var 2,14 ohm. Ledningen bestod av en 19-trådig kopparkabel (fig. 7), där varje tråd hade diametern 1,29 mm. Huru långt var det från kraftstationen till felstället?

15. Ett motståndselement är utfört av nysilvertråd, som är upplindad på ett porslinsrör med en stigning motsvarande 8 varv pr cm (fig. 8). Medeldiametern för varje lindningsvarv är 2 cm. Vilken area har tråden, om elementets resistans är 13,9 ohm?

16. För en koppartråd, försedd med dubbel bomullsomspinning, erhölls följande uppgifter.
Vikt: 4,76 kg pr 1 000 m. Resistans: 6,51 ohm pr kg.
Vilken area har tråden?

17. I en koltrådslampa är glödtrådens resistans i kallt tillstånd 750 ohm och längden 330 mm. Koltrådens resistivitet är 35. Vilken area har glödtråden?

18. Glödtråden hos en metalltrådslampa har diametern 0,014 mm och längden 735 mm. Lampans resistans i kallt tillstånd 270 ohm. Sök glödtrådens resistivitet! Vilket är glödtrådens material?

19. För att få konstaterat av vilket material ett motståndselement var utfört, uppmättes i en 236 mm lång bit av tråden resistansen, som var 0,727 ohm. Tråddiametern 0,45 mm. Vilket var materialet?

Serie- och parallellkoppling av motstånd.

Om ni har två eller flera motstånd, så kunna dessa förenas på olika sätt, så att motstånden giva intryck av att vara sammanhängande. Ett sådant system av motstånd kan ersättas av ett på visst sätt avpassat motstånd, vilket brukar kallas *ersättnings-* eller *kombinationsmotstånd*. Till en början vilja vi begränsa oss till de enkla sammansättningar av motstånd, som kallas *serie-* och *parallellkoppling*.

Seriekoppling. Motstånden med resistanserna R_1 och R_2 äro kopplade *efter* varandra (fig. 9). Hur stor resistans R skall det kombina-

tionsmotstånd hava, som vi skola koppla in mellan klämmornas A och D i stället för motstånden R_1 och R_2?

För att besvara denna fråga antaga vi, att motstånden äro utförda av ett material, vars resistivitet är lika med 1. Ett sådant material är kromnickel. Vidare tänka vi oss, att trådens tvärsnitt är 1 mm². Motståndet R_1 har trådlängden l_1 meter och motståndet R_2 längden l_2 meter.

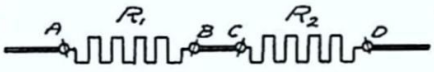


Fig. 9.

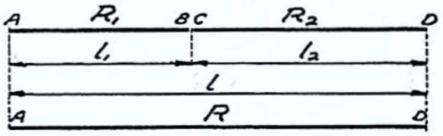


Fig. 10.

Formel 1 förenklas då till

$$R_1 = \frac{l_1 \cdot 1}{1}$$

eller

$$R_1 = l_1$$

vilket betyder att resistansen R_1 är lika många ohm som l_1 är meter.

På samma sätt erhålles

$$R_2 = l_2 \text{ och } R = l$$

då kombinationsmotståndet med resistansen R har trådlängden l meter.

I fig. 10 tänka vi oss motstånden som raka trådar, och dessa bliva tydligen seriekopplade om trådändarna B och C lödas tillsammans. Denna hoplödda tråd ABCD blir i elektriskt avseende lika med hela tråden AD. Resistansen i tråden AD blir alltså kombinationsmotståndets resistans R till motstånden R_1 och R_2.

Av fig. 10 ser ni, att

$$l = l_1 + l_2$$

och om ni ersätter längderna med respektive resistanser, så erhålles

$$R = R_1 + R_2$$

Om flera motstånd med resistanserna R_1, R_2 och R_3 etc. äro kopplade i serie, så blir kombinationsmotståndets resistans

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 3.}$$

Resistansen vid seriekoppling av motstånd blir lika med summan av resistanserna.

Parallellkoppling. Motstånden R_1 och R_2 äro kopplade *bredvid* varandra (fig. 11). På samma sätt som vid seriekoppling av motstånden tänka vi oss de parallellkopplade motstånden R_1 och R_2 tillverkade av kromnickel för vilket $\varrho = 1$. Dessutom välja vi ett sådant tvärsnitt a_1, att motståndstråden i R_1 blir 1 m lång och tvärsnittet a_2 så, att även tråden i R_2 blir 1 m.

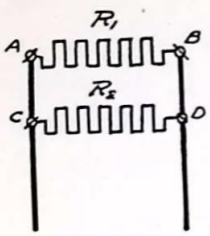


Fig. 11.

Enligt formel 1 blir tvärsnittet

$$a = \frac{l \cdot \varrho}{R}$$

Om l är 1 m och $\varrho = 1$, så blir

$$a_1 = \frac{1}{R_1} \text{ och } a_2 = \frac{1}{R_2}.$$

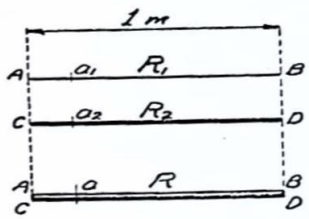


Fig. 12.

Om ni lägger trådarna intill varandra, så som visas i fig. 12, och löder tillsammans ändarna A och C respektive B och D, så äro trådarna tydligen parallellkopplade. Resistansen i denna sammansatta tråd är då även resistansen R av kombinationsmotståndet. För denna gäller att

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

Ni inser utan vidare, att tvärsnittet

$$a = a_1 + a_2$$

Insättes de värden, vi förut erhållit på a, a_1 och a_2, så erhålles

$$\boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 4a.}$$

Resistansernas inverterade värde har förut angivits som ledningsförmåga. Ovanstående formel anger, att *kombinationsmotståndet-ledningsförmåga G är lika med summan av de parallellkopplade motståndens ledningsförmågor* G_1, G_2 etc.

Alltså

$$\boxed{G = G_1 + G_2 + \ldots} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 4 b.}$$

Ni kan även direkt erhålla resistansen ur formeln

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 4c*.}$$

Resistansen av två parallellkopplade motstånd erhålles av resistansernas produkt dividerad med deras summa.

Hur skall ni göra, om flera motstånd t. ex. R_1, R_2, R_3 och R_4 äro parallellkopplade? Jo, först räknar ni ut resistansen för R_1 och R_2, då ni erhåller resistansen R_{12}, och sedan resistansen för R_3 och R_4, som blir R_{34}. För motstånden R_{12} och R_{34}, som också äro parallellkopplade, beräknas slutligen deras ersättningsresistans, som då även blir resistansen R för alla fyra motstånden.

Exempel: $R_1 = 4$ ohm, $R_2 = 6$ ohm, $R_3 = 12$ ohm och $R_4 = 18$ ohm.

$$R_{12} = \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} = 2{,}4 \text{ ohm.} \qquad R_{34} = \frac{12 \cdot 18}{12 + 18} = 7{,}2 \text{ ohm.}$$

$$R = \frac{2{,}4 \cdot 7{,}2}{2{,}4 + 7{,}2} = 1{,}8 \text{ ohm.}$$

Ersättningsresistansen för resistanserna 4, 6, 12 och 18 ohm är alltså 1,8 ohm, då motstånden parallellkopplas.

Någon gång kan ni behöva räkna ut, huru stor resistansen R_1 måste vara, om detta skall parallellkopplas med R_2, för att ersättningsresistansen skall bliva R. Av formeln 4a kunna vi erhålla

$$R_1 = \frac{R \cdot R_2}{R_2 - R} \quad \ldots\ldots\ldots \text{Formel 4d**.}$$

---

* Denna formel erhålles på följande sätt: I uttrycket $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ göra vi de båda sista bråken liknämniga. Vi få då $\frac{1}{R} = \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2} + \frac{R_1}{R_1 \cdot R_2}$. Då vi ha samma nämnare, kunna vi ha gemensamt bråkstreck. $\frac{1}{R} = \frac{R_1 + R_2}{R_2 \cdot R_1}$. När vi sedan vända på bråken, erhålles $\frac{R}{1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ eller $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

** Om vi i formeln $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ subtraherar $\frac{1}{R_2}$ på båda sidor erhålles $\frac{1}{R} - \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1}$ eller $\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_2}$. Sedan tillämpa vi samma metod som för formel 4 c då vi erhålla $R_1 = \frac{R \cdot R_2}{R_2 - R}$.

Märk: Ersättningsresistansen till seriekopplade motstånd är alltid större än den största av resistanserna; ersättningsresistansen till parallellkopplade motstånd är alltid mindre än den minsta av resistanserna. Seriekoppling kan alltså uppfattas som en ökning av längden; parallellkoppling däremot svarar mot en ökning av tvärsnittet.

En kombination av serie- och parallellkoppling är *blandad koppling*, för vilken minst tre motstånd erfordras. De kunna kopplas ihop enl. fig. 13, där R_1 och R_2 äro seriekopplade och R_3 parallellkopplad med dessa, eller enl. fig. 14, där R_1 och R_2 äro parallellkopplade och R_3 kopplad i serie. I båda fallen beräknas resistansen R_{12} till R_1 och R_2, och sedan har ni bara två motstånd R_{12} och R_3, för vilken ersättningsresistansen beräknas på vanligt sätt.

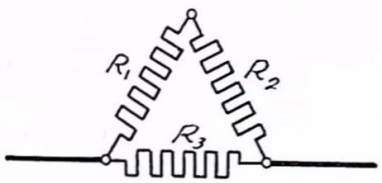


Fig. 13.

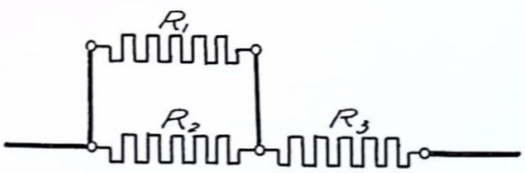


Fig. 14.

Exempel: $R_1 = 4$ ohm, $R_2 = 6$ ohm och $R_3 = 15$ ohm.

Äro motstånden kopplade enl. fig. 13 så är resistansen

$$R_{12} = 4 + 6 = 10 \text{ ohm} \ldots\ldots \text{(enl. formel 3)}$$

och ersättningsresistansen R för alla tre motstånden (R_{12} och R_3 äro parallellkopplade)

$$R = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6{,}0 \text{ ohm} \ldots\ldots \text{(enl. formel 4 c)}$$

Svar: För koppling enl. fig. 13 blir ersättningsresistansen 6,0 ohm.

Vid koppling av motstånden enl. fig. 14 blir resistansen

$$R_{12} = \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} = 2{,}4 \text{ ohm} \ldots\ldots \text{(enl. formel 4 c)}$$

och denna är i serie med $R_3 = 15$ ohm, varför

$$R = 2{,}4 + 15 = 17{,}4 \text{ ohm} \ldots\ldots \text{(enl. formel 3)}$$

Svar: För koppling enl. fig. 14 blir ersättningsresistansen 17,4 ohm.

Uppgifter

Till var och en av nedanstående fem uppgifter skall ni rita en figur med de förbindelselinjer, som erfordras, samt beakta att anslutningsklämmorna (+ och —) bliva de å figuren angivna.

20. Seriekoppla motstånden i fig. 15.

21. Parallellkoppla motstånden i fig. 15.

22. Motstånden R_1 och R_2 i fig. 15 seriekopplas och R_3 kopplas parallellt med dessa.

23. Motstånden R_1 och R_2 i fig. 15 parallellkopplas och R_3 kopplas därefter i serie.

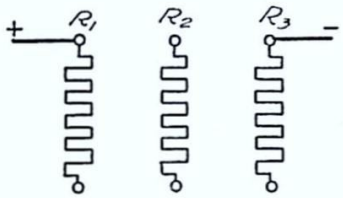


Fig. 15.



Fig. 16.

24. Rita in de förbindningar, som ytterligare erfordras, för att de seriekopplade motstånden i fig. 16 skola bliva parallellkopplade.

25. Resistanserna R_1, R_2 och R_3 i nedanstående tabell äro seriekopplade och R är ersättningsresistansen till dessa. Beräkna och insätt de uppgifter, som saknas i tabellen.

	1	2	3	4	5	6	7	8
R_1	6 Ω	7,2 Ω	4,5 Ω	2,4 Ω		6,6 Ω	0,95 Ω	
R_2	8 Ω	5,4 Ω	8,5 Ω		30,4 Ω	9,8 Ω		0,45 Ω
R_3	12 Ω	8,3 Ω		6,3 Ω	43,2 Ω		0,38 Ω	0,45 Ω
R			30,0 Ω	11,0 Ω	93,5 Ω	16,4 Ω	2,00 Ω	1,35 Ω

26. I fig. 17 visas ett regleringsmotstånd, i vilket resistansen mellan klämmorna A och B kan förändras genom olika inställning av kontaktarmen.

Vilka olika resistanser kunna erhållas mellan klämmorna A och B om $R_1 = 67$ ohm, $R_2 = 48$ ohm, $R_3 = 34$ ohm, $R_4 = 24$ ohm, $R_5 = 17$ ohm och $R_6 = 12$ ohm?

27. Huru stora skola resistanserna R_1, R_2 och R_3 etc. vara i ett regleringsmotstånd, anordnat enl. fig. 17, då resistansen mellan klämmorna A och B, när kontaktarmen befinner sig på kontakterna 1, 2, 3 osv., äro respektive 155, 140 122, 100, 73 och 40 ohm?

28. Motstånden R_1 och R_2 äro parallellkopplade och kombinationsmotståndet är R. Komplettera tabellen:

	1	2	3	4	5	6	7	8
R_1	12 Ω	6 Ω	1,3 Ω	0,8 Ω	8,0 Ω		5,00 Ω	
R_2	12 Ω	9 Ω	0,7 Ω	3,2 Ω		4,0 Ω		0,11 Ω
R					4,0 Ω	2,4 Ω	1,00 Ω	0,10 Ω

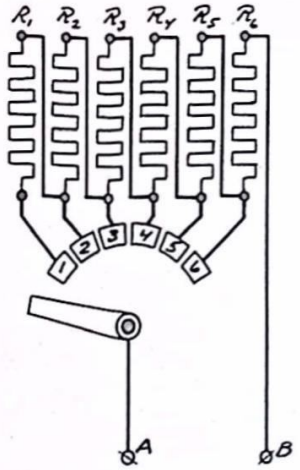


Fig. 17.

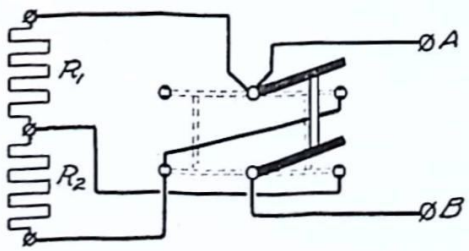


Fig. 18.

29 a. Vad blir ersättningsresistansen för a) två, b) tre och c) fyra lika parallellkopplade motstånd vartdera med resistansen 48 ohm?

29 b. Vilken regel kan man härav erhålla för parallellkoppling av motstånd med lika stora resistanser?

30. Hur hög blir resistansen mellan A och B i fig. 18, då omkastaren står a) till vänster b) till höger, om $R_1 = 12$ ohm och $R_2 = 18$ ohm?

31. Till en kokplatta hör en strömställare, vilken inkopplar värmemotstånden, så att man erhåller "Hög-", "Medel-" och "Lågeffekt" enl. fig. 19.

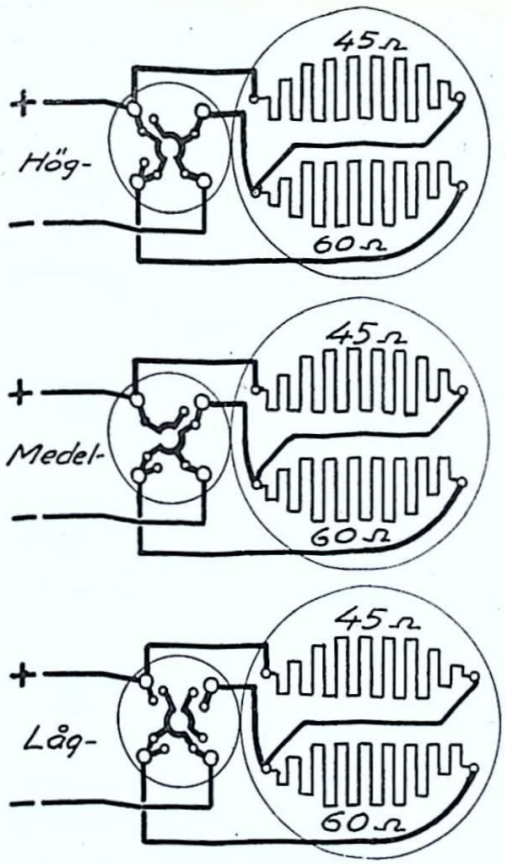


Fig. 19.

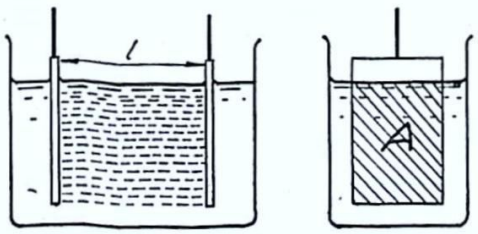


Fig. 20.

Huru stor resistans är inkopplad vid varje kontaktläge?

32. Ersättningsresistansen till två parallellkopplade motstånd är 2,25 ohm. Den ena resistansen är 3 ohm. Huru stor är den andra resistansen?

33. Till en ankarlindning åtgick 170 m koppartråd med diametern 0,85 mm. Huru stor resistans erhåller ankarlindningen, då denna uppdelas i två lika parallellkopplade delar?

Vätskemotstånd.

Saltlösningar, syror och baser, vilka förut ha nämnts som exempel på ledare, äro även användbara som motstånd. De kunna emellertid inte på förhand beräknas så noggrant som de motstånd, vilka äro utförda av rena metaller eller metallegeringar. Dessutom förändra de sig under tiden man använder dem och kunna därför inte nyttjas, då det är fråga om större noggrannhet. Resistansen i vätskemotståndet (se fig. 20) är beroende på

a) huru stor yta (A) hos plåten, som är nedsänkt i vätskan,

b) avståndet (l) mellan plåtarna,

c) vätskans beståndsdelar och utspädning,

d) vätskans temperatur.

Den vätskemassa (streckade delen i fig. 20), som befinner sig emellan plåtarna, kan jämföras med en ledare, som har längden l och tvärsnittet A. Följaktligen blir resistansen mindre, om man minskar avståndet mellan plåtarna eller sänker plåtarna djupare ned i vätskan. En art av vätskemotstånd har man i våra vanliga galvaniska element. Dessa ha följaktligen en viss *inre resistans* (R_i). Genom att ha mycket litet avstånd mellan + och —plåten hos strömkällan fig. 2 b söker man få liten inre resistans i elementet.

Isolationsresistans.

Ledningarna i en strömkrets hållas mekaniskt åtskilda av ett isolerande ämne, som vanligen äger en stor resistans. Ett utmärkt isolationsmateriel för ledningar är gummi. Ni inser, att ju tjockare beläggningen blir, desto större blir resistansen i isolationen. Emellertid är resistansen även beroende på ledningens längd. Varför? Enligt fig. 21 tänkes isoleringen i en ledning uppdelad i en meter långa delar. Resistansen i en sådan del antages till R_1. Hur äro nu dessa resistanser R_1 kopplade? Eftersom de ligga mellan plus- och minusledningen, måste de vara parallellkopplade. Ersättningsresistansen för dessa delresistanser i en flera meter lång ledning är alltså väsentligt mindre än resistansen för *en* meter. Om denna vore t. ex. 1 000 000 ohm, så är resistansen i en 2 meters ledning hälften, dvs. 500 000 ohm; för 5 meter femtedelen, alltså 200 000 ohm. Om ni går tillbaka till uppgift 29 finner ni, att ersättningsresistansen till två lika stora parallellkopplade resistanser är hälften, till tre resistanser tredjedelen osv. av resistansen i ett motstånd. Om därför ledningens längd är l meter, så är resistansen R_l av isolationen i denna l gånger mindre än isolationens resistans R_1 i *en* meter av ledningen.

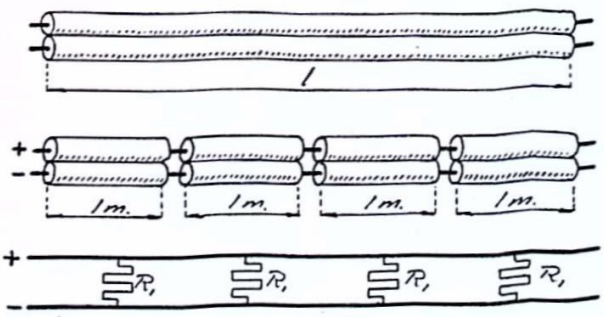


Fig. 21.

Formeln för beräkning av ledningsisolationens resistans blir sålunda

$$R_l = \frac{R_1}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 5.}$$

Uppgifter.

34. Vid en isolationsmätning var resistansen i en 30 meter lång ledning 350 000 ohm. Huru stor är resistansen räknat per meter?
35. Huru stor är isolationens resistans i en 75 meter lång ledning, då denna är 3 megohm per meter?
36. Enligt uppgift har isolationen i en 70 meter lång ledning resistansen 500 000 ohm. Huru stor är då resistansen i en 25 meter lång del av ledningen?

Temperaturens inverkan på resistansen.

Ni vet, att när en kropp blir varm, utvidgar den sig något. Uppvärmningen inverkar även på kroppens resistans. För isolationsmaterial blir resistansen mindre men för ledare blir i regel resistansen större, då de äro varma. För rena metaller ökas resistansen ca 0,4 % för varje grads temperaturökning.

Av särskild betydelse är resistansens förändring hos koppar. Vid provning av elektriska maskiner tillses, att lindningarnas temperatur ej överskrider de i föreskrifterna angivna värdena. Lindningarnas temperatur kan bestämmas med ledning av resistansens förändring.

Exempel: Vi antaga, att resistansen hos en maskinlindning vid + 15° C är 350 ohm. Vid vilken temperatur är resistansen 420 ohm?

Om ökningen är 0,4 % för 1 grad så motsvarar detta för 350 ohm en ökning

$$\frac{0{,}4}{100} \cdot 350 = 1{,}4 \text{ ohm}$$

för 1 grads temperaturstegring. Totala ökningen är

$$420 - 350 = 70 \text{ ohm.}$$

Antalet grader, som motsvarar denna ökning, är

$$70 : 1{,}4 = 50°.$$

Då lindningens temperatur från början var +15° C, så är alltså temperaturen, då resistansen är 420 ohm

$$15 + 50 = 65° \text{ C.}$$

Uppgifter.

37. En lindning av koppartråd har vid + 15° C en resistans av 45 ohm. Huru stor resistans har lindningen vid + 70° C?

38. Resistansen i magnetlindningen hos en likströmsmaskin uppgår vid + 15° C till 200 ohm. Enligt bestämmelserna får temperaturen uppgå till 60° över rumstemperaturen dvs. i detta fall till + 75° C. Vad är magnetlindningens resistans vid + 75° C?
39. För en oljetransformator är en övertemperatur av 70° tillåten. Vid + 15° C är resistansen 2,95 ohm. Huru stor är resistansen vid + 85° C?
40. Resistansen i en spole är vid + 15° C 0,795 ohm. Vid vilken temperatur är resistansen 0,945 ohm?

Det är endast vid + 15° C begynnelsetemperatur som resistansökningen är exakt 0,4 % per grad. Är kopparledarens resistans R_1 vid temperaturen t_1, så kan ni beräkna resistansen R_2 vid sluttemperaturen t_2 med hjälp av formeln

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \quad \ldots\ldots \text{ Formel 6}$$

De elektriska grundenheterna.

Strömstyrka.

När en elektrisk ström passerar fram i en ledning, så kunna vi inte se något, som strömmar, utan det är endast elektricitetens verkningar, som vi kunna studera. Vilka äro då dessa verkningar? I fig. 22 visas några av de vanligaste fenomenen, som man kan iaktttaga. Först ha vi ett exempel på strömmens *magnetiska verkningar*, i det att en elektrisk ström påverkar en fritt rörlig magnetnål, så att denna tvingas ställa sig i vinkel mot ledningen.

En liknande kraftyttring är strömmens *dynamiska verkningar*. Det visar sig att om strömmen går fram och tillbaka i trådar, som ligga nära ihop, så söka de trådar, där strömmen går åt samma håll, att draga sig intill varandra. Motsatt verkan blir det i trådar, där strömmen går åt olika håll.

Får en elektrisk ström passera genom en metallsaltlösning, sönderdelas denna, så att metallen blir frigjord och avsätter sig på den ena plåten. Denna blir därigenom tyngre. De *kemiska verkningarna* av strömmen har inom elektrotekniken fått en mångsidig användning.

Slutligen orsakar strömmen uppvärmning av ledaren. Sådana *termiska verkningar* bliva särskilt märkbara, då strömmen får pas-

sera genom mycket klena trådar, sådana som finnas i elektriska glödlampor.

Samtliga dessa verkningar äro sådana, att de bliva mera märkbara, i samma mån som strömmen blir kraftigare. Magnetnålens vridningsvinkel blir större, tråden i glödlampan blir varmare osv. Vi kunna därför av verkningarnas intensitet erhålla en uppfattning

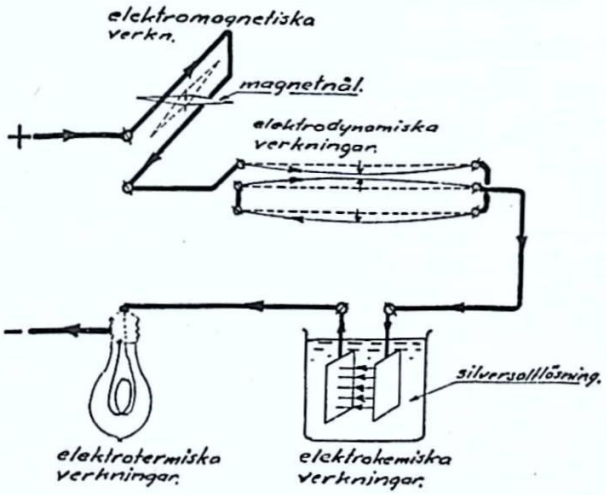


Fig. 22.

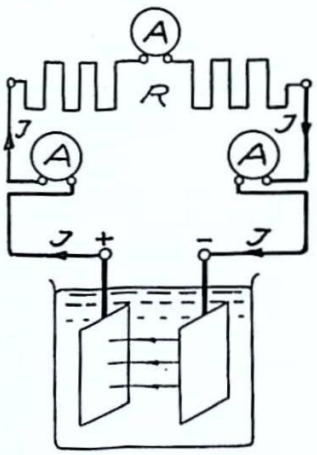


Fig. 23.

om strömmens styrka eller med andra ord få ett mått på *strömstyrkan*. Enheten för denna är *ampere* (*A*) och man har bestämt, att *en ampere är den strömstyrka, som går genom två (oändligt) långa parallella ledare, med det inbördes avståndet en meter och där varje meter av ledningen påverkar den andra ledningen med kraften 2 tiomiljondels newton (0,0000002 N)*. Det är som synes strömmens elektrodynamiska verkningar som ligger till grund för bestämning av enheten för strömstyrkan. Med en s. k. *strömvåg*, som är en direkt tillämpning på elektrodynamiken, kan man göra mycket noggranna bestämningar på strömstyrkan. Detta sätt att bestämma strömstyrkan är givetvis besvärligt, varför man i praktiken använder direktvisande instrument, s. k. *amperemeter*. Graderingen (skalan) hos amperemetern kan i stället kontrolleras med hjälp av strömvågen. En amperemeter kan inkopplas var som helst i strömkretsen fig. 23, enär det är samma ström, som passerar fram hela vägen. Bildlikt talat kunna vi tänka oss, att vi klippa av ledningen och till de två ändar, vi erhålla, ansluta amperemetern. Denna kommer då, som ni nu förstår, i serie med förbrukningsapparaten, vilken i detta fall utgöres av motståndet *R*.

I amperemetrarna är det vanligen strömmens magnetiska verkningar, som utnyttjas, såsom i *mjukjärnsinstrument* (fig. 24) eller *vridspolsinstrument* (fig. 25). I *varmtrådsinstrument* (fig. 26) däremot orsakar strömmen uppvärmning av varmtråden, som därigenom förlänges något. Denna förlängning får påverka en visareanordning.

I många fall, såsom inom radiotekniken, förekomma mycket svaga strömmar. Dessa uppmätas lämpligen i *milliampere* (*mA*).

$$1\ mA = 0{,}001\ A$$

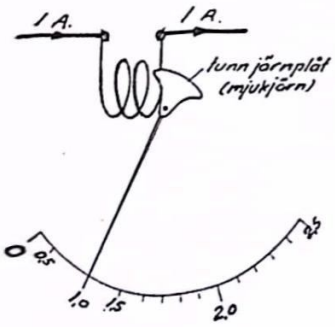


Fig. 24.

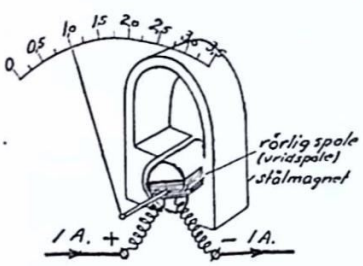


Fig. 25.

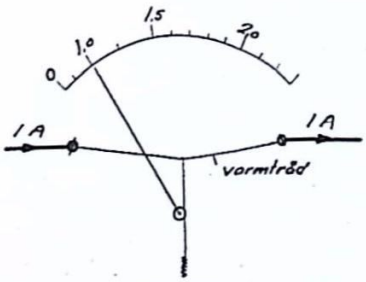


Fig. 26.

Strömtäthet. Med strömtäthet menas den strömstryka, som erhålles på *en* mm² tvärsnitt.

$$\text{Strömtäthet} = \frac{\text{Strömstyrka}}{\text{Area}}$$

eller

$$s = \frac{I}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 7}$$

Strömmen i en ledare alstrar värme, som höjer ledarens temperatur. När ledaren erhåller en högre temperatur än omgivningen, så utstrålas och överföres värme till denna. En sådan värmeavgivning äger rum från ledarens fria yta, vilken därför benämnes kyl-

yta. Ledarens förmåga att utstråla värme är beroende på kylytans storlek och beskaffenhet. Varför blir tråden så varm i en glödlampa, då den är tänd? Helt enkelt på grund av glödtrådens obetydliga avkylningsyta. Glödlamporna äro ofta dessutom lufttomma, varför värme icke kan bortledas genom luftströmningar. Hos glödlamporna söker tillverkaren genom särskild spiralisering av glödtråden få dennas avkylningsförmåga så liten som möjligt, varigenom trådens temperatur blir mycket hög (2000—2500° C). Med samma värmealstring skulle en lång och grov tråd av samma material och motstånd som glödtråden, upphängd i fria luften, bliva endast obetydligt varmare än omgivningen.

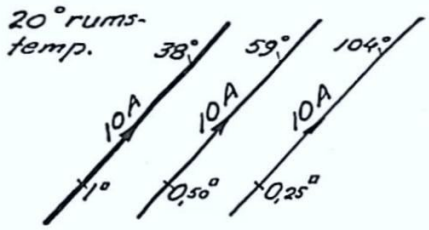


Fig. 27.

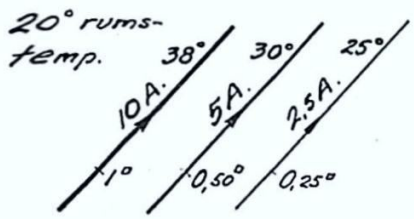


Fig. 28.

Om vi ha tre koppartrådar (fig. 27) med areorna 1,0, 0,5 och 0,25 mm², vilka passeras av samma ström 10 A, så bliva trådarnas temperaturer helt naturligt olika. Den klenaste tråden utsättes för den största strömtätheten, samtidigt som den har minsta avkylningsytan. Trådarnas temperaturer bliva respektive 18°, 39° och 84° över rumstemperaturen. Är rumstemperaturen 20° så bliva trådarnas temperaturer i ordning 38°, 59° och 104°.

Helt annorlunda blir förhållandet, om de tre trådarna belastas i förhållande till arean, dvs. erhålla samma strömtäthet t. ex. 10 A/mm². De tre trådarnas temperaturer äro angivna i fig. 28, där ni ser, att den klenaste trådens temperatur endast blir 5° varmare än omgivningens temperatur mot 10° och 18° för 0,50 mm² respektive 1,0 mm² ledartvärsnitt. Denna olikhet sammanhänger med, att en grövre ledning har en jämförlsevis mindre kylyta än en klenare ledning. Om vi jämföra en tråd, som är 1 mm i diameter med en annan tråd, som är 2 mm i diameter, så har den sistnämnda tråden endast dubbelt så stor kylyta men fyra gånger så stort tvärsnitt.

På grund av ovannämnda förhållanden äro i lagbestämmelserna

för gummiisolerade kopparledningars belastning nedanstående maximiströmstyrkor fastställda för gällande standardareor.

Ledningens area i mm²	Högsta tillåtna strömstyrka i A	Strömtäthet A/mm²	Smältskyddets normala strömstyrka i A
0,75	9	12,0	6
1	11	11,0	6
1,5	14	9,3	10
2,5	20	8,0	15
4	25	6,3	20
6	31	5,2	25
10	43	4,3	35
16	75	4,7	60
25	100	4,0	80
35	125	3,6	100
50	160	3,2	125
70	200	2,9	160
95	240	2,7	200

Lägg märke till, hur strömtätheten avtar för grövre areor.

Uppgifter.

41. En ledning med 3,3 mm diameter belastas med 30 A a) Hur stor är strömtätheten? b) Är den tillåten?

42. Strömtätheten för magnetspolar får vara 1—3 A/mm². Vilken area kräves för 0,15 A strömstyrka, om strömtätheten får uppgå till 2,5 A/mm²?

43. I ankarledarna tillåtes en strömtäthet av 2—5 A/mm². Hur stor strömstyrka får en ankarledare med 0,85 mm diameter belastas med, om strömtätheten antages till 4 A/mm²?

44. Konstantantråd av 0,5 mm diameter får belastas så mycket, att strömtätheten uppgår till 6 A/mm². Med huru många ampere får tråden belastas?

45. Kromnickelband av 0,1 mm tjocklek och 0,8 mm bredd skall ingå i ett strykjärnselement, där strömtätheten får uppgå till 20 A/mm². Vad blir a) strömstyrkan, b) kromnickelbandets längd, om resistansen skall vara 137,5 ohm?

46. Enligt föreskrifterna skall en säkring påstämplad 6 A under en timma tåla 1,5 gånger högre, men smälta för 2,1 gånger högre strömstyrka än den påstämplade. Vilka strömstyrkor äro dessa?

47. Enligt samma föreskrifter skall en säkring stämplad 15 A under en timma tåla 1,4 gånger högre men inom en timma smälta för 1,75 gånger högre strömstyrka än den påstämplade. Smälttrådens diameter 0,35 mm. Huru stor strömtäthet hos smälttråden kräva föreskrifterna i de båda fallen?

48 a. Huru stor blir strömtätheten hos glödtråden i metalltrådslampan i uppgift 18, då den normala strömstyrkan för glödlampan är 0,07 A?

48 b. Av uppgifterna 47 och 48 a ser ni, att mycket klena trådar kunna uthärda en mycket hög strömtäthet. Vad är anledningen till detta?

49. Vilken minimiarea hos en kopparledning kräves för en strömbelastning av a) 15 A, b) 20 A, c) 25 A, d) 30 A, e) 35 A och f) 40 A?

50. En motor kräver i drift 24 A. Strömstyrkan vid igångsättningen är emellertid 75 % högre. Vilken är den lägsta area hos ledningen, som får användas?

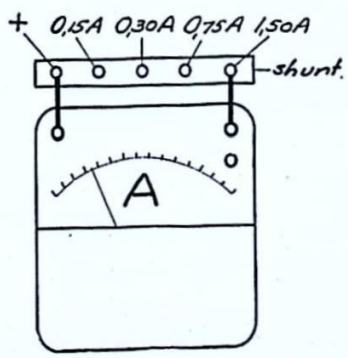
51. 

Fig. 29 a.

En amperemeter (fig. 29 a) med 4 olika mätområden har den i fig. 29 b angivna skalan med 150 skaldelar. Vilken strömstyrka motsvarar i mätområdet

a) 0—0,15 A 68 skaldelar?
b) 0—0,30 A 119 skaldelar?
c) 0—0,75 A 46,3 skaldelar?
d) 0—1,5 A 93,7 skaldelar?

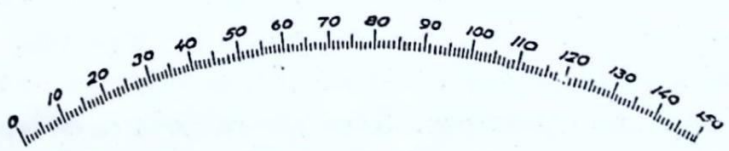


Fig. 29 b.

52. Huru många skaldelars utslag visar amperemetern i föregående ex. för 0,264 A strömstyrka, om mätområdet är a) 0—0,30 A, b) 0—0,75 A?

Spänning.

Den första förutsättningen för att en elektrisk ström skall uppstå, är att vi ha en strömkälla. Dessutom måste det finnas en ledande förbindelse mellan strömkällans plus- och minuspol. Det är ju självklart, att det måste vara så, om ni tänker på jämförelsen med vattenströmningen i värmeledningssystemet (fig. 2 a). I detta räcker det inte med, att vi ha en värmepanna. Vi måste ha ett slutet yttre rörsystem, så att varmvattnet kan komma i cirkulation.

Orsaken till, att man får en elektrisk ström, är den i strömkällan verksamma emk eller spänningen. Spänningen kan således sägas vara det tryck, som driver fram strömmen i den yttre kretsen. Enheten för emk eller spänning är *volt* (V). För att angiva huru mycket *en* volt är skulle man kunnat utgå ifrån emk i ett galvaniskt element av en viss sammansättning, men man har i stället fastställt, att *en volt är den spänning som måste förefinnas mellan en ledares ändar, om resistansen i ledaren är ett ohm, och strömstyrkan genom densamma är en ampere* (fig. 30).

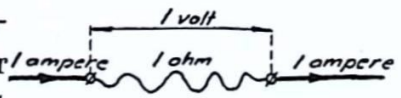


Fig. 30.

Mycket höga spänningar angivas ofta i *kilovolt* (kV)

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}.$$

Dessutom förekommer för mycket låga spänningar *millivolt* (mV)

$$1 \text{ mV} = 0{,}001 \text{ V}.$$

Spänningen uppmätes med *voltmeter*. Principen för voltmetern är densamma som för amperemetern, därför att voltmeterns utslag, av orsaker som förklaras längre fram, är helt beroende på storleken av den ström, som passerar genom instrumentet.

När ni skall mäta upp en viss längd, så måste ni ju veta, var ni har de båda ändpunkterna. Även när ni skall mäta upp en spänning, måste ni ha klart för er mellan vilka klämmor, ni vill ha spän-

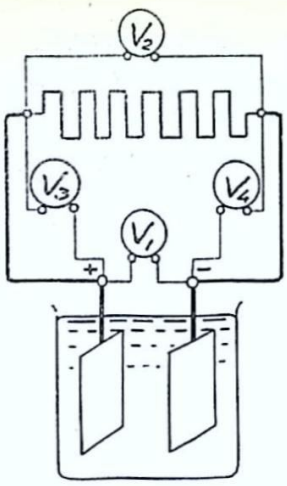


Fig. 31.

ningen uppmätt. Annars kan det inträffa, att ni mäter upp spänningar, som ni inte har något intresse av att få reda på.

Fig. 31 visar inkoppling av voltmeter för uppmätning av olika spänningar i kretsen. Voltmetern V_1 visar klämspänningen hos strömkällan; V_2 spänningen på belastningsmotståndet; V_3 och V_4 spänningen eller som man brukar säga, spänningsfallet i ledningarna. Voltmetern kopplas följaktligen parallellt med motsvarande del av strömkretsen.

Uppgifter.

53 a. Huru många V är 4,4 kV?

53 b. » » kV » 110 000 V?

53 c. » » mA » 0,15 A?

53 d. » » A » 1 250 mA?

53 e. » » Ω » 9,5 MΩ?

53 f. » » MΩ » 840 000 Ω?

54. En voltmeter, vars skala är försedd med 150 skaldelar, är seriekopplad med ett förkopplingsmotstånd och erhåller för spänningsmätning de i fig. 32 angivna mätområdena. Vilken spänning motsvarar i mätområdet

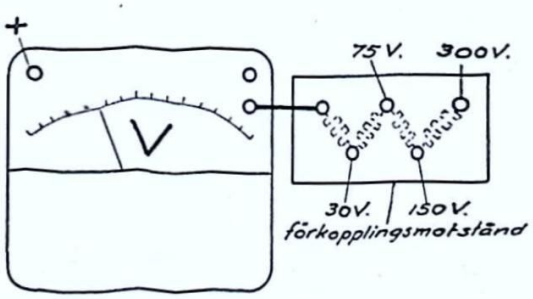


Fig. 32.

a) 0— 30 V 30 skaldelar?
b) 0— 75 V 75 skaldelar?
c) 0—150 V 124,2 skaldelar?
d) 0—300 V 51,6 skaldelar?

55. Huru många skaldelars utslag motsvaras i de olika mätområdena i föregående uppgift av 27,6 V spänning?

56. Tre motstånd äro kopplade i serie och anslutna på 220 V (fig. 33). Vad blir spänningen mellan klämmorna
a) *B* och *C*?
b) *A* och *C*?
c) *B* och *D*?

57. Spänningen mellan klämmorna A och C i fig. 34 är 145 V och mellan klämmorna *B* och *D* 160 V. Beräkna spänningarna U_1, U_2 och U_3, då spänningen mellan *A* och *D* är 220 V.

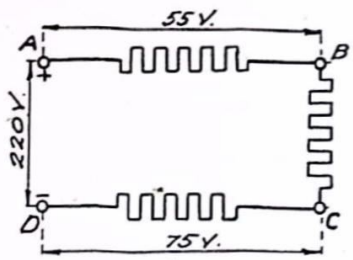


Fig. 33.

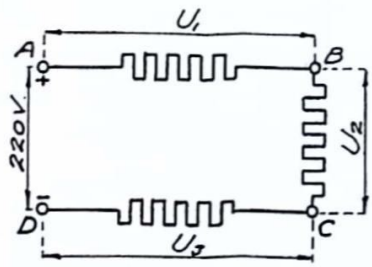
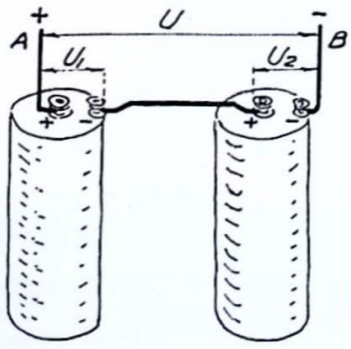


Fig. 34.



$U = U_1 + U_2$

Fig. 35.

Koppling av element.

I det föregående har endast behandlats olika kopplingssätt för motstånd. Elektriska element kunna även förenas på olika sätt. Om ni har två torrelement, vartdera med spänningen 1,5 volt, och förenar det ena elementets minuspol med det andra elementets pluspol enl. fig. 35, så skall ni finna, att den spänning, som är mellan ledarna *A* och *B*, är 3 volt, dvs. lika med summan av elementens spänningar. När elementen förenas på detta sätt kallas det *seriekoppling*.

Ni hade även kunnat koppla ihop elementen enl. fig. 36, där det ena elementets minuspol är förenad med det andra elementets minuspol. Om ni mäter spänningen mellan ledarna *A* och *B*, skall ni kanske med förvåning konstatera, att det inte finnes någon spänning mellan dessa båda ledare. Det ena elementet motverkas tydligen av det andra elementet, och denna koppling kallas därför *motkoppling.*

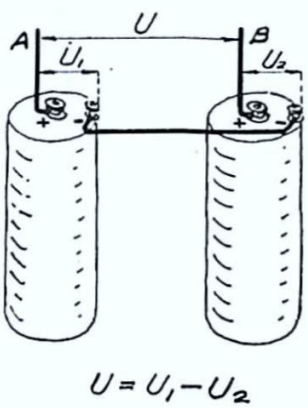


Fig. 36.

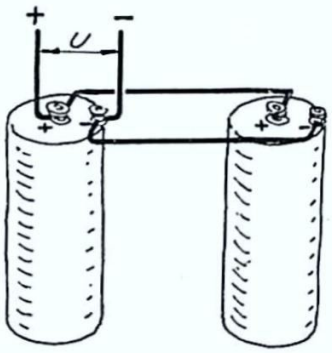


Fig. 37.

Eftersom det inte förefinnes någon spänning mellan ledarna A och C vid elementens motkoppling enl. fig. 36, så kunna de båda pluspolerna förenas med en ledning så som visas i fig. 37. Som ni ser är elementens pluspoler anslutna till en ledning, som vi därför kalla plusledning, och minuspolerna till en annan ledning, som är minusledning. Detta kopplingssätt kallas *parallellkoppling*, och den spänning, som erhålles mellan plus- och minusledningen, är lika stor som spänningen hos ett av elementen.

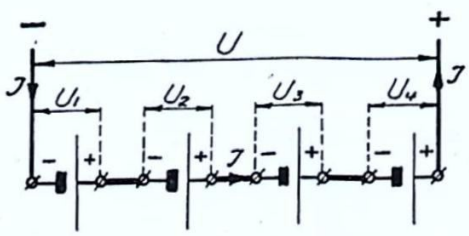


Fig. 38.

Element kunna således förenas på olika sätt till ett *batteri.* De vanligaste äro

a. *seriekoppling*, då ena elementets pluspol förenas med nästa elements minuspol osv. I fig. 38 visas en förenklad bild (schema) på seriekoppling. Batterispänningen blir lika med summan av elementens spänning

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \ldots\ldots\ldots \text{Formel 8a.}$$

För fyra lika element blir batterispänningen
$U = 4 \cdot U_1$, då U_1 är spänningen hos ett element. Samma ström I passerar genom samtliga element.

b. *parallellkoppling* (fig. 39), som kännetecknas därav, att samtliga elements pluspoler förenas till en ledning (+ledning) och minuspoler till en annan ledning (—ledning). Parallellkoppling av element bör förekomma endast, då elementen äro lika, dvs. äro av samma storlek och spänning. Färska element böra inte heller parallellkopplas med gamla uttjänta element.

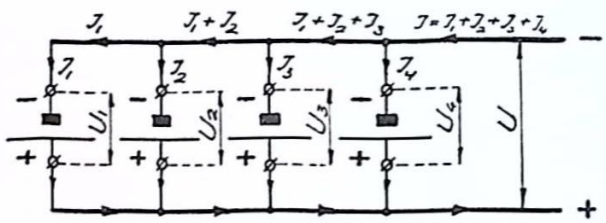


Fig. 39.

Därför bör för elementen i fig. 39 gälla att

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

Batteriets strömstyrka blir lika med summan av elementens strömstyrkor.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \ldots\ldots\ldots \text{Formel 8b.}$$

För fyra lika element blir batteriströmstyrkan $I = 4 \cdot I_1$ då I_1 är strömstyrkan hos ett element.

Dessutom förekommer en kombination av serie- och parallellkoppling, s. k. *blandad koppling*. Ni bör därvid se till, att kopplingen blir sådan, att alla elementen belastas lika, dvs. avgiva lika mycket ström. Elementen delas upp i grupper med *samma antal*

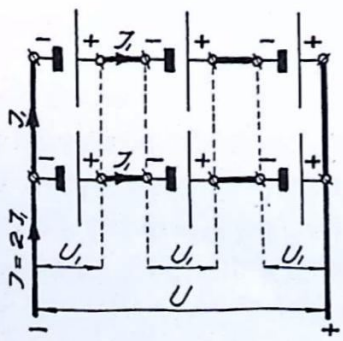


Fig. 40 a.

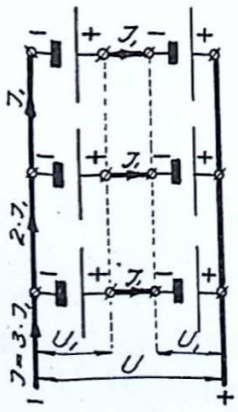


Fig. 40 b.

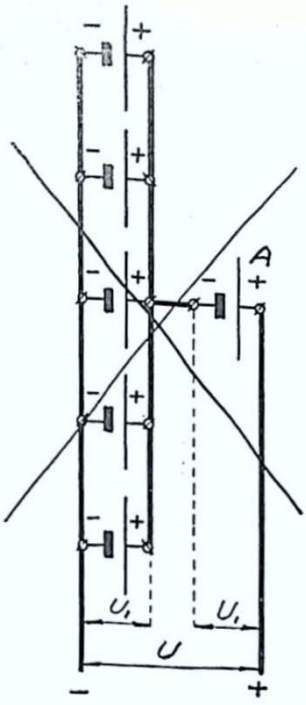


Fig. 41.

element i varje grupp. Om elementen i varje grupp parallellkopplas, kunna sedan grupperna kopplas i serie. För 6 lika element kunna alltså kombinationen vara enl. fig. 40 a, då batterispänningen

$$U = 3 \cdot U_1$$

och batteriströmstyrkan

$$I = 2 \cdot I_1.$$

En annan kombination visas i fig. 40 b, då batterispänningen

$$U = 2 \cdot U_1$$

och batteriströmstyrkan

$$I = 3 \cdot I_1.$$

Däremot böra elementen *inte* kopplas enl. fig. 41, då elementet A säkerligen blir överbelastat och snart förbrukat.

Uppgifter

58. Seriekoppla elementen i fig. 42.
59. Parallellkoppla elementen i fig. 42.
60. Seriekoppla elementen i fig. 43.
61. Parallellkoppla elementen i fig. 43.
62. Koppla elementen i fig. 43 i två lika delar, i varje del med elementen i serie. De båda delarna parallellkopplas.

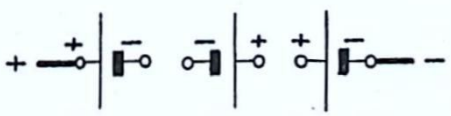


Fig. 42.

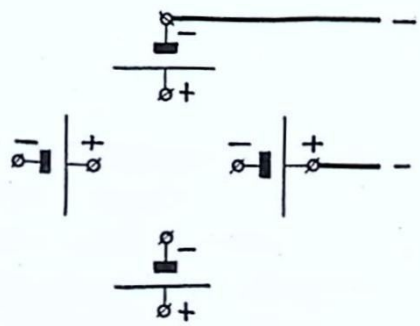


Fig. 43.

63. Ett ackumulatorbatteri (fig. 44) består dels av ett antal ständigt inkopplade element s. k. stamceller och dels av element, som kan

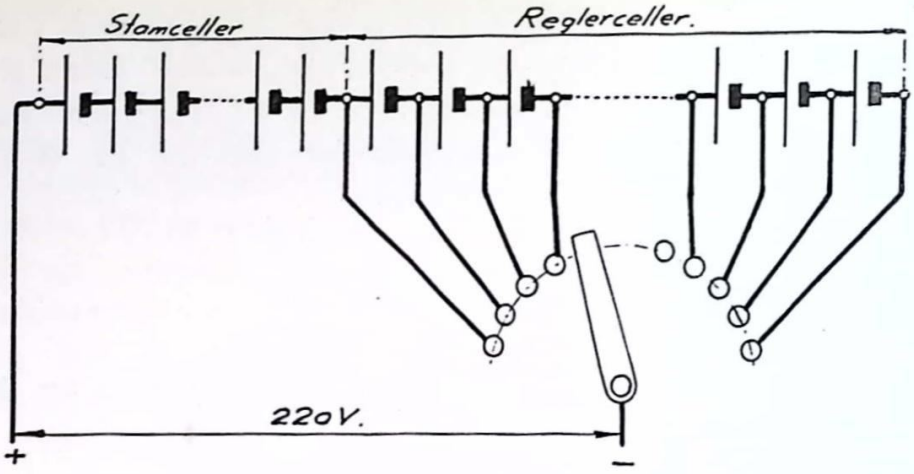


Fig. 44.

inkopplas efter hand som spänningen sjunker. Batteriet skall hålla en spänning av 220 V. Huru många celler erfordras, när spänningen på varje cell i

a) nyladdat tillstånd är 2,1 volt?

b) urladdat tillstånd är 1,85 volt?

c) Huru många stam- resp. reglerceller bör batteriet äga?

64. 12 st. torrelement, vartdera med 1,5 volts spänning, skola hopkopplas på lämpligaste sätt, så att batterispänningen blir a) 3 volt b) 4,5 volt och c) 6 volt. Gör ett kopplingsschema för varje uppgift!

Strömförgreningar.

Vid parallellkoppling av motstånd eller strömkällor inträffar vid avgreningspunkterna, t. ex. vid *A* eller *B* i fig. 45, att en del strömmar flyta *till* avgreningspunkten och en del *ifrån* densamma.

Ni inser lätt, att den ström, som flyter till en avgreningspunkt, omedelbart måste passera vidare, emedan denna punkt inte har möjlighet att uppsamla eller behålla någon del av strömmen. Vi kunna därför utan vidare för strömkretsen i fig. 45 skriva att

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

eller, att *summan av strömmarna, som flyta till en avgreningspunkt, är lika med summan av strömmarna ifrån densamma.*

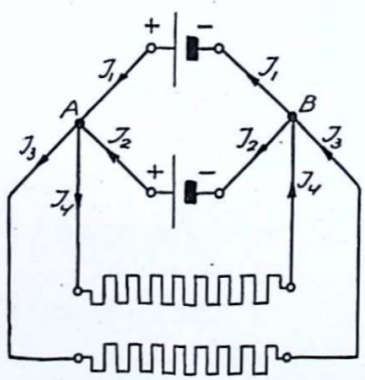


Fig. 45.

Uppgifter.

65. Beräkna storlek och riktning av strömmen I i fig. 46 a, b och c.
66. Tre lika motstånd äro parallellkopplade och anslutna till en strömkälla (fig. 47). Huru stora bliva strömmarna I_1 och I_2 då strömkällans belastning är 4,8 A?

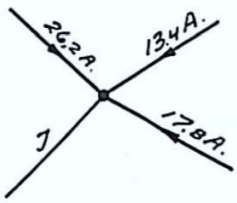


Fig. 46 a.

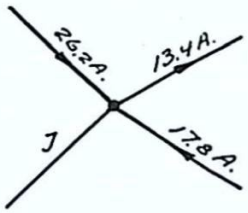


Fig. 46 b.

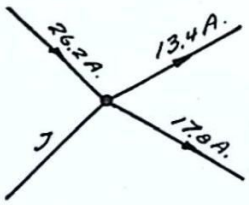


Fig. 46 c.

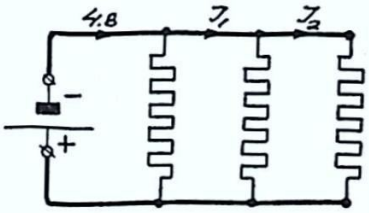


Fig. 47.

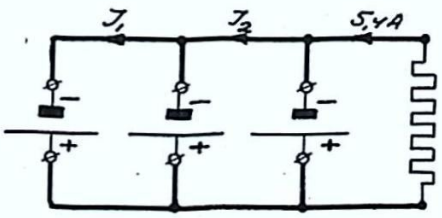


Fig. 48.

67. Tre lika element parallellkopplas och belastas med ett motstånd (fig. 48). Huru stora bliva strömmarna I_1 och I_2, då strömmen genom motståndet är 5,4 A?

Ohms lag.

Som ni vet, är den ström, som passerar fram i en strömkrets, orsakad av den i strömkällan verksamma emk eller spänningen. Strömmen får alltså rätta sig efter spänningen, men även resistansen i kretsen har stort inflytande på strömmens styrka. I vilken utsträckning strömmen är beroende av spänningen och resistansen har ni däremot ännu inte kunnat få någon uppfattning om. Detta får ni lättast klart för er, om ni har möjlighet att utföra ett par försök. Kopplingsschemat för det första försöket har ni i fig. 49. Härför erfordras:

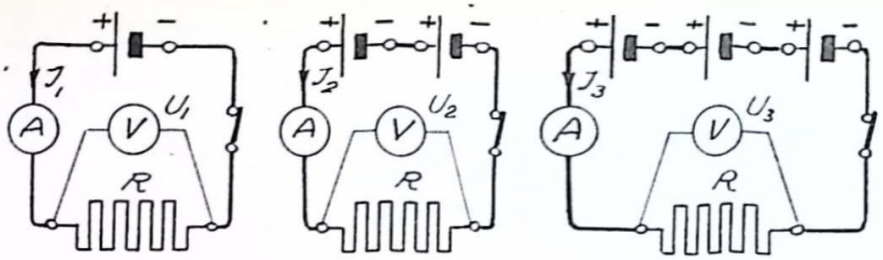


Fig. 49.

1 st. amperemeter för 0—3 A
1 st. voltmeter för 0—5 V
3 st. torrelement à 1,5 V
2 m. konstantantråd, 1,0 mm diam.
Diverse kopplingssladdar.

Först börjar ni med ett element i kretsen och avläsar volt- och amperemetrarna. Därefter kopplar ni in två element i serie och slutligen tre element och avläser för varje gång spänning och strömstyrka. Dessa avläsningar införas i nedanstående tabell:

Spänning i V	Strömstyrka i A	Förhållandet $\frac{\text{spänning}}{\text{strömstyrka}}$
$U_1 =$	$I_1 =$	$U_1 : I_1 =$
$U_2 =$	$I_2 =$	$U_2 : I_2 =$
$U_3 =$	$I_3 =$	$U_3 : I_3 =$

Ni har under försöket haft samma motstånd inne hela tiden och ökat spänningen genom att koppla in nya element. Strömstyrkan har då även ökat i samma grad, så att förhållandet mellan spänning och strömstyrka är tämligen konstant. Vår första regel blir sålunda: *om resistansen är oförändrad, så ökas strömstyrkan i samma grad, som spänningen ökas.*

Vid det andra försöket bör spänningen vara konstant. Ni kopplar därför elementen parallellt enl. fig. 50. Först kopplas in 1/3 av tråden, sedan ytterligare 1/3 och därefter hela tråden. För varje

inkopplad del av tråden avläser ni volt- och amperemeterns utslag. De värden, ni erhållit, införas i nedanstående tabell.

Inkopplad resistans	Spänning i V	Strömstyrka i A	Förhållandet $\frac{\text{spänning}}{\text{strömstyrka}}$
R	$U_1 =$	$I_1 =$	$U_1 : I_1 =$
$2 \cdot R$	$U_2 =$	$I_2 =$	$U_2 : I_2 =$
$3 \cdot R$	$U_3 =$	$I_3 =$	$U_3 : I_3 =$

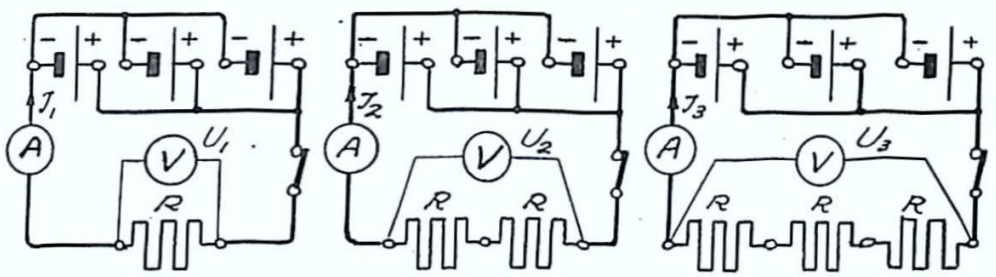


Fig. 50.

Under försöket håller sig spänningen tämligen konstant, under det att strömstyrkan förändrar sig avsevärt. I första fallet, då resistansen är minst, visar det sig att strömstyrkan är störst, men att då resistansen fördubblades, så blir strömstyrkan hälften så stor. Då resistansen gjordes tre gånger större, blev strömstyrkan endast en tredjedel. Om ni räknar ut förhållandet mellan spänning och strömstyrka, finner ni att detta ökas i samma takt, som resistansen ökas. Vår andra regel blir då: *när spänningen är konstant, så minskas strömstyrkan i samma grad, som resistansen ökas.*

Om ni inte har möjlighet att utföra dessa försök, så kan ni dock med stöd av det, som nu är genomgånget, draga en del slutsatser. Ni vet, att om strömstyrkan är 1 A i ett motstånd på 1 ohm, så måste mellan motståndets klämmor finnas en spänning på 1 V. I fig. 51 a visas just detta samband. Om ni har två sådana motstånd i serie enl. fig. 51 b, så erfordras 2 V för att få 1 A genom motstånden, eftersom 1 V kräves i vartdera motståndet. Ersättningsresistansen till två seriekopplade motstånd på 1 ohm är lika med deras summa, alltså 2 ohm. Därigenom erhålles i fig. 51 c det förlopp, som säger oss, att

strömstyrkan 1 A erhålles i ett motstånd på 2 ohm, då spänningen är 2 V. I fig. 51 d ha vi parallellkopplat två motstånd på 2 ohm och anslutit dem på 2 V. Genom vartdera motståndet är strömstyrkan 1 A, varför 2 A måste tillföras ifrån strömkällan. Ersättningsresistansen till två parallellkopplade motstånd på 2 ohm är hälften av resistansen i ett motstånd, alltså 1 ohm. Vi få då fig. 51 e som en förenklad bild av fig. 51 d. Av fig. 51 a, c och e kan dragas en del viktiga slutsatser. Jämföres förloppet i fig. 51 e med a, så framgår av detta,

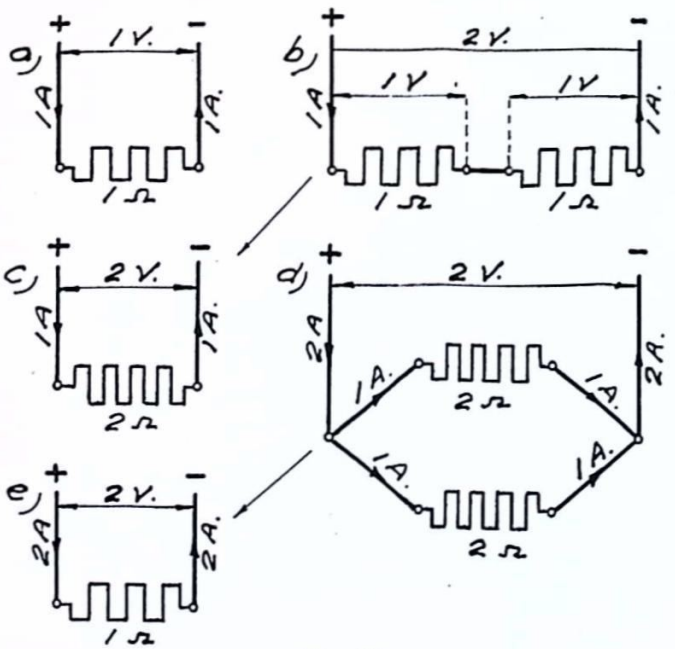


Fig. 51.

att då motståndet med resistansen 1 ohm inkopplas på 2 V, så blir strömstyrkan 2 A, mot 1 A, då spänningen är 1 V. Härav erhålles den 1:a regeln: *om resistansen är oförändrad, blir strömstyrkan större, då spänningen ökas, så att om spänningen fördubblas, blir strömstyrkan fördubblad.*

Av fig. 51 e och c synes, att om motståndet 1 ohm inkopplas på spänningen 2 V, så blir strömstyrkan 2 A och 1 A, då motståndet 2 ohm inkopplas på spänningen 2 V. Den 2:a regeln lyder: *när spänningen är oförändrad, så minskas strömstyrkan, när resistansen ökas, och förändringen sker på sådant sätt, att när resistansen fördubblas, så blir strömstyrkan hälften.* På liknande sätt skulle vi kunna få fram,

att om resistansen blir tre gånger större, så blir strömstyrkan tredjedelen.

Med hjälp av dessa regler kunna vi erhålla sambandet mellan spänning, strömstyrka och resistans. Vi utgå ifrån att

$U = 1$ volt och $R = 1$ ohm så är $I = 1$ ampere. Se sid. 32.
$U = 2$ » » $R = 1$ » » » $I = 2$ » Enl. 1:a regeln.
$U = 3$ » » $R = 1$ » » » $I = 3$ » » » »
$U = U$ » » $R = 1$ » » » $I = U$ » » » »
$U = U$ » » $R = 2$ » » » $I = \frac{U}{2}$ » » 2:a »
$U = U$ » » $R = 3$ » » » $I = \frac{U}{3}$ » » » »
$U = U$ » » $R = R$ » » » $I = \frac{U}{R}$ » » » »

Vi erhålla på detta sätt det viktiga sambandet, som kallas *ohms lag*, och lyder:

$$\text{Strömstyrkan} = \frac{\text{Spänningen}}{\text{Resistansen}}$$

eller som formel

$$\boxed{I = \frac{U}{R}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 9.}$$

Uppgifter

68. Beräkna och insätt de uppgifter, som saknas i tabellen.

U	110 V		120 V	130 V		4,5 V	440 V	
I		0,4 A	0,48 A		0,08 A	18 A		15 A
R	250 Ω	550 Ω		1 625 Ω	3,5 Ω		1 375 Ω	15 Ω

69. Värmeelementet i ett elektriskt strykjärn har resistansen 130 Ω och kräver en strömstyrka av 1,7 A. För vilken spänning var det avsett?

70. På en elektrisk värmeapparat var påstämplat 38 Ω. Vad blir strömstyrkan, om apparaten inkopplas på a) 130 V? b) 220 V?

Ni böra beakta, att ohms lag utom för hela strömkretsen gäller även för en större eller mindre del av densamma.

71. Ett okänt motstånd R_x är kopplat i serie med ett motstånd som har resistansen 18 Ω (fig. 52). Vid uppmätning av spänningen konstaterades att mellan klämmorna A och B var spänningen 45 V och mellan klämmorna C och D 65 V. Huru stor är resistansen R_x?

72. En voltmeter har en inre resistans 1 000 Ω och visar fullt utslag för en spänning av 3 V (fig. 53). Huru stor resistans skall förkopplingsmotståndet R_f hava för att voltmetern skall kunna användas för uppmätning av spänningar på högst 30 V?

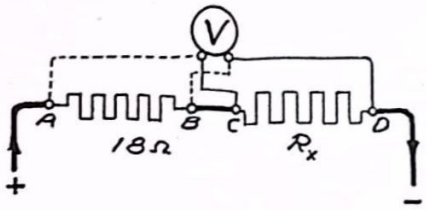


Fig. 52.

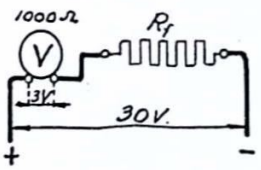


Fig. 53.

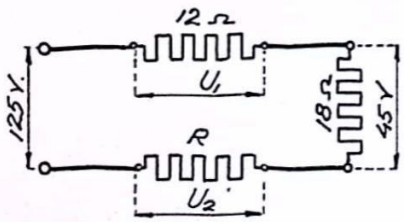


Fig. 54.

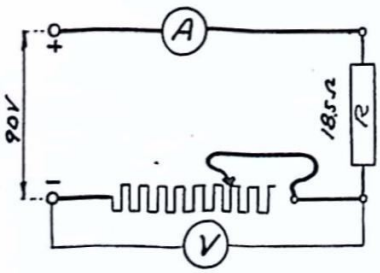


Fig. 55.

73. Beräkna resistansen R och spänningarna eller rättare sagt spänningsfallen U_1 och U_2 i den i fig. 54 angivna strömkretsen!

74. Ett motstånd med resistansen 18,5 Ω kopplas i serie med ett reglerbart motstånd enl. fig. 55. Strömstyrkan avlästes till 2,4 A, men sedan det reglerbara motståndet förändrats, avlästes strömstyrkan 1,8 A. a) Ökades eller minskades resistansen i kretsen? b) Huru stor resistans in- eller urkopplades? c) Vilka värden visade voltmetern före och efter resistansens förändring?

75. En metalltrådslampa påstämplad 100 W, 220 V inkopplades i en strömkrets, så att lampan kunde erhålla olika spänningar. Med volt- och amperemeter uppmätes lampspänningen och strömstyrkan genom lampan. De värden på spänning och strömstyrka, som erhöllos, återfinnas i följande tabell.

Spänning i volt	Strömstyrka i ampere	Resistansen i ohm
5	0,10	
10	0,12	
20	0,17	
60	0,25	
100	0,31	
140	0,37	
180	0,42	
220	0,47	

De värden, som finnas i tabellen, ligga till grund för den i fig. 56 uppritade kroklinjen.

Denna kurva visar grafiskt sambandet mellan spänning och strömstyrka, varigenom det är möjligt att för vilken spänning som helst mellan 0 och 220 volt avläsa motsvarande strömstyrka.

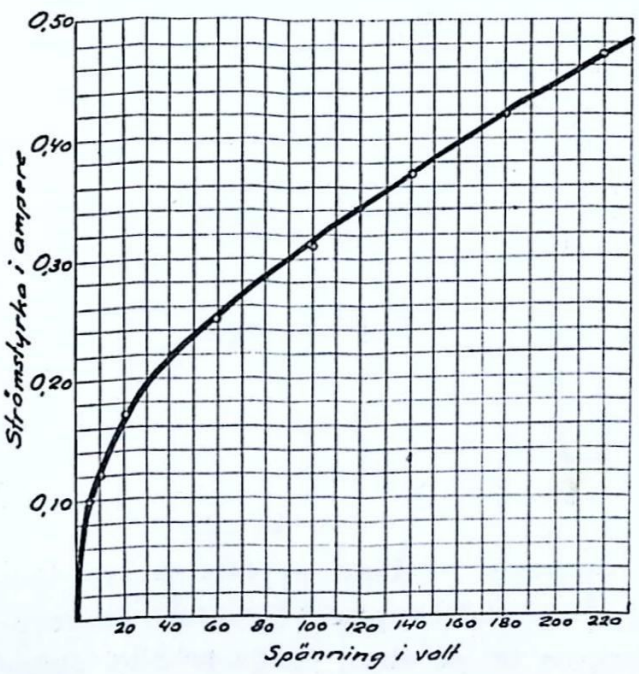


Fig. 56.

Beräkna glödlampans resistans för de i tabellen angivna värdena! Varför är resistansen större vid högra spänningar? Upprita på liknande sätt som i fig. 56 den kroklinje, som visar sambandet mellan spänning och resistans! Försök genom att förlänga kurvan erhålla en uppfattning om resistansens storlek, då spänningen är noll!

76. Huru många ampere blir den strömstöt, som uppstår, då glödlampan i uppgift 75 inkopplas på 220 volt?

77. Ett motstånd med resistansen 5,2 Ω är i serie med ett reglerbart motstånd anslutet på 60 V enl. fig. 57. Beräkna

a) de strömstyrkor I, som erhållas då kontaktarmen flyttas från en kontakt till en annan!

b) spänningen U mellan klämmorna A och B för varje läge på kontaktarmen!

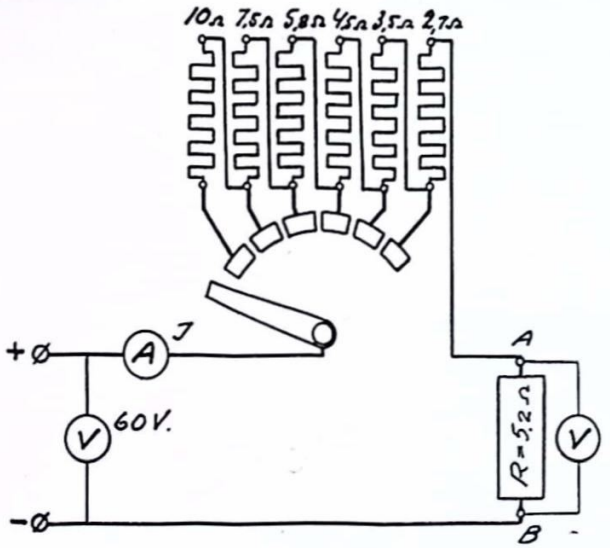


Fig. 57.

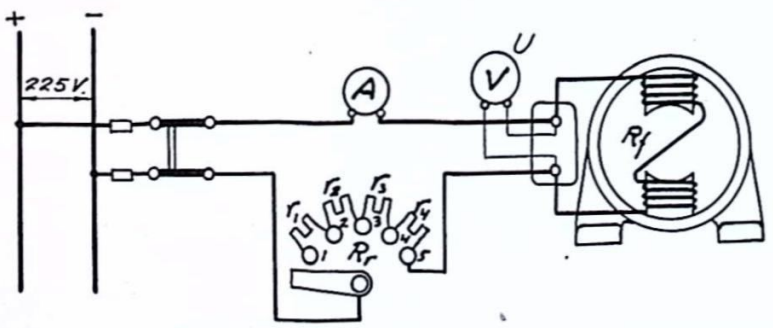


Fig. 58.

78. Man vill tillverka ett regleringsmotstånd av samma typ som fig. 57 och så avpassat, att då det kopplas i serie med en provningsapparat, vars resistans är 40 ohm, denna erhåller spänningarna 60, 80, 100, 120, 140 och 160 V, då den tillgängliga spänningen är 220 V. Beräkna motståndsdelarnas resistans i regleringsmotståndet!

79. Fältspolarna till en likströmsmaskin äro seriekopplade med ett reglerbart motstånd och anslutna på 225 V (fig. 58). Vid kontaktlägena 1, 2, 3 etc. avlästes på amperemetern de på nästa sida angivna värdena:

Kontaktläge 1 0,25 A
» 2 0,27 A
» 3 0,30 A
» 4 0,34 A
» 5 0,39 A

Beräkna

a) Fältspolarnas resistans R_f!
b) Regleringsmotståndets resistans R_r!
c) Delresistanserna r_1, r_2, r_3 och r_4 i regleringsmotståndet!
d) Spänningen U mellan fältspolarnas klämmor för varje läge av kontaktarmen!

80. En ström på 12 A förgrenar sig genom två parallellkopplade motstånd med resistanserna 6 och 9 Ω. Upprita schematiskt kopplingen och beräkna strömstyrkan genom vartdera motståndet samt den spänning, som förefinnes mellan motståndets klämmor!

81.

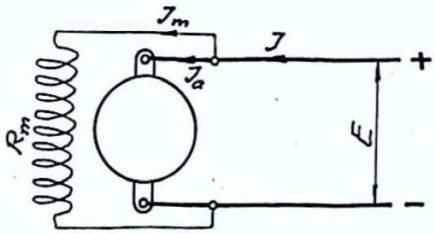


Fig. 59.

I nedanstående tabell äro sammanförda uppgifter för sju stycken likströmsmotorer, där ankare- och magnetlindning äro parallellkopplade (shuntmotorer) enl. fig. 59.

Nr	Klämspänning U	Strömstyrka			Magnetlindningens resistans R_m
		total I	ankare I_a	magnet I_m	
1	120 V	200 A	A	A	30 ohm
2	220 »	12,0 »	»	0,8 »	»
3	225 »	4,4 »	4,2 »	»	»
4	»	180 »	174 »	»	40 »
5	»	34,5 »	»	0,5 »	90 »
6	440 »	»	27,2 »	0,8 »	»
7	»	»	14,2 »	0,4 »	325 »

Beräkna och insätt de uppgifter, som saknas i tabellen!

82. En amperemeter, som har inre resistansen 0,80 ohm, visar fullt utslag för 0,30 A. Huru stor resistans R_s (fig. 60) skall det vara på shunten, om amperemetern skall visa fullt utslag för 1,50 A?

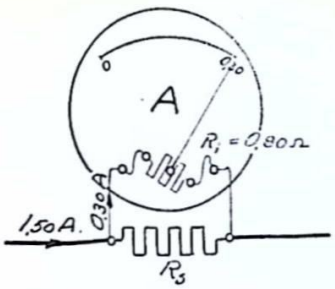


Fig. 60.

83. Inre resistansen hos en amperemeter är 0,40 ohm, och strömstyrkan för fullt utslag är 3,0 A. Till amperemetern hör en separat shunt med resistansen 0,18 ohm och två sladdar med 0,01 ohm i vardera. Vilken belastningsströmstyrka I motsvarar fullt utslag på amperemetern, då instrument och shunt äro inkopplade på a) det riktiga sättet enl. fig. 61 a? b) det felaktiga sättet enl. fig. 61 b?

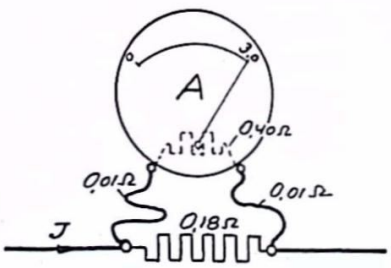


Fig. 61 a.

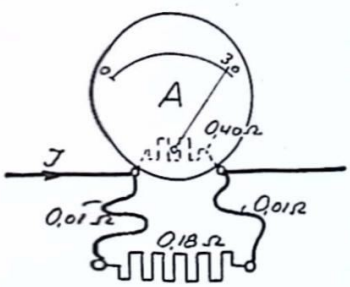


Fig. 61 b.

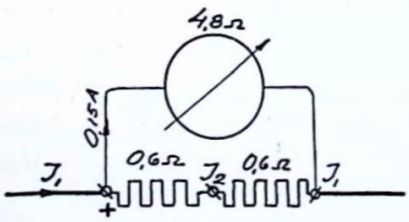


Fig. 62 a.

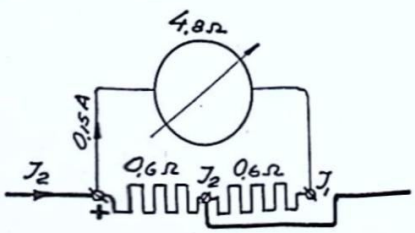


Fig. 62 b.

84. En amperemeter är försedd med inbyggda shuntar, varigenom tvenne mätområden erhållas (fig. 62 a och b).

Instrumentets inre resistans 4,8 ohm och största strömstyrkan genom detsamma 0,15 A. Beräkna strömstyrkorna I_1 och I_2 motsvarande fullt utslag i båda fallen.

Emk och polspänning.

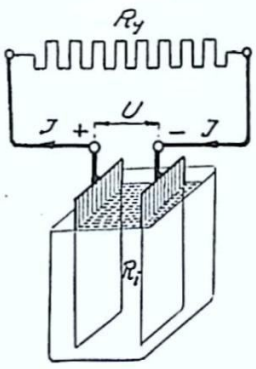


Fig. 63.

I en elektrisk strömkälla finnes alltid emellan plus- och minuspolen ett inre motstånd R_i om också resistansen i detta är relativt liten (fig. 63). Detta inre motstånd är i serie med det yttre motståndet R_y. Strömkretsens totala resistans R blir då

$$R = R_y + R_i$$

Den ström, som uppstår i kretsen, passerar genom det yttre och inre motståndet. Multipliceras varje term med strömstyrkan I, så erhålles

$$I \cdot R = I \cdot R_y + I \cdot R_i$$

$I \cdot R_y$ betyder här *yttre spänningsfallet*, vilket även är detsamma som *polspänningen* U.

$I \cdot R_i$ är *inre spänningsfallet*, och $I \cdot R$ är lika med summan av de yttre och inre spänningsfallen. Den spänning E, som elementet äger, dvs. dess *emk*, förbrukas helt av dessa båda spänningsfall.

Sålunda blir

$$E = I \cdot (R_y + R_i) \ldots\ldots\ldots \text{Formel 10 a.}$$

eller

$$E = U + I \cdot R_i \ldots\ldots\ldots \text{Formel 10 b.}$$

Olikheten i en strömkällas emk och polspänning framgår av formeln 10 b. Om I är lika med noll, dvs. elementet är obelastat, så blir $E = U$. *Ett elements emk är alltså lika med den polspänning, elementet har i strömlöst tillstånd.* Då elementet belastas, blir polspänningen lägre än emk, emedan en del av denna går åt för att täcka inre spänningsfallet. För en strömkälla är emk E och inre resistansen R_i att anse som oföränderliga, under det att polspänningen U är beroende på resistansen R_y i det yttre motståndet (det s. k. belastningsmotståndet).

Fig. 64 visar två element i serie. Batteriets emk blir lika med summan av elementens emk eller

$$E = E_1 + E_2$$

och batteriets inre resistans

$$R_i = R_{i_1} + R_{i_2}$$

Ett batteri av seriekopplade element kan jämföras med en sådan strömkälla, vars emk är lika med batteriets emk E och inre resistans lika med batteriets inre resistans R_i. För beräkning av strömstyrka och klämspänning hos batteriet kan formlerna 10 a och b utan vidare användas. Beräkningssättet framgår av följande exempel:

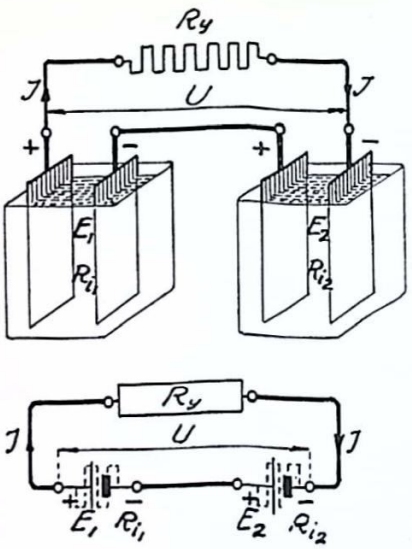


Fig. 64.

Ett batteri består av 12 st. element i serie, varje element med emk = = 2,2 V och inre resistans $R_i = 0{,}15$ ohm. Vad blir batteriets a) totala emk, b) resulterande inre resistans, c) strömstyrka och d) polspänning, då belastningsmotståndets resistans är 15,8 ohm?

a) Batteriets emk är lika med summan av elementens emk. Då elementens emk äro lika, så blir batteriets emk

$$E = 12 \cdot 2{,}2 = 26{,}4 \text{ volt.}$$

b) Om elementens inre motstånd äro seriekopplade blir enligt formeln 3 resulterande resistansen summan av resistanserna, som i detta fall blir

$$R_i = 12 \cdot 0{,}15 = 1{,}8 \text{ ohm.}$$

c) Batteriet kan nu liknas vid en strömkälla med emk $E = 26{,}4$ volt och inre resistansen $R_i = 1{,}8$ ohm. Yttre resistansen $R_y =$ 15,8 ohm.

Enligt formeln 10 a erhålles

$$26{,}4 = I \cdot (15{,}8 + 1{,}8)$$

eller

$$I = \frac{26{,}4}{15{,}8 + 1{,}8} = 1{,}5 \text{ ampere}$$

d) Klämspänningen U är lika med det yttre spänningsfallet $I \cdot R_y$. Vi erhålla direkt polspänningen

$$U = 1{,}5 \cdot 15{,}8 = 23{,}7 \text{ volt.}$$

Vid *kortslutning*, då yttre resistansen är noll, begränsas strömstyrkan endast av det inre resistansen. Då yttre resistansen är

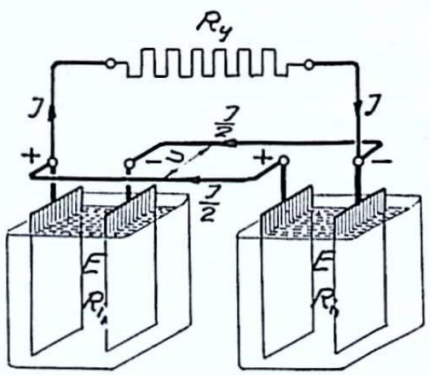
noll, så blir även polspänningen noll, och emk blir lika med inre spänningsfallet.

Enligt formeln blir kortslutningsströmmen I_k i föregående exempel

$$I_k = \frac{26{,}4}{0 + 1{,}8} = 14{,}7 \text{ ampere}$$

Vid *parallellkoppling* av två element (fig. 65) blir de inre motstånden parallellkopplade och i serie med yttre motståndet. För två lika element blir batteriets inre resistans hälften, för tre element tredjedelen av inre resistansen i ett element (se närmare härom i uppgift 29). Ett batteri med ett antal parallellkopplade *lika* element kan jämföras med en strömkälla, som har samma emk som hos ett element och inre resistans lika med ersättningsresistansen för samtliga elements inre motstånd.

Om vi ha 12 st. element parallellkopplade, vartdera elementet med emk = 2,2 volt och inre resistansen $R_{i_1} = 0{,}15$ ohm, så blir för detta batteri emk = 2,2 volt och inre resistansen $R_i = \frac{0{,}15}{12} = 0{,}0125$ ohm. Vad blir strömstyrkan och polspänningen, då belastningsmotståndets resistans är 0,125 ohm?



Strömstyrkan I beräknas enligt formeln 10 a.

$$I = \frac{2{,}2}{0{,}125 + 0{,}0125} = 16 \text{ ampere}$$

Polspänningen U erhålles av det yttre spänningsfallet

$$U = 16 \cdot 0{,}125 = 2{,}0 \text{ volt.}$$

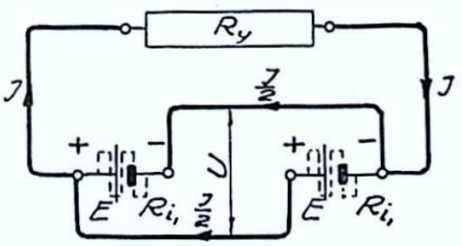


Fig. 65.

Kortslutningsströmstyrkan I_k blir i detta fall ($R_y = 0$)

$$I_k = \frac{2{,}2}{0 + 0{,}0125} = 176 \text{ ampere}$$

Ett exempel på blandad koppling erhålles, om de 12 elementen kopplas i tre grupper, varje grupp bestående av fyra seriekopplade element. Grupperna kopplas parallellt. Vad blir batteriets a) emk

b) inre resistans c) strömstyrka d) polspänning, då belastningsmotståndets resistans är 3,8 ohm, och e) kortslutningsströmstyrka?

a) Emk för 4 st. seriekopplade element vartdera på 2,2 volt är $4 \cdot 2{,}2 = 8{,}8$ volt. Varje grupp har alltså 8,8 volts emk, och då grupperna äro parallellkopplade, blir för batteriets emk

$$E = 8{,}8 \text{ volt.}$$

b) Inre resistansen i ett element är 0,15 ohm. För fyra seriekopplade element är inre resistansen $4 \cdot 0{,}15 = 0{,}60$ ohm, och då tre sådana grupper äro parallellkopplade, så blir inre resistansen

$$R_i = \frac{0{,}60}{3} = 0{,}20 \text{ ohm.}$$

$$R_i = 0{,}20 \text{ ohm.}$$

c) Den strömstyrka I man får, då yttre resistansen $R_y = 3{,}8$ ohm, erhålles av formeln 10 a

$$I = \frac{8{,}8}{3{,}8 + 0{,}2} = 2{,}2 \textit{ ampere}$$

d) Polspänningen U erhålles som i föregående exempel.

$$U = 2{,}2 \cdot 3{,}8 = 8{,}36 \textit{ volt.}$$

e) Kortslutningsströmstyrkan I_k blir i detta fall

$$I_k = \frac{8{,}8}{0 + 0{,}20} = 44 \textit{ ampere}$$

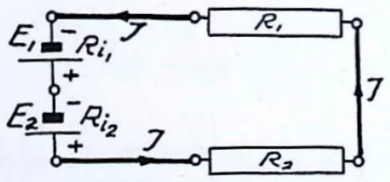


Fig. 66 a.

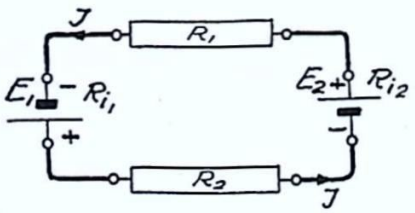


Fig. 66 b.

Om en elektrisk strömkrets består av seriekopplade element och motstånd, är det likgiltigt, i vilken ordning dessa förekomma i kretsen. Sålunda kunna två element med emk E_1 och E_2 och inre resistans R_{i_1} resp. R_{i_2} kopplas i serie med yttre resistansen R_1 och R_2, enl. fig. 66 a eller 66 b, varvid strömstyrkan i båda fallen blir

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2 + R_{i_1} + R_{i_2}}.$$

Som ni ser, ha vi i det föregående endast tillämpat ohms lag

och ovanstående uttryck är endast en vidsträcktare tillämpning av formeln 10. I en elektrisk strömkrets blir alltså

$$\textit{strömstyrkan} = \frac{\textit{strömkretsens verksamma emk}}{\textit{strömkretsens totala resistans}}.$$

Elementen kunna även kopplas *mot* varandra, då den i kretsen verksamma emk blir väsentligt mindre än den, som erhölls vid seriekoppling. *Det element, som har största emk, bestämmer strömmens riktning.* Det andra elementet, E_2 i fig. 67 a, vill sända en ström i motsatt riktning; detta element har alltså en *mot-emk*, som måste övervinnas av elementet E_1 för att strömmen I skall få den å figuren angivna riktningen.

Den i strömkretsen verksamma emk är i detta fall $E_1 - E_2$, och strömstyrkan blir

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_{i_1} + R_{i_2}}.$$

Det är även här likgiltigt, i vilken ordning elementen och motstånden förekomma i strömkretsen. I strömkretsen fig. 67 b blir strömstyrkan lika stor som i fig. 67 a. Koppling enl. fig. 67 b förekommer i praktiken vid laddning av ackumulatorer. E_1 är då den strömkälla, som avger elektrisk energi. Denna energi kan, så som visas i fig. 67 c, alstras av en generator och mottages av ackumulatorn E_2, som därigenom blir uppladdad. Yttre motstånden R_1 och R_2 kunna vara resistanserna i anslutningsledningarna. Vid laddning av ackumulatorer måste således generatorns emk vara högre än ackumulatorns emk, om laddningsenergien skall kunna överföras från generatorn till batteriet. Märk även, att *vid laddning skall generatorns pluspol förenas med pluspolen hos ackumulatorn.*

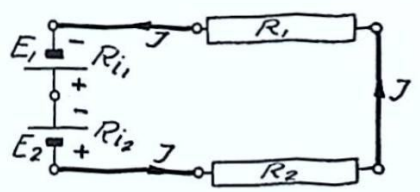


Fig. 67 a.

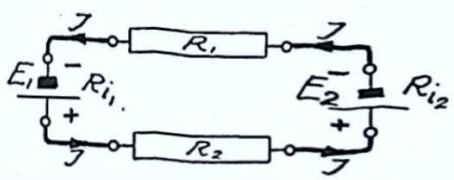


Fig. 67 b.

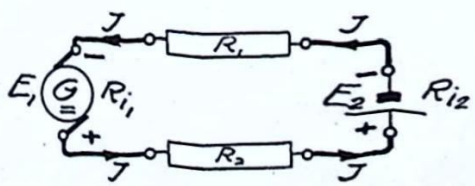


Fig. 67 c.

En likströmsgenerator, som alstrar

en emk av 255 V, skall uppladda ett ackumulatorbatteri bestående av 110 st celler, vardera med emk 2,2 V. Generatorns inre resistans 0,15 ohm, batteriets inre resistans 0,25 ohm och anslutningsledningarna tillsammans 0,10 ohm (fig. 68).

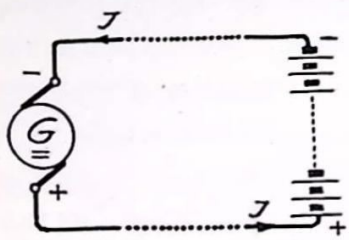


Fig. 68.

Huru stor blir laddningsströmstyrkan och polspänningen hos generatorn och batteriet?

$E_1 = 255$ volt

$E_2 = 2{,}2 \cdot 110 = 242$ volt.

$R_{i_1} = 0{,}15$ ohm.

$R_{i_2} = 0{,}25$ ohm.

$R_1 + R_2 = 0{,}10$ ohm.

Laddningsströmstyrkan beräknas av formeln:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_{i_1} + R_{i_2}}$$

$$I = \frac{255 - 242}{0{,}10 + 0{,}15 + 0{,}25} = 26 \text{ ampere}$$

Laddningsströmstyrkan = *26 A*.

Generatorns polspänning erhålles av formeln 10 b:

$E = 255$ volt

$R_i = 0{,}15$ ohm

$I = 26$ ampere

$255 = U_1 + 26 \cdot 0{,}15$

$U_1 = 255 - 3{,}9 = 251{,}1$ volt.

Generatorns polspänning *251,1 V*.

Anslutningsledningarnas spänningsfall $= 26 \cdot 0{,}10 = 2{,}6$ volt.

Batteriets polspänning är det, som återstår av generatorns polspänning, då ledningarnas spänningsfall frångragits.

$$U_2 = 251{,}1 - 2{,}6 = \textit{248,5 volt.}$$

Ni se härav, att då ackumulatorbatteriet laddas, så är polspänningen högre än emk. Skillnaden mellan batteriets polspänning och emk är

$$248{,}5 - 242 = 6{,}5 \text{ volt.}$$

Denna spänningsskillnad 6,5 volt är även lika med batteriets inre spänningsfall

$$I \cdot R_{i_2} = 26 \cdot 0{,}25 = 6{,}5 \text{ volt.}$$

Av denna uppgift kunna vi draga följande slutsatser:

För en elektrisk strömkälla (generator eller batteri), som *urladdas*, är

polspänningen = emk — inre spänningsfall

eller som formel

$$U = E - I \cdot R_i \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 10 b.}$$

Står däremot strömkällan under *laddning*, blir

polspänningen = emk + inre spänningsfall

och motsvarande formeln

$$U = E + I \cdot R_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 10 c}$$

Uppgifter.

85. Ett torrelement har emk $E = 1{,}50$ volt och inre resistans $R_i = 0{,}10$ ohm.

Beräkna: a) Polspänningen, då strömstyrkan är 1,8 A.
b) » » yttre resistansen är 2,4 Ω.
c) Strömstyrkan, » polspänningen är 0,95 V.
d) » » yttre resistansen är 0,40 Ω.
e) Yttre resistansen, » strömstyrkan är 2,4 A.
f) » » » polspänningen är 1,20 V.

86. En bilackumulator består av tre celler (element) i serie. Varje cell har 2,15 volts emk och 0,05 ohms inre resistans. Huru hög blir polspänningen, då strömstyrkan är 7 ampere?

87. Fem celler nifeackumulatorer äro seriekopplade. Varje cell har en emk av 1,25 volt och 0,04 ohms inre resistans. Huru stort är belastningsmotståndets resistans, då batteriets polspänning är 5,55 volt?

88. Sex torrelement, vartdera med emk 1,53 volt och 0,09 ohms inre resistans, äro parallellkopplade. Huru hög blir polspänningen, då yttre motståndet har resistansen 0,11 ohm?

89. Huru hög blir strömstyrkan vid kortslutning av batteriet i uppgift 88?

90. De sex torrelementen i uppgift 88 kopplas parallellt i tre grupper med två element i serie i varje grupp. Huru hög blir strömstyrkan, då polspänningen är 2,70 volt?

91. Elementen i uppgift 88 kopplas parallellt i två grupper med tre element i serie i varje grupp. Huru stor är den yttre resistansen, då strömstyrkan är 9 ampere?

Spänningsfall.

I fig. 69 visas en strömkrets, i vilken tre motstånd äro seriekopplade. Resistansen i ersättningsmotståndet är $R = 2 + 86 + 2 = 90$ ohm. Då spänningen mellan klämmorna A och B är 225 V, så blir strömstyrkan i kretsen $225 : 90 = 2{,}5$ A. Spänningen mellan A och C $u_1 = 2{,}5 \cdot 2 = 5{,}0$ V, mellan C och D $U = 2{,}5 \cdot 86 = 215$ V och spänningen u_2 mellan D och B, som är lika hög som mellan A och C, 5,0 V. Samma strömkrets, fastän mera detaljerad, visas i fig. 70.

Mellan C och D äro anslutna 5 st. parallellkopplade glödlampor, och deras ersättningsresistans är enl. fig. 69 angiven till 86 ohm. Ledningen mellan A och C samt mellan B och D har vardera resistansen 2,0 ohm. Enligt beräkningen blev strömstyrkan 2,5 A, och av spänningen 225 V erhålla lamporna 215 V. Vart har resten av spänningen, dvs. 10 V, tagit vägen? Ni inser, då ni jämför de båda figurerna, att dessa 10 V förbrukas i ledningarna, på grund av att de, hur goda ledare de än äro, alltid äga en viss resistans. Av spänningen 225 V har sålunda 215 V kommit till nytta i glödlamporna, under det att 10 V har gått förlorat i ledningar. Man brukar kalla denna del för spänningsförlust eller vanligare för *spänningsfall.*

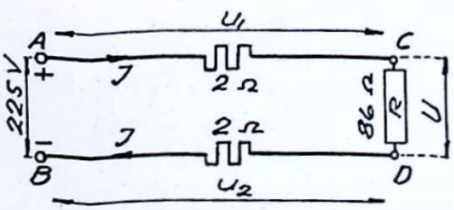


Fig. 69.

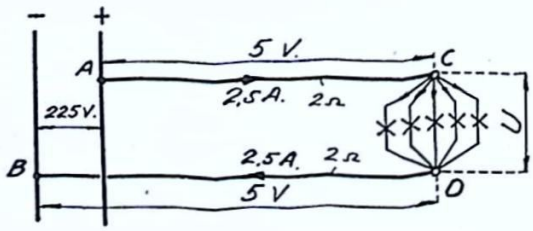


Fig. 70.

Av fig. 70 framgår, att 5 st. parallellkopplade lampor kräva 2,5 A. Om lamporna äro lika stora, så kräva de vardera 0,5 A och 4 lampor $4 \cdot 0{,}5 = 2{,}0$ A. Spänningsfallet i ledningen $A\,C$ blir enligt Ohms lag (formel 9) lika med $2 \cdot 2 = 4$ V. Samma spänningsfall, 4 V, ha vi även i ledningen BC, varför båda ledningarnas spänningsfall är tillsammans 8 V. Lampspänningen U blir då $225 - 8 = 217$ V och alltså 2 V högre, än då 5 lampor voro inkopplade. Ni kan själv räkna ut,

huru hög spänning lamporna erhålla, då 3, 2 och 1 lampa äro inkopplade, och ni skall då finna, att lampspänningen blir högre ju färre antalet lampor är. Om ingen lampa är tänd, så är strömstyrkan naturligtvis 0, och spänningen mellan C och D 225 V.

Härav bör framgå, att

spänningsfallet = strömstyrkan · resistansen i ledningarna. (Resistansen i ledningarna är summan av resistansen i till- och återledning.)

$$u_v = I \cdot R_l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 11 a.}$$

I föreskrifter etc. är spänningsfallet ofta angivet i procent av spänningen på nätet. 4 % spänningsfall betyder 4 volts spänningsfall på 100 volts nätspänning; för 225 volts nätspänning blir 4 % spänningsfall $\frac{4 \cdot 225}{100} = 9$ volt. Vid förbrukningsapparaterna (lampor, motorer etc.) blir spänningen $225 - 9 = 216$ volt.

Är spänningen på nätet U volt och spänningsfallet i procent u_p, så blir spänningsfallet i volt

$$u_v = \frac{u_p \cdot U}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 11 b.}$$

Uppgifter.

92. Vid huvudcentralen uppmätes en spänning av 226 V och spänningen vid glödlamporna 219 V. Huru stor är spänningsförlusten i ledningarna mellan centralen och glödlamporna och huru många procent utgör spänningsfallet av generatorspänningen?

93. En kopparledning har resistansen 1,2 Ω och genom ledningen går en ström på 15 A. a) Huru stor är spänningsfallet i ledningen? b) Huru stor är spänningen vid slutet av ledningen, när spänningen vid början är 235 V?

94. I en gruppledning av koppar var spänningsfallet 4,5 V. a) Huru stor resistans har ledningen, då strömstyrkan är 18 A? b) Huru lång är ledningen (räknat som 2-ledare), då arean är 4 mm²?

95. En elektrisk motor kräver 23 A i drift. Till denna har framdragits en 44 m lång dubbelledare med 6 mm² koppararea. Vilken spänning erhåller motorn, då spänningen vid ledningens anslutning är 224,5 V?

96. En gruppledning är ansluten vid en central, där spänningen är 115 V. I ledningens andra ända är anslutna 8 st. glödlampor, som kräva 0,5 A pr styck, fig. 71. Ledningens resistans är 1,2 ohm. Vilken spänning erhålla lamporna om a) 2 lampor b) 5 lampor och c) 8 lampor äro inkopplade?

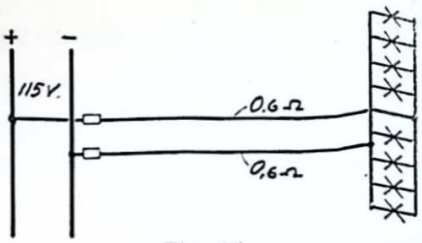


Fig. 71.

97. I fig. 72 visas en gruppledning av koppar med 1,5 mm² ledningsarea. a) Vad blir spänningsfallet i volt? b) Huru hög bör spänningen vara vid gruppcentralen, för att lamporna skola erhålla 220 V?

(Avgreningen till strömbrytaren skall även inräknas i ledningslängden.)

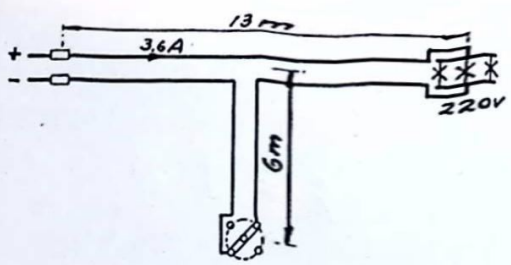


Fig. 72.

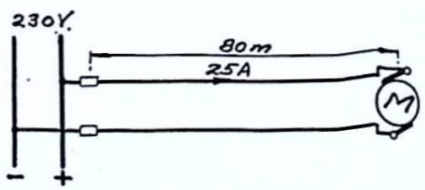


Fig. 73.

98. En motorledning är ansluten vid en central, där spänningen är 230 V. Vid full belastning kräver motorn 25 A (fig. 73). Huru grov kopparledning erfordras, om spänningsfallet inte får överskrida 5 % av spänningen vid centralen?

Vanligen finnas i belysningsgruppledningar flera avgreningar, varför spänningsfallsberäkningen får ske etappvis. I den gruppledning, som visas i fig. 74, beräknas spänningsfallet först i ledningssträckan *A*—*B*. Ni kan då få reda på, hur hög spänningen är i *B*. För att erhålla spänningen i *C* måste ni beräkna spänningsfallet i ledningssträckan *B*—*C*. På samma sätt får ni gå tillväga för att erhålla spänningen i *D*. Om vi antaga, att spänningen vid *A* är 223 volt, och spänningsfallet i ledningen *A*—*B* är 3 volt, så är spänningen i *B* 223 — 3 = 220 volt. Är spänningsfallet i ledningen *B*—*C* = 2 volt, så är spänningen i *C* 220 — 2 = 218 volt. Skulle spänningsfallet i ledningen *B*—*D* vara 1 volt, så är spänningen i *D* 220 — 1 = 219 V.

99. Beräkna spänningen i belastningspunkterna *C* och *D* i fig. 74, om ledningen utgöres av 1,0 mm² koppar! Spänningen vid centralen 221,5 V.

100. Beräkna spänningen i belastningspunkterna *A*, *B* och *C* för gruppledningen i fig. 75! Ledningen är av koppar och har 1,5 mm² area. Spänningen vid centralen 222,5 V.

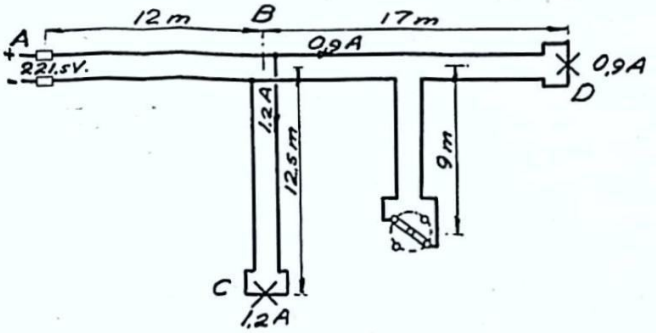


Fig. 74.

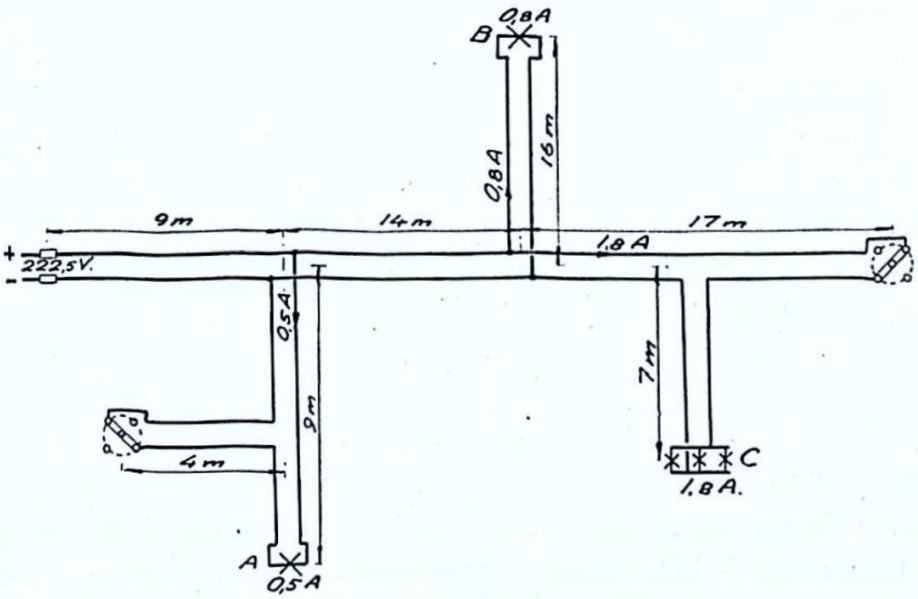


Fig. 75.

En viss förenkling och besparing erbjuder *treledarsystemet*. Detta kännetecknas av, att man har tvenne spänningsförande ledningar — *plus-* och *minusledning* — samt en neutral, i normala fall spänningslös ledare. Denna benämnes *nolledning* och är i regel förenad med jorden. Spänningen mellan plus- och minusledaren är dubbelt så hög som spänningen mellan endera av dessa ledare och nolledaren. Kan man erhålla en jämn fördelning av belastningen mellan

nolledningen och de spänningsförande ledningarna, så går ingen ström genom nolledningen. Då uppstår inget spänningsfall i denna. Även vid en mera ojämn fördelning av belastningen är treledaresystemet fördelaktigare än tvåledaresystemet.

101. I ett treledaresystem, fig. 76, äro alla tre ledningarnas areor 1,5 mm² koppar. Spänningen mellan nollan och vardera ytterpolen vid centralen 220 V. a) Vad blir strömstyrkan och strömriktningen i nolledningen? b) Vad blir lampspänningarna U_1 och U_2?

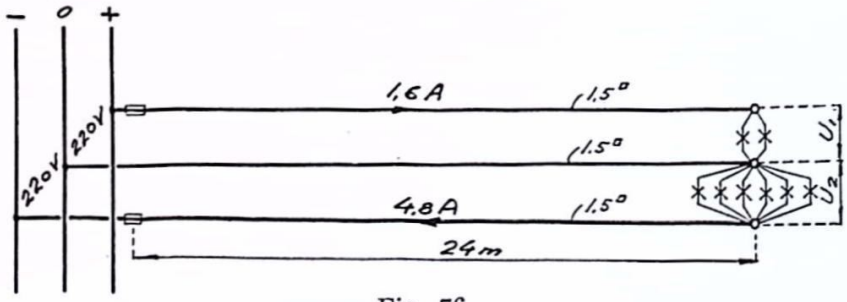


Fig. 76.

102. Vad blir lampspänningarna U_1 och U_2 i fig. 76, om det uppstår avbrott i nollan? Härvid förutsättes, att glödlampornas resistans är konstant.

Detta exempel torde visa, hur viktigt det är, att inget avbrott uppstår i nolledningen. Därför är det i föreskrifterna förbjudet att insätta smältsäkringar i nolledningen.

Uppmätning av resistans.

Genom lämplig kombination av motstånd kan man under vissa förutsättningar få mycket enkla metoder att jämföra deras resistans med varandra. I *Wheatstones brygga* (fig. 77) äro motstånden ordnade i en fyrkant, varvid det alltid är möjligt att reglera resistansen i ett av motstånden (i detta fall R_3) så, att vid slutning av strömkretsen ingen ström går genom galvanometern G. Är detta fallet, så blir spänningen mellan A och B lika med spänningen mellan A och D, eller

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_x.$$

Dessutom blir spänningen mellan B och C lika med spänningen mellan D och C; eller

$$I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_3.$$

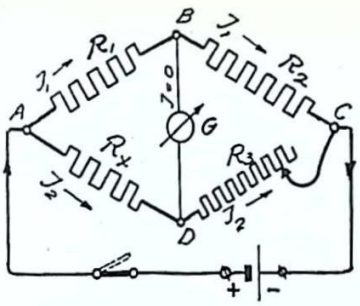


Fig. 77.

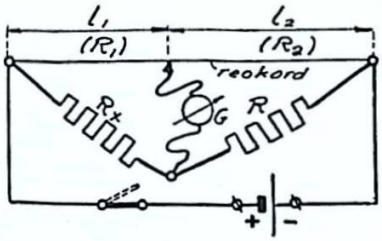


Fig. 78.

Genom division av de båda ekvationerna blir

$$\frac{I_1 \cdot R_1}{I_1 \cdot R_2} = \frac{I_2 \cdot R_x}{I_2 \cdot R_3}$$

och efter förkortning och multiplicering korsvis:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 12 a,}$$

dvs. *produkterna av resistanserna i motstående motstånd äro lika.*

Härav kan sedan erhållas

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 12 b.}$$

I formeln 12 b är det endast förhållandet mellan R_1 och R_2, som erfordras och inte resistansernas verkliga värde. Endast en av resistanserna i de tre motstånden måste således vara känd. Förhållandet R_1 till R_2 erhålles på ett enkelt sätt i den s. k. *reokordbryggan*, fig. 78, där en glidkontakt löper utefter en jämntjock motståndstråd (reokord). Även här är det möjligt att finna ett sådant läge för glidkontakten, att galvanometern blir strömlös, då strömkretsen slutes.

Ni inser att

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

varför formeln 12 b kan omskrivas till

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 12 c,}$$

då R är resistansen i det kända motståndet.

Vid uppmätning av resistansen i elektrolyter, jordplåtar etc. uppstå, då en likström passerar genom dessa, s. k. polarisationsspän-

ningar, vilka omöjliggöra mätningen. Sådana polarisationsspänningar undvikas, om man använder en växelströms-strömkälla. Man kan då, i stället för att använda sig av en galvanometer, avlyssna det läge, då telefontonen försvinner eller är svagast i en hörtelefon.

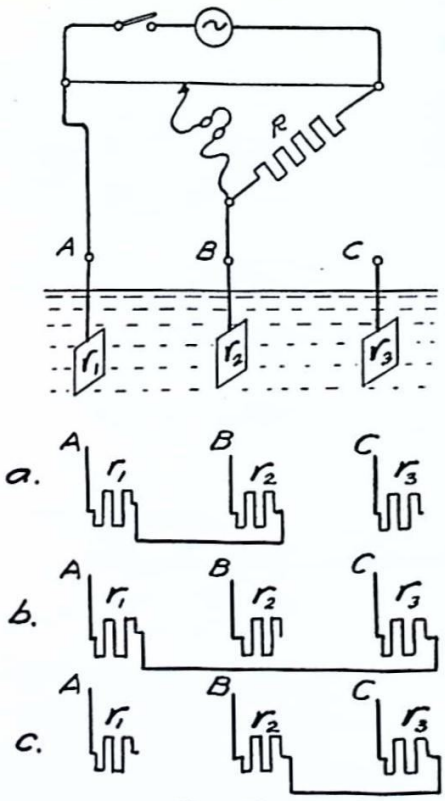


Fig. 79.

Resistansen i jordplåtar utgöres av den mer eller mindre goda kontakt, som förefinnes mellan plåten och omgivande jordlager. För att kunna bestämma storleken av jordningsresistansen måste man åtminstone provisoriskt anordna två extra jordplåtar, t. ex. genom att nedlägga plåtar i en brunn, närbelägen damm eller bäck etc. Avståndet mellan plåtarna bör dock inte understiga 20 m. Mätmetoden framgår då av fig. 79, där man först mäter resistansen mellan A och B $(= r_1 + r_2)$, därefter mellan A och C $(= r_1 + r_3)$ samt slutligen mellan B och C $(= r_2 + r_3)$.

Hur resistanserna sedan beräknas, framgår enklast av ett praktiskt exempel. Vid uppmätning erhölls mellan klämmorna A och B 22 ohm, mellan A och C 24,5 ohm och mellan B och C 32,5 ohm. Huru stora äro resistanserna r_1, r_2 och r_3?

Beräkningen utföres på följande sätt:

Genom ömsesidig addition av ekv. 1 och 2 erhålles

Ekv. 1 $r_1 + r_2 = 22$ ohm
» 2 $r_1 + r_3 = 24{,}5$ »
» 3 $r_2 + r_3 = 32{,}5$ »

$r_1 + r_2 + r_1 + r_3 = 22 + 24{,}5$
$2r_1 + r_2 + r_3 = 46{,}5$
$2r_1 + 32{,}5 = 46{,}5$
$2r_1 = 46{,}5 - 32{,}5$
$2r_1 = 14{,}0$
$r_1 = 7$ *ohm.*

$7 + r_2 = 22$ $\quad r_2 = 22 - 7$ $\quad r_2 = 15$ *ohm.*
$7 + r_3 = 24{,}5$ $\quad r_3 = 24{,}5 - 7$ $\quad r_3 = 17{,}5$ *ohm.*

Jordplåtsmätningens noggrannhet beror på, om man kan få de extra jordplåtarnas resistanser något så när likvärdiga med resistansen hos den jordplåt, som skall bestämmas. Vanligen kan man endast erhålla en plåt med tillräcklig låg resistans. I sådana fall tillämpar man *Wiecherts metod* som framgår av fig. 80, då två mätningar utföras, nämligen;

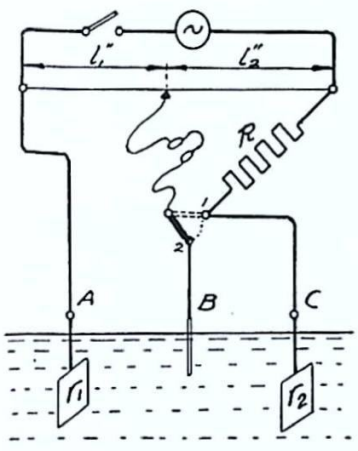


Fig. 80.

I. (Kontaktläge 1) Summan av resistanserna r_1 och r_2 bestämmes på samma sätt som förut

$$r_1 + r_2 = \frac{l_1'}{l_2'} \cdot R.$$

II. (Kontaktläge 2). Resistanserna r_1 och r_2 bliva här skilda åt, så att r_1 blir ensamt å ena sidan och r_2 och R i serie å andra sidan. Resistansen i jordkontakten B verkar endast som ett förkopplingsmotstånd i telefonkretsen.

$$r_1 = \frac{l_1''}{l_2''} \cdot (R + r_2).$$

Om vi antaga, att följande värden erhållits vid uppmätning

$l_1' = 37{,}5$ cm. $l_1'' = 18$ cm. $\quad r_1 + r_2 = \frac{37{,}5}{12{,}5} \cdot 10$

$l_2' = 12{,}5$ cm. $l_2'' = 32$ cm.

$R = 10$ ohm. $\quad r_1 = \frac{18}{32} \cdot (10 + r_2)$

$r_1 + r_2 = 30 \qquad r_2 = 30 - r_1$

$r_1 = \frac{9}{16} \cdot (10 + 30 - r_1)$

$16r_1 = 9 \cdot (40 - r_1)$

$16r_1 = 360 - 9r_1$

$25r_1 = 360 \qquad r_1 = \frac{360}{25}$

$r_1 = 14{,}4$ *ohm.*

Numera finnas mätbryggor, med vilka mätningen utföres enl. kompensationsmetoden. Resistansvärdet i jordplåten avläses direkt på en skala, när man erhållit kompensering i mätkretsarna.

Uppmätning av isolationsresistans.

Redan i inledningen omnämndes, att inget material är fullständigt oledande. Följaktligen måste en liten s. k. *läckström* passera igenom isolationen, så snart ledningen står under spänning. Denna läckström kan gå från den ena ledaren till den andra i samma strömkrets eller också från den ena ledaren leta sig fram till jord och genom denna återvända till strömkällan. Är isolationen dålig, betyder detta, att isolationsresistansen är förhållandevis liten, varvid läckströmmen blir rätt avsevärd. Läckströmmen orsakar uppvärmning, och därigenom försämras isolationen ytterligare. Därvid kan temperaturen hos ledningen bliva så hög, att man riskerar antändning av närbelägna brännbara ämnen. Huru låg får isolationsresistansen vara? Enligt gällande installationsföreskrifter skall ledningens isolationsresistans uppgå till minst den vid drift rådande spänningen i volt multiplicerad med 1 000, i varje fall lägst 250 000 ohm. Alltså

Isolationsresistansen = driftspänningen · 1 000.

Vidare står det i installationsföreskrifterna, att isolationsresistansen skall uppmätas för varje anläggningsdel mellan två på varandra följande säkringar *och efter den sista säkringen.* Härvid mätes resistansen dels mellan de sammanlagda ledarna och jord, dels mellan ledarna inbördes. Isolationsmätningen skall ske med likström. Mätspänningen skall vara minst lika med driftspänningen, dock ej under 220 V. Vid isolationsmätning mellan ledarna och jord skall strömkällans positiva pol anslutas till jord, den negativa till den ledning, som skall provas.

I en elektrisk installation kan isolationsfel förefinnas mellan en ledare och jord (fig. 81). Då man inte på förhand kan veta, vilken av ledarna som har ett sådant isolationsfel, böra lamporna vara inkopplade, och strömbrytarna tillslagna. Vid undersökning av isolationen *mellan* ledarna skola lampor och andra förbrukningsapparater istället vara urkopplade, men strömbrytarna tillslagna (fig. 82).

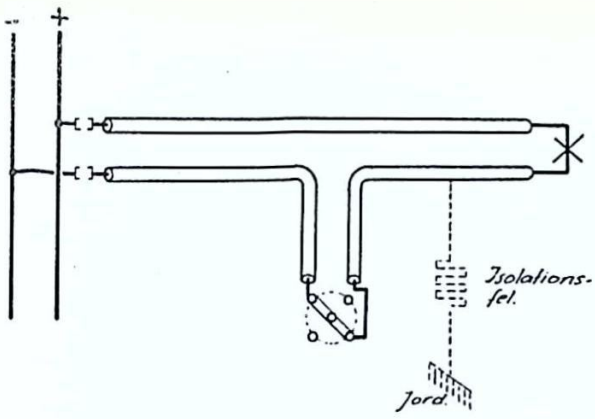


Fig. 81.

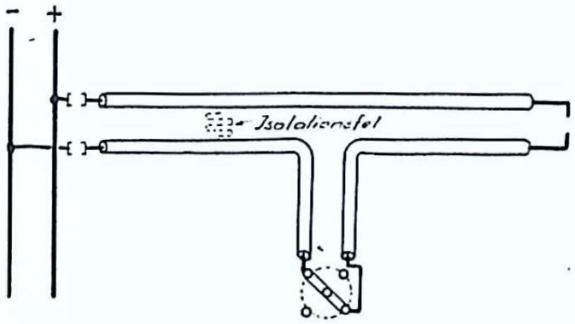


Fig. 82.

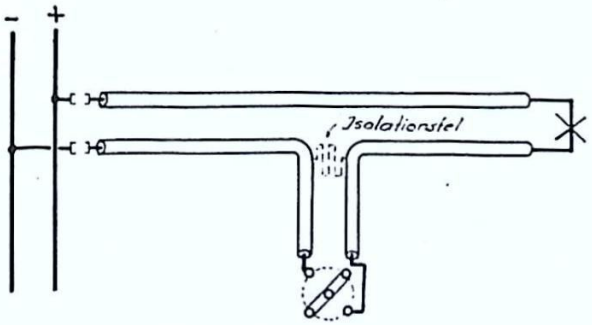


Fig. 83.

Det är även nödvändigt att isolationsprova strömbrytaravgreningar. Därvid skola lamporna vara inkopplade, men strömbrytarna frånslagna (fig. 83). Detta isolationsfel blir nämligen förbikopplat, då strömbrytaren är tillslagen.

Finnes likström tillgänglig på nätet, kan isolationsresistansen mätas med en känslig voltmeter — lämplig härför är vridspolinstrumentet, fig. 25 — om man vet hur stor dess inre resistans är. Ni får därvid tänka på, att om isolationsresistansen är mycket liten, får voltmetern utstå nära nog hela nätspänningen. För att ej riskera att voltmetern brännes sönder, bör ni se till, att denna har det mätområde, som motsvarar driftspänningen.

Hur voltmetern användes för resistansmätning visas i fig. 84. Ni ser att voltmetern är kopplad i serie med isolationsresistansen. Vi antaga, att nätspänningen är 220 volt, voltmeterns utslag 42 volt, voltmeterns inre resistans 150 000 ohm.

Spänningsfallet i isolationsresistansen R_x är 220 — 42 = 178 volt. Strömmen genom isoleringen är densamma som genom voltmetern, alltså

$$I = \frac{42}{150\,000} = 0{,}00028 \text{ ampere}$$

Härav erhålles

$$R_x = \frac{178}{0{,}00028} = 636\,000 \text{ ohm.}$$

Isolationsresistansen är 636 000 ohm.

Då voltmeterns utslag här är beroende på den resistans, som är inkopplad, kan voltmeterskalan ersättas med en resistansskala. Är voltmeterns egen resistans som förut 150 000 ohm, så erhålla vi lätt isolationsresistansen R_x (fig. 84), då nätspänningen är 220 volt för de i nedanstående tabell angivna voltmeterutslagen.

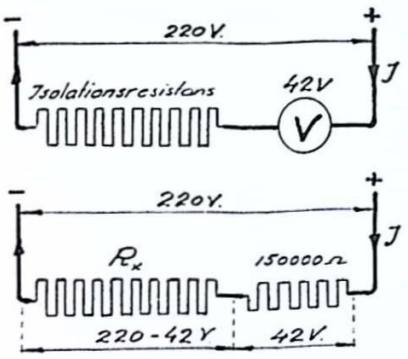


Fig. 84.

Spänningsfall i voltmetern volt	Spänningsfall i isolationsresistansen volt	Isolationsresistansen storlek ohm
0	220	oändligt stort
20	200	1 500 000
55	165	450 000
110	110	150 000
165	55	50 000
220	0	kortslutning

Vi skulle då, som visas i fig. 85, kunna komplettera voltmeterskalan med en skala för resistansen, en s. k. *ohmskala*. Som ni ser, får denna ett annat utseende än voltmeterskalan. Voltskalan börjar



Fig. 85.

vid ett nollvärde, under det att ohmskalans begynnelsevärde är oändligt stort. Fullt utslag på voltmetern motsvarar här nollvärdet på ohmskalan.

Hur voltmetern inkopplas, då det gäller att bestämma isolations-

resistansen mot jord, visas i fig. 86. Den positiva polen på ledningen anslutes över ett motstånd, lämpligen en glödlampa, till ett jordat föremål, t. ex. vattenledningsrör. Glödlampan erfordras för att inte riskera kortslutning, om i ledningssystemet finnes jordad nolledare, eller om isolationsfel finnes på minusledningen. Strömkretsen blir då ifrån plusledaren — glödlampan — jorden — isolationen (resistansen R_x) — voltmetern — minusledaren. I denna krets är glödlampans resistans mycket liten i förhållande till voltmeterns och isolationens resistans. Vid undersökning av isolationen mellan ledarna kopplas voltmetern in enligt fig. 87. Den ena ledaren är ansluten till nätet (säkringen inskruvad), men den andra ledaren är i stället urkopplad (säkringen urskruvad). Genom att inkoppla voltmetern mellan minusledningen och den urkopplade ledaren, erhålles en sluten strömkrets, bestående av plusledaren — isolationsresistansen *Rx* — voltmetern — minusledaren.

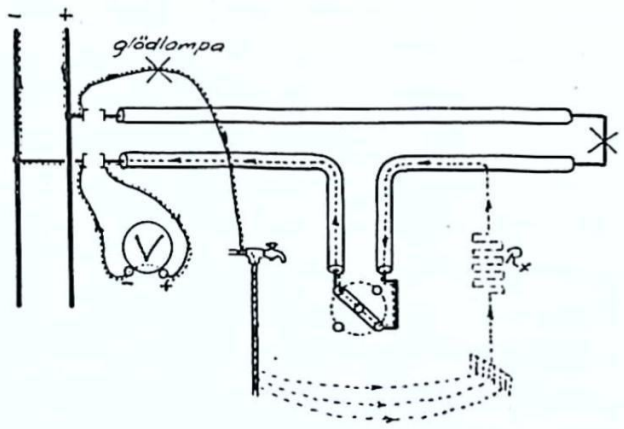


Fig. 86.

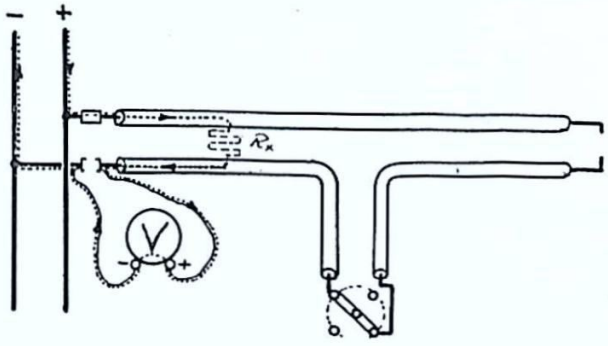


Fig. 87.

I många fall har man inte tillgång till likström för isolationsmätningen. Därför använder man numera oftast s. k. *isolationsprovare*, fig. 88, där man själv kan alstra behövlig spänning för mätningen. En sådan isolationsprovare består av ett vridspolsinstrument, som vanligen är försett med såväl voltskala som ohmskala enligt fig. 85 samt en likströmsgenerator, vilken drives med handkraft. Om man vevar tillräckligt fort, så erhåller man behövlig spänning, vilken kan avläsas på voltskalan, om man trycker ned den lilla knappen, som kortsluter isolationsmotståndet. När

man släpper knappen, inkopplas isolationsmotståndet, och visaren går tillbaka till det läge, som motsvarar isolationsresistansens storlek. Isolationsprovaren inkopplas på samma sätt som voltmetern i fig. 86, då isolationsresistansen mellan ledarna och jord uppmätes, och enligt fig. 87 för bestämning av isolationsresistansen mellan ledarna. Först måste dock + och —ledningen förbindas med varandra.

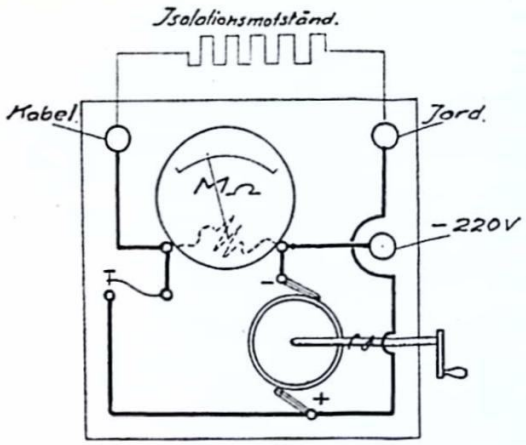


Fig. 88.

Elektrisk effekt.

På våra vanliga elektriska förbrukningsapparater, såsom glödlampor, värmeapparater, etc., finnes utom spänningen även angivet det antal *watt*, som apparaten kräver. Denna uppgift ger oss ett begrepp om, vilken nytta vi ha av apparaten. Ni vet, att en lampa, som är påstämplad 25 watt, ger mycket mindre ljus än en lampa på 60 eller 100 watt, fastän de äro avsedda för samma spänning. Likaså kan vi med ett strykjärn på 600 watt få ett arbete mycket snabbare utfört, än om det vore på 300 watt. Denna prestationsförmåga hos apparaten är det, vi kalla effekt. Som enhet för effekt har man inom elektrotekniken *watt* (*W*), *kilowatt* (*kW*) eller *megawatt* (*MW*)

$$1\ kW = 1\,000\ W$$
$$1\ MW = 1\,000\,000\ W$$

Huru mycket är 1 watt? Man har fastställt, att om *1 ampere passerar genom ett motstånd med resistansen 1 ohm, så utvecklas i motståndet en effekt av 1 watt.*

Huru inverkar spänningen, strömstyrkan och resistansen på effekten? Vi begagna därvid samma metod som för härledning av ohms lag med hjälp av de i fig. 51 a — e angivna kombinationerna. Dessa återfinnas även i fig. 89. Vi utgå ifrån fig. 89 a. I motståndet 1 ohm utvecklas en effekt av 1 watt, då strömmen är 1 A. Spänningen på motståndet är 1 V. Äro två sådana motstånd serie-

kopplade (fig. 89 b), så blir effekten 1 watt i vartdera motståndet eller sammanlagt 2 watt. I fig. 89 c visas samma förlopp som i

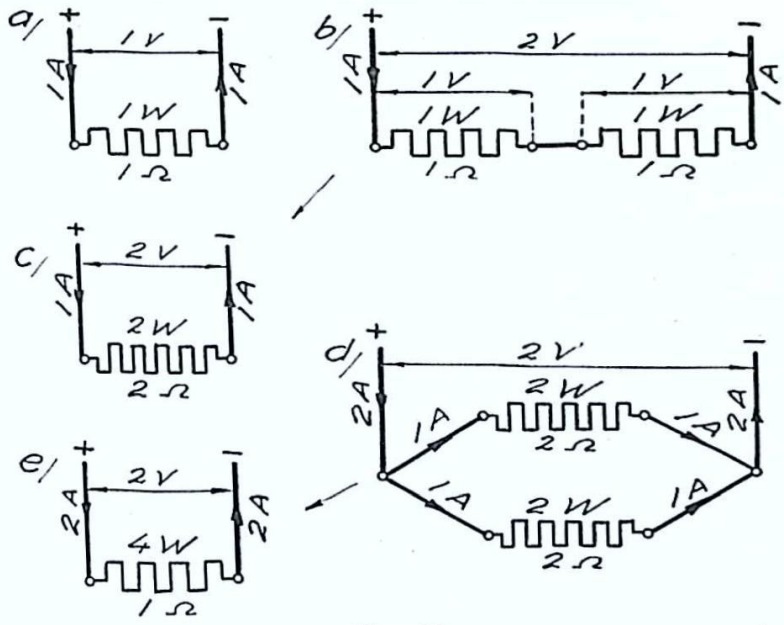


Fig. 89.

89 b, där ni ser, att effekten blir 2 watt i ett motstånd på 2 ohm, då spänningen är 2 V. Kopplas två sådana motstånd parallellt på samma spänning enl. fig. 89 d, så blir totala effekten 4 watt, då spänningen är 2 V och strömstyrkan 2 A. I fig. 89 e visas samma förlopp som i fig. 89 d. Om ni jämför de olika förloppen, finner ni, att såväl spänning som strömstyrka inverkar på effekten. Effekten blir dubbelt så stor i motståndet i fig. 89 c som i fig. 89 a, på grund av att spänningen är dubbelt så hög och fyra gånger större i fig. 89 e, som i fig. 89 a, emedan både spänning och strömstyrka blivit fördubblade. Följaktligen blir

effekten = spänning · strömstyrka

eller som formel

$$P = U \cdot I \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 13 a.}$$

Enligt ohms lag (formel 9) är $U = R \cdot I$

Insättes detta värde på U erhålles

$$P = R \cdot I^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 13 b.}$$

Vi kunde även i formel 9 ersätta I med $\frac{U}{R}$ då vi erhålla

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 13 c.}$$

Effekten kan således beräknas, om spänningen och strömstyrkan äro kända. Dessa kan ni få reda på, om ni har inkopplat volt- och amperemeter i strömkretsen. Har ni inkopplat en *wattmeter*, kan ni avläsa effekten direkt. En *wattmeter* (fig. 90) kan sägas vara en kombination av volt- och amperemetern och består av tvenne spolar — en fast och en rörlig. Den fasta spolen — *strömspolen* — kopplas i serie med belastningen (inkopplas således som en amperemeter) och den rörliga spolen — *spänningspolen* — inkopplas parallellt med belastningen (anslutes alltså som en voltmeter). Liksom vridspolsinstrumentet (fig. 25) har wattmetern en rörlig spole i ett magnetiskt fält. Hos vridspolsinstrumentet erhålles magnetismen av en permanent magnet, men hos wattmetern alstras denna av strömmen genom strömspolen. Vore strömmen i strömspolen konstant, så bleve wattmeterns utslag beroende på spänningen (wattmetern verkar då på samma sätt som en voltmeter). Är däremot spänningen konstant, så blir utslaget hos wattmetern beroende på strömstyrkan genom strömspolen (wattmetern gör samma tjänst som en amperemeter). Då wattmetern alltså påverkas i samma riktning av såväl strömstyrka som spänning, kan denna användas som mätare av effekten.

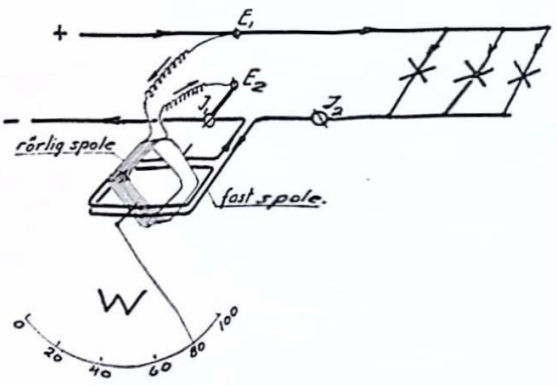


Fig. 90.

Uppgifter.

103. Beräkna och insätt de uppgifter som saknas i tabellen.

	1	2	3	4	5	6	7	8
P				600 W	800 W	900 W	1,5 kW	9,6 kW
U	120 V	130 V		125 V			0,3 kV	
I	2,5 A		3,5 A		6,25 A			
R		50 Ω	40 Ω			56,25 Ω		6,0 Ω

104. För vilken effekt är strykjärnselementet i uppgift 45?

105. Kokplattan i uppgift 31 är inkopplad på 220 V. Huru stor är effekten vid varje kontaktläge?

106. Huru stor strömstyrka kräver en 220 V glödlampa på 150 W, då den är inkopplad på ovannämnda spänning?

107. Huru stor är resistansen hos en elektrisk kokplatta påstämplad 1000 W, 220 V?

108. För vilken spänning är den apparat avsedd, som är påstämplad 300 W, 48 ohm?

109. En projektions-glödlampa är på 250 W vid 160 V. Huru stor förkopplingsresistans R_f (fig. 91) måste användas, då den tillgängliga spänningen är 220 V?

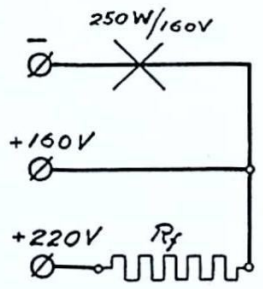


Fig. 91.

110. En kokplatta är påstämplad 800 W, 220 V. Huru många watt kräver kokplattan, då den är inkopplad på 190 V?

111. På ett strykjärn är angivet 350 W, 110 V. Vad blir effekten, om strykjärnet anslutes på 130 V?

112. En apparat kräver 484 W vid 220 V. Huru stor resistans skall kopplas i serie, för att vid samma spänning apparaten skall upptaga 400 W?

113. En apparat på 125 W, 110 V är kopplad i serie med en annan apparat på 200W, 110 V och ansluten på 220 V. Beräkna a) spänningen och b) effekten hos vardera apparaten.

114. I en shuntmotor (fig. 92) har ankaret resistansen 0,8 ohm och fältlindningen 950 ohm. Motorn kräver vid full belastning 6,5 A, då spänningen är 220 V. Beräkna a) motorns tillförda effekt, b) effektförlusten i ankaret och c) effektförlusten i fältlindningen.

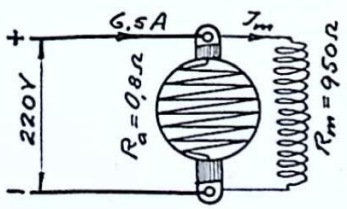


Fig. 92.

115 a. En wattmeter för 5 A, 90 V har en skala omfattande 150 skaldelar.

a) Vilken effekt motsvarar 96 skaldelar? b) Huru många skaldelars utslag erhålles för 135 W?

115b. Spänningspolen i ovannämnda wattmeter är i serie med ett förkopplingsmotstånd, så att konstanten blev = 8 dvs. 1 skaldel = 8 watt.
a) Huru många skaldelar motsvarar en effekt, där strömstyrkan är 3,2 A och spänningen 215 V. b) Vilken spänning är angiven på förkopplingsmotståndet?

116. En wattmeters strömspole har resistansen 0,018 ohm och spänningsspolen 9 000 ohm. Huru stor blir effektförlusten i wattmetern, då strömstyrkan är 3,5 A och spänningen 45 V?

Sambandet mellan olika effektenheter.

Mekanisk effekt angives ofta i *kilopondmeter per sekund* (kpm/s), tidigare även i *hästkraft* (hk). Enheten *newton-meter per sekund* (Nm/s) är detsamma som enheten *watt* (W)

$1\ hk = 736\ W$

$1\ hk = 75\ kpm/s$

Därav erhålles

$$1\ kpm/s = \frac{736}{75}\ W \qquad \underline{1\ kpm/sek = 9{,}81\ W}$$

$$1\ W = \frac{75}{736}\ kpm/s \qquad \underline{1\ W = 0{,}102\ kpm/s}$$

Uppgifter

117. Förvandla 1840 watt till a) hk b) kpm/s.

118. Huru många watt är a) 5,4 hk, b) 3150 kpm/s?

119. Huru många hästkrafter svarar mot 18,5 A vid 440 V.?

120. Huru många kpm/s motsvarar effektförbrukningen i ett motstånd med resistansen 140 ohm, då strömstyrkan genom densamma är 1,5 A?

121. Vilket är det minsta antal kW, som erfordras för att hissa upp en 350 kg tung låda med en hastighet av 0,8 m/s? (Mekanisk effekt i kpm/s erhålles, då kraften i kp multipliceras med hastigheten i m/s).

Elektrisk energi.

Ni vet nog, att solen är vår energikälla, och att värme, ljus, elektricitet etc. endast äro olika former av den från solen utstrålade energien. Vissa ämnen såsom stenkol, torv, mineraloljor m. m. hava under längre förhistoriska perioder upplagrat solenergi, som vi nu kunna utnyttja. Så kunna vi t. ex. med fotogen driva motorer och erhålla mekanisk energi, men vi använda även fotogen för att få värme och ljus. Av en liter fotogen få vi en viss bestämd mängd energi i en eller annan form. En liter fotogen räcker åtskilliga timmar att hålla en vanlig fotogenlampa tänd. Är det en stor lampa, drar den mera fotogen, dvs. då räcker en liter inte så länge.

Elektriciteten är också en sådan handelsvara, som vi betala efter den mängd, vi förbrukat. Energimängden, den vi för korthetens skull kallar arbetet, uppmätes vanligen i *kilowattimmar* (förkortat kWh). *En* kilowattimme förbrukas, då vi i en motor, värmeapparat etc. utnyttja *en* kilowatt under *en* timme. För en kilowattimme kan vi även disponera en halv kilowatt i två timmar. Ni inser då, att effekten är ett tillstånd som kan vara konstant eller föränderligt, under det att *arbetet* är en mängd, som ständigt ökas, så länge en effekt är verksam. Vi kunna därvidlag likna effekten vid hastigheten hos en kropp i rörelse, och arbetet vid den vägsträcka, som kroppen har passerat från utgångsläget.

Är hastigheten konstant, så gäller uttrycket

$$\text{vägen} = \text{hastigheten} \cdot \text{tiden}$$

och för arbetet erhålles liknande uttryck, om *effekten är konstant*

$$\textit{arbetet} = \textit{effekten} \cdot \textit{tiden}.$$

Motsvarande formel blir då

$$\boxed{A = P \cdot t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 14.}$$

Enheten kilowattimme är visserligen den inom elektrotekniken allmännast förekommande arbetsenheten, men denna rättar sig givetvis efter de enheter, som gälla för effekten och tiden. Är effekten angiven i watt och tiden i sekunder, blir arbetet i *wattsekunder* (Ws) [denna enhet är lika med enheterna *newtonmeter* (Nm) och *joule*].

Då 1 kW är 1 000 W och 1 timma är lika med 3 600 sekunder så blir tydligen

$$1\ kWh = 3\,600\,000\ Ws.$$

Av formel 14 framgår, att om tiden t är 1,0 sekund, så motsvaras effekten av det arbete, som uträttas på denna tidsenhet. Emellertid kan effekten även under 1 sekund förändra sig avsevärt, men det värde, som erhålles av arbetet per sekund, utgör en *medeleffekt*, som i många fall kan vara konstant under längre tidsperioder.

I det föregående har ni sett att

$$1\ kpm/s = 9{,}81\ W.$$

1 kpm/s erfordras om massan 1 kg lyftes 1 m rakt uppåt på 1 s. Det arbete, som då utvecklas på 1 s, är 1 kpm. Effekten 9,81 W utvecklar på 1 s 9,81 Ws och vi erhålla då att

$$1\ kpm = 9{,}81\ Ws.$$

eller

$$1\ Ws = 0{,}102\ kpm.$$

Lätt inses att

$$1\ kWh = 3\,600\,000\ Ws = 3\,600\,000 \cdot 0{,}102\ kpm.$$

Härav erhålles

$$1\ kWh = 367\,200\ kpm.$$

Arbetet beräknad enligt formeln 14 kan sägas grafiskt motsvara en yta. Om effekten är konstant, blir ytan en rektangel (fig. 93) med effekten P som höjd och tiden t som bas. Fastän detta förlopp är mycket vanligt i praktiken, förekomma även en mångfald andra fall,

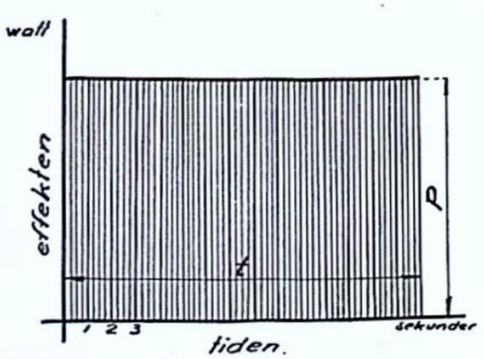


Fig. 93.

där effekten förändrar sig på ett mer eller mindre regelbundet sätt. Ett par fall, där effektförändringen sker regelbundet, visas i fig. 94 a och b. I förloppet fig. 94 a kan man lätt fastställa den medeleffekt, som gäller för hela tiden, under det att man i fig. 94 b får uppdela belastningsperioden i ett antal kortare tidsavsnitt, då effektförändringen i varje sådan del inte blir så synnerligen stor.

Hur effekten än förändrar sig, så kan våra vanliga kilowattimmätare uppmäta den verkliga energiförbrukningen. Den vanligaste bland dessa är *motormätaren* (fig. 95), i vilken spänningsspolen är roterande och strömspolarna fasta.

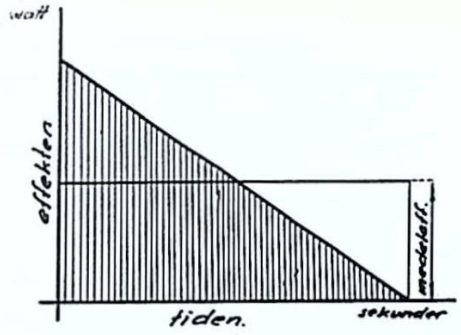


Fig. 94 a.

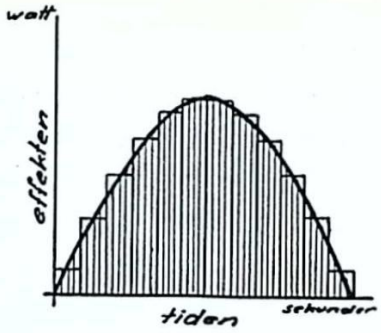
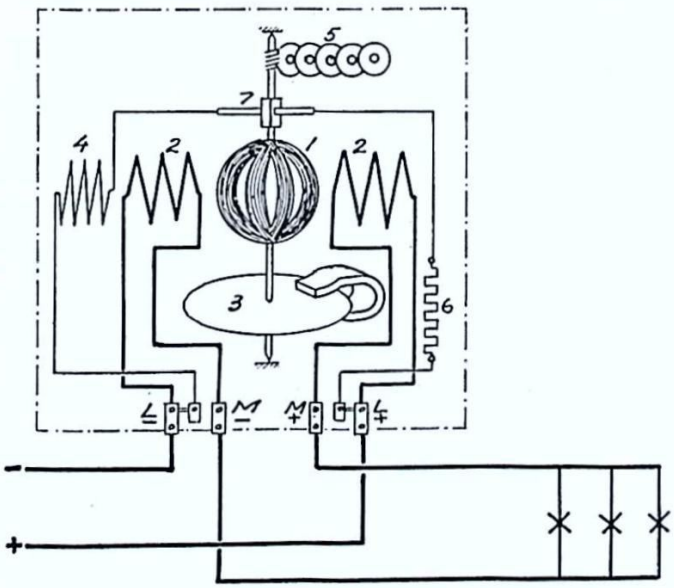


Fig. 94 b.

Ni återfinner i dessa mätare samma huvuddelar som i en likströmsmotor. För att mätaren skall registrera den verkliga energiförbruk-



1. Spänningsspole (ankare)
2. Strömspolar (fältlindn.)
3. Bromsskiva
4. Startspole
5. Räkneverk
6. Förkopplingsmotstånd
7. Kollektor

Fig. 95.

ningen, måste mätarmotorn rätta sitt varvantal efter den effekt, som råder i varje ögonblick. Detta varvtal erhåller mätaren, genom att den belastas med en liten virvelströmsbroms. Genom att låta en koppar- eller aluminiumskiva rotera mellan polerna av en stålmagnet, alstras virvelströmmar i skivan. Dessa verka bromsande, och bromsverkan blir starkare ju hastigare skivan roterar. När effekten är liten på nätet, så är strömmen genom strömspolarna svag. Mätarmotorn är då svag och orkar endast driva bromsskivan långsamt. Vid större effekter på nätet blir drivkraften större på

mätaren, och bromsskivan roterar hastigare. Mätarmotorn driver även ett räkneverk, i vilken utväxlingen är sådan, att antalet varv på mätaren omsättes direkt till motsvarande kilowattimmar. På mätarskylten finnes angivet det antal varv, som motsvarar en kilowattimme. Fig. 96 visar en sådan skylt med de uppgifter som brukar angivas på densamma.

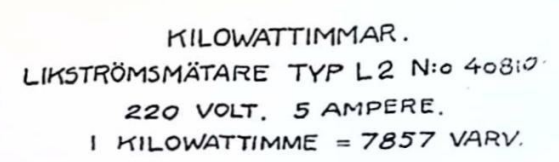


Fig. 96.

Emellertid äro våra vanliga förbrukningsapparater, såsom glödlampor, kokplattor, motorer etc., avsedda för en viss bestämd spänning. Utsättas de för en högre spänning, överansträngas de och gå sönder, och om spänningen är för låg så kunna de inte vara till den nytta, som man fordrar av dem. Elektricitetsverken hålla därför den fastställda spänningen så konstant som möjligt. Det kan därför vara obehövligt, att så anordna de vanliga elektricitetsmätarna, att de även taga hänsyn till spänningen. När denna är konstant, blir den magnetiska verkan, som spänningsspolen utövar, även konstant. Spänningsspolens uppgift i motormätaren kan därför övertagas av en permanent magnet. Den förenklade typ av mätare, som man därvid erhåller, kallas *amperetim-mätare*, eftersom det antal varv, mätaren gör, är beroende på såväl strömstyrkan som tiden.

I formeln 14 är

$$A = P \cdot t.$$

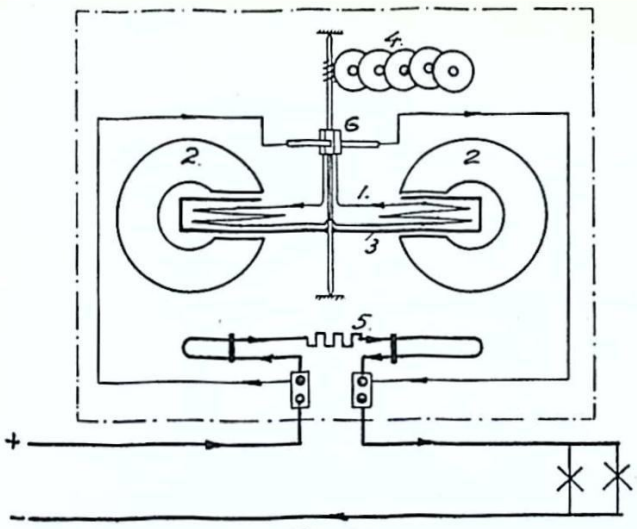
och effekten enligt formeln 13 a

$$P = U \cdot I.$$

Formeln 14 kan då även skrivas

$$\boxed{A = U \cdot I \cdot t.}$$

Om spänningen är konstant t. ex. 220 volt skulle $A = 220 \cdot I \cdot t.$ Produkten $I \cdot t$ kallar man *elektricitetsmängd* och enheten för denna kan vara *amperesekund* (As) eller *amperetimma* (Ah). Amperetimmätarens räkneverk anger antalet kilowattimmar endast under den förutsättningen, att mätaren är inkopplad på ett nät, som håller den spänning, som är angivet på mätaren. En amperetim-mätare för 220 volt, som inkopplas på 110 volts nät, kommer att angiva dubbelt så många kWh än som verkligen förbrukats. Fig. 97 visar en ampere-



1. Strömspole (ankare)
2. Stålmagneter (fält)
3. Bromsskiva
4. Räkneverk.
5. Reglerbar shunt
6. Kollektor.

Fig. 97.

tim-mätare. Strömspolen, som här blir den rörliga spolen, har fått en sådan form, att den kan inläggas i bromsskivan. Stålmagneten ersätter spänningsspolen, samtidigt som den har till uppgift att alstra virvelströmmarna i bromsskivan. Av fig. 97 ser ni, att amperetim-mätaren inkopplas på samma sätt som en amperemeter.

Vi återgå ännu en gång till strömningsförloppet i fig. 2 a. Här har vi ett exempel på en strömkrets, där den värmeenergi, som utvecklas i värmepannan, överföres och utnyttjas i värmeelementet. Strömstyrkan i strömkretsen motsvaras av den mängd vatten, som varje sekund strömmar in i värmeelementet. Spänningen motsvaras av temperaturskillnaden mellan det varma och avkylda vattnet i värmeelementet. Ni inser då, att den värmemängd, som upptages i värmeelementet, inte enbart beror på den mängd vatten, som strömmar igenom, utan även på det antal grader, vattnet avkyles, då det passerar genom värmeelementet. Vi kunna då få likartade förlopp i värmeströmkretsen, som i den elektriska strömkretsen. Värmeenergien uppmätes i *kilogramkalorier* (kcal). *En* kilogramkalori är den värmemängd, som *avgives*, då *ett* kilogram vatten (= *en* liter eller *en* kubikdecimeter vatten) avkyles *en* grad Celsius, eller den värmemängd, som *erfordras*, för att uppvärma *ett* kg vatten *en* grad Celsius.

Vi få då följande jämförelser:

Då vattenströmningen i värmeledningssystemet är 2 kg pr	Då strömstyrkan i den elektriska strömkretsen är 2 A, pas-

sek, så passerar på 45 s en vattenmängd av $2 \cdot 45 = 90$ kg.

Om temperaturskillnaden i värmeelementet är 50°, så upptager elementet $90 \cdot 50 = 4\,500$ k cal.

serar på 45 s en elektricitetsmängd om $2 \cdot 45 = 90$ A s.

Om spänningsskillnaden i motståndet är 50 V, upptager motståndet $90 \cdot 50 = 4\,500$ Ws.

Genom försök har det konstaterats att

$$1\ kcal = 427\ kpm.$$

Förut hade vi att

$$1\ kWh = 367\,200\ kpm.$$

Genom att dividera 367 200 *kpm* med 427 erhåller ni

$$1\ kWh = 860\ kcal.$$

Försök.

Inkoppling och kontrollering av wattmeter och kilowattimmätare. De uppgifter, som finnas å märkplåten på wattmetern resp. kilowattim-mätaren, antecknas, exempelvis på följande sätt:

Wattmeter:

Fabr. .....

..... *V.* ..... *A.*

..... skald. = ... *W.*

Kilowattim-mätare:

Fabr. .....

..... *V.* ..... *A.*

..... varv = 1 *kWh.*

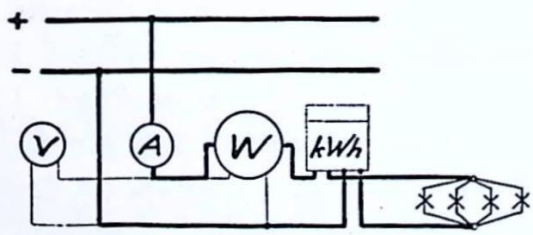


Fig. 98 a.

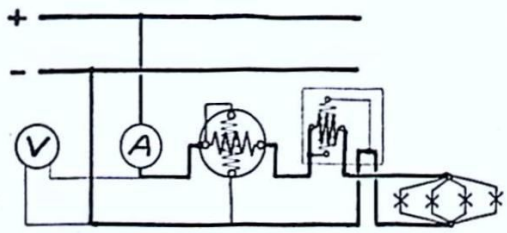


Fig. 98 b.

För inkoppling av instrument och mätare har ni ett schema i fig. 98 a. Samma schema, men mera detaljerat, finner ni i fig. 98 b. Som belastning behöver ni ett lampmotstånd med plats för 4 à 6 lampor à 150 watt. Strömstyrka och spänning avläser ni på ampere- resp. voltmetern. För att säkrare fastställa belastningstiden erfordras ett tidtagarur. I stället för att avläsa energiförbrukningen på mätarens siffertablå bör ni fastställa, huru lång tid, som erfordras för bromsskivan att göra det antal varv, som motsvarar 0,01 eller 0,02

kWh. De avläsningar, som ni gör, kan införas i nedanstående tabell.

Spänning U	Strömstyrka I	Beräknad effekt $U \cdot I$	Avläst effekt P	Belastn.-tid t	Beräknad energiförbrukn. $U \cdot I \cdot t$	Antal mätarevarv n	Motsv. energiförbr. A

Uppgifter.

122. Beräkna och insätt de uppgifter, som saknas i tabellen.

	1	2	3	4	5	6	7	8
P	4,5 kW	350 W	1,25 kW	3,5 kW			8,4 kW	12,5 kW
t	4 h	6 h			22,5 h	25 m	45 s	s
A			10 kWh	0,56 kWh	3,6 kWh	75 Wh		0,35 kWh

123. En glödlampa på 60 W är inkopplad i 15 h. Beräkna energiförbrukningen i kWh.

124. En kokapparat på 900 W är inkopplad i 40 minuter. Vad blir energiförbrukningen i kWh?

125. En värmeapparat förbrukar 2,4 kWh, då den är inkopplad i 35 minuter. Vilken effekt utvecklar värmeapparaten?

126. Vilken effekt har den apparat, som förbrukar 1 Wh pr minut?

127. Huru länge kan en 60 W-glödlampa vara inkopplad för 1 krona i energiavgift, då taxan är 25 öre pr kWh?

128. Huru många minuter kan en apparat på 800 W vara inkopplad för 1 öre i strömkostnad, då energipriset är 15 öre pr kWh?

129. En mätare hade ställningen 187,42 kWh och 40 minuter därefter 189,36 kWh. Huru stor har medelbelastningen varit under denna tid?

130. En mätare gör 2600 varv för 1 kWh. Vid ett tillfälle gör mätaren 39 varv på 4 minuter. Vilken effekt motsvarar detta?

131. En mätare prövas med en 75 W-glödlampa. Mätaren gör 2400 varv för 1 kWh. Huru lång tid erfordras för mätaren att göra 5 varv.

132. Beräkna och insätt felande uppgifter i nedanstående tabell.

	1	2	3	4	5	6	7	8
U	225 V	110 V		120 V				3,5 V
I	6 A		4,5 A			16 A		1 170 A
R		44 Ω	40 Ω		3,5 Ω		12 Ω	
P				600 W	1,4 kW	2,8 kW	14,7 kW	
t	14 h			1,5 h		12 m	16 m	
A		5,5 kWh	40,5 kWh		0,84 kWh			1,638 kWh

133. En motor kräver vid en viss belastning 6,4 A vid 440 V. Huru många kWh förbrukas under 8 h drift?

134. Huru länge har ett motstånd med resistansen 45 ohm varit inkopplat på 225 V, då energiförbrukningen uppgick till 0,9 kWh?

135. En värmeplatta kräver 2,5 A vid 220 V och förbrukar enl. Elektricitetsverkets uppgift 0,2 öre pr minut. Vilket pris pr kWh räknar Elverket med?

136. Huru många A kräver en symaskinsmotor vid 120 V, då den kostar i drift 0,9 öre pr timma, och då energipriset är 18 öre pr kWh?

137. 1,5 kg vatten skall uppvärmas från 15 till 95° C. Huru stor är den elektriska energiförbrukningen i kWh?
(Den värmemängd i kcal., som erfordras vid uppvärmning av vatten, är lika med produkten av vattenmängden uttryckt i kg och temperaturstegringen i grader.)

138. En elektrisk vattenvärmare rymmer 50 liter. Huru stor effekt erfordras för att värma upp vattnet från 15° till 85° på 8 timmar, om ingen energi går förlorad genom utstrålning?

139. Huru lång tid erfordras för uppvärmning av 40 liter vatten från 15° till 95° i en vattenvärmare på 800 W, om 80 % av det utvecklade värmet kommer vattnet till godo?

140. Värmeelementet till en kokplatta består av kromnickelband. Längden på bandet är 9,5 m och arean 0,1 · 1,6 mm². a) Vilken effekt har elementet, om strömtätheten får vara 24 A pr mm²? b) Huru lång tid erfordras för elementet att utveckla 1 000 kcal.?

Verkningsgrad.

Vid energiomvandling eller energiöverföring av något slag kommer inte hela energimängden att passera, utan en del av energien stannar kvar i maskinen, transmissionen eller ledningen. När ni t. ex. har kört en elektrisk motor någon längre stund, kan ni vanligen märka, att den blivit varmare, än vad den var ifrån början. En elektrisk motor omformar elektrisk energi till mekaniskt arbete, och en del av den elektriska energien stannar kvar i motorn och orsakar uppvärmningen. Denna del av energien, som alltså ej kommer till någon nytta, kallar man *energiförlust.*

Energiförlusten kan i allmänhet uppdelas i

a. *friktionsförluster.*

Vid roterande maskiner uppstå friktion vid lager och borstar ävensom mot omgivande luft. Friktionsförlusterna ökas i förhållande till varvtalet och äro vid oförändrad hastighet oberoende av belastningen.

b. *strömvärmesförluster.*

Den ström, som passerar genom lindningarna (t. ex. ankare- och magnetlindningar), uppvärmer dessa. För att inte lindningarna skola bliva för varma, får *strömtätheten* inte vara för hög. Vid normala avkylningsförhållanden räknar man med 2 A/mm² för grövre, resp. 10 A/mm² för klenare areor i genomsnitt 4 A/mm². Strömvärmesförlusterna benämnas ofta *kopparförluster.*

c. *järnförluster.*

Den järnmassa, som erfordras för ledande av det magnetiska flödet i elektriska maskiner, utsättes för ommagnetiseringsförluster, som benämnes *hysteres.* Dessutom uppstår i järnet induktionsströmmar, s. k. *virvelströmmar*, vilka man söker förminska genom att utföra järnkärnan av tunna plåtar med isolerande mellanlägg.

Samtliga förluster orsaka uppvärmning av maskinen. Den *tillförda* energimängden A_1 blir alltså uppdelad i nyttig, dvs. *avgiven* energimängd, A_2 och i energiförluster A_f

$$A_1 = A_2 + A_f.$$

Eftersom A_1, A_2 och A_f avser samma tidsperiod, så erhålles även motsvarande uttryck för effekterna.

$$\boxed{P_1 = P_2 + P_f.}$$

Vid moderna maskiner söker man nedbringa förlusterna så mycket som möjligt, eller m. a. o. att få *verkningsgraden* så hög som möjligt.

Verkningsgraden är förhållandet mellan avgivna och tillförda energimängden resp. effekten, angivna i samma måttenhet och betecknas med grekiska bokstaven η (äta).

$$Verkningsgraden = \frac{avgiven\ \ effekt\ \ (watt)}{tillförd\ \ effekt\ \ (watt)}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 15 a.}$$

Uppgifter.

141. Beräkna och insätt de uppgifter som saknas i tabellen:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8
P_2	736 W	1 200 W		550 W			2,5 hk	0,5 hk
P_1	900 W		1 200 W		250 W		2,2 kW	
P_f				240 W	145 W	280 W		142 W
η		0,78	0,76			0,72		

142. En motor på 3,1 kW förbrukar 3 500 W. Beräkna verkningsgraden!

143. En motor på 17,5 kW har verkningsgraden 0,87; hur stor är den tillförda effekten i watt?

144. En motor på 4,0 kW, 220 V, har verkningsgraden 0,79. Huru stor är strömstyrkan?

145. Huru stora äro förlusterna och verkningsgraden för en motor på 5,0 kW, som vid 225 V förbrukar 27 A?

146. En dieselmotor på 15 hk driver en generator för 230 V spänning. Generatorns verkningsgrad är 0,86. a) Vilken effekt avger generatorn vid fullbelastning? b) Huru stor är strömstyrkan?

147. En motor på 3,7 kW har vid full belastning följande förluster: friktionsförluster 155 W, kopparförluster 274 W och järnförluster 82 W.

a) Huru hög är verkningsgraden? b) Vad blir strömstyrkan, då spänningen är 440 V?

148. För laddning av ett ackumulatorbatteri användes en direktkopplad motorgenerator. Motorn är en likströmsmaskin på

550 W, som kräver 3,3 A vid 220 V. Denna driver en likströmsgenerator på 15 V och med verkningsgraden 0,72. a) Vad blir strömstyrkan hos generatorn, då motorn är fullbelastad? b) Vad blir motorgeneratorns totala verkningsgrad?

(Då ett maskinaggregat är sammansatt av två mekaniskt hopkopplade var för sig självständiga maskiner, kan deras totala verkningsgrad bestämmas på följande sätt:

Om vi antager, att maskin I, med verkningsgrad η_I driver maskin II, som har verkningsgraden η_{II}, så är för

maskin I tillförda effekten $= P_1$

och avgivna » $= \eta_I \cdot P_1$.

Då maskin I är direkt förenad med maskin II, så blir den maskin II tillförda effekten lika med den av maskin I avgivna. Alltså är för

maskin II tillförda effekten $= \eta_I \cdot P_1$

och avgivna » $= \eta_I \cdot \eta_{II} \cdot P_1$.

$$\text{Totala verkningsgraden} = \frac{\text{avgivna effekten hos maskin II}}{\text{tillförda effekten hos maskin I}}$$

$$\eta = \frac{\eta_I \cdot \eta_{II} \cdot P_1}{P_1} = \eta_I \cdot \eta_{II}$$

$$\eta = \eta_I \cdot \eta_{II} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 15b}$$

dvs. totala verkningsgraden blir *produkten* av verkningsgraderna för vardera maskinen).

149. Till en mindre verkstad erfordras för drift av en svarv 0,45 kW, för borrmaskin 0,2 kW, för fräsmaskin 0,75 kW, för smärgelskiva 0,25 kW och för fläkt 0,15 kW. Transmissionerna ökar effektbehovet med 20 %. Samtliga arbetsmaskiner skola drivas av en likströmsmotor för 440 V.

Huru stor effekt i kW skall motorn avgiva, och huru stor strömstyrka kräver motorn, om verkningsgraden antages till 80 %?

150.

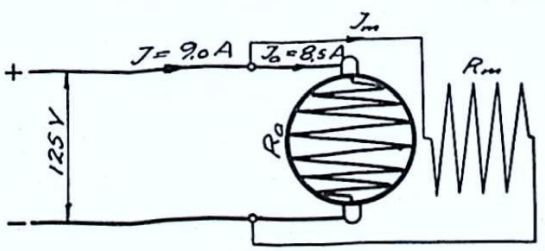


Fig. 99.

En shuntmotor belastas så mycket att strömmen blir 9,0 A då den inkopplas på 125 V.

a. Hur stor resistens har fältlindningen *Rm*?
b. Hur stor resistens har ankarlindningen *Ra*, då strömvärmesförlusterna är 92,5 W?
c. Vad blir avgivna effekten i kW, då totala förlusterna är 315 W?
d. Hur hög är verkningsgraden?
e. Hur många kWh kräver motorn efter 8 timmars drift?
f. Hur många kcal motsvarar förlusterna efter 8 timmars drift?
g. Hur stor resistans skall kopplas i serie med fältlindningen för att fältströmmen skall bliva 0,45 A?
h. Hur många meter koppartråd åtgår till fältlindningen, om strömtätheten är 4,0 A/mm² och resistiviteten för koppar vid + 75° C är 0,0217?

Magnetism och elektromagnetism.

Vad är magnetism. Vi kunna endast svara att den är en egenskap hos vissa ämnen, s. k. *magneter*. Ni vet nog att stålfilspån lätt fastnar på en magnet. Kanhända vet ni också, att en elektrisk ström, som går genom en spole, gör denna till en magnet. Elektriciteten och magnetismen höra också mycket intimt tillsammans. Elektricitetstransporten i en ledare utföres av de fria elektronerna. Men även de vid atomkärnan bundna elektronerna utgöra cirkulära elektriska strömmar, när de kretsa omkring atomkärnan. Varje sådan liten elektrisk strömbana utgör en magnet, men det beror på hurudana strömbanor, de övriga elektronerna utföra, om hela atomen och molekylen *utåt* skall visa någon magnetisk verkan. Utgöres molekylerna emellertid av magneter, kunna dessa ligga ordnade så, att hela kroppen blir en magnet.

Magnetism kan påvisas i svartmalm. Denna kallas därför även magnetisk järnmalm. Svartmalmen är en *naturlig magnet*, men dess magnetiska verkningar äro relativt obetydliga. Kraftiga magneter kunna erhållas genom magnetisering av lämpliga stålsorter; dessa kallas *konstgjorda magneter*. Utom järn och stål visa även metallerna kobolt och nickel kraftig påverkan av magneten. Dessa metaller sägas vara *ferromagnetiska*, till skillnad från de metaller, som visa

väsentligt svagare magnetiska egenskaper. Sådana metaller bland vilka kan nämnas platina och aluminium kallas *paramagnetiska*. Några metaller stötas bort av magneten. Exempel på dessa s. k. *diamagnetiska* metaller äro vismut, silver, guld m. fl.

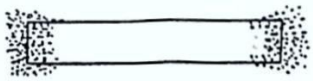


Fig. 100 a.

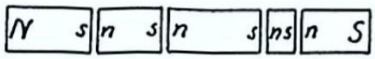


Fig. 100 b.

Med hjälp av stålfilspån kan ni lätt konstatera, att magneten verkar så, som om dess magnetism vore samlad i de båda ändarna, de s. k. *polerna* (fig. 100a). En fritt upphängd magnetstav pekar alltid med sin ena ända mot *norr*, den kallas därför *nordpol*. Den andra ändan är riktad mot söder och benämnes *sydpol*. Lätt påvisas även, att en magnets sydpol drages till en annan magnets nordpol men stötes bort av dess sydpol. Regeln härför är, att *liknämniga poler stöta bort varandra, men oliknämniga poler draga varandra till sig.*

Om en magnetstav brytes mitt itu, så erhåller man tvenne mindre magneter, vardera med en nord- och en sydpol. Samma blir förhållandet, även om man delar upp magnetstaven i mycket små bitar (fig. 100b). Man tänker sig därför, att de förut omnämnda molekylarmagneterna äro gruppvis ordnade till små magneter, s. k. *elementarmagneter*, vilka, då materialet är i omagnetiskt tillstånd, befinna sig i oordning enligt fig. 101 a.

Har materialet utsatts för inverkan av en annan magnet, ordnar elementarmagneterna sig på ett regelbundet sätt, så att deras nordpoler peka åt ett håll. Fig. 101 b. Denna påverkan kallas *magnetisk influens.*

Elementarmagneterna äro emellertid inte lika lättrörliga för olika material. Hos mjukt stål äro de synnerligen lättrörliga, men komma även lätt i oordning, då den magnetiserande verkan upphört. Endast ett fåtal elementarmagneter stannar kvar i sina lägen så som visas i fig. 101 c. Därigenom erhålles en viss *remanent magnetism* eller *remanens*, som gör stålet till en svag magnet. En kraftigare remanens erhålles om härdat stål magnetiseras. Härvid erfordras en väsentligt starkare magnetisk påverkan, då stålets elementarmagneter äro mycket tröga i sina rörelser.

Om ni svänger en magnetstav ett stycke ifrån en kompassnål, så

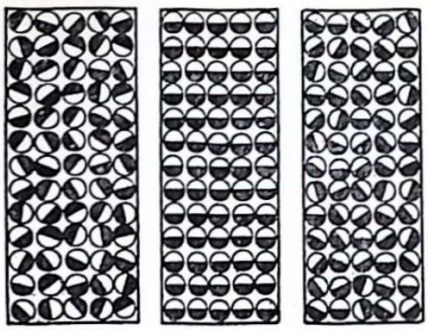


Fig. 101.

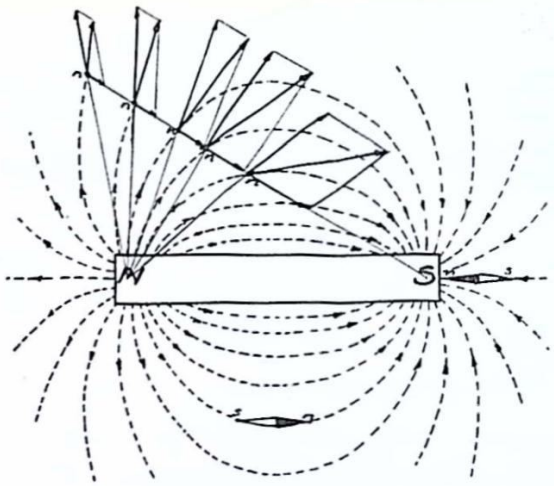


Fig. 102.

märker ni, att denna röner inverkan av magnetstavens rörelse. En magnets verkningar sträcker sig rätt långt utanför magneten. Det område, vari man kan påvisa verkningar av magneten, kallas *magnetiskt fält.* Man tänker sig detta område genomdraget av magnetiska fältlinjer, vilka *utgå från magnetens nordpol och åter inströmma till magneten vid sydpolen. Inuti magneten gå fältlinjerna från syd- till nordpolen.* (Fig. 102.)

En fältlinje kan också sägas vara den väg en fritt rörlig pol, till exempel en nordpol, beskriver, under inflytande av magnetens nord- och sydpol. Krafterna, som påverka den rörliga magnetpolen, äro som synes av fig. 102 till sin storlek beroende på avstånden till polerna. Kraften blir avsevärt större ju kortare avståndet är. Minskas avståndet till hälften så blir kraften 2 . 2 = 4 gånger större och 3 . 3 = 9 gånger större, då avståndet minskats till tredjedelen. Är sålunda den rörliga nordpolen belägen på 6 cm avstånd från nordpolen och 12 cm ifrån sydpolen, så påverkas polen av en bortstötningskraft från nordpolen, som är 4 gånger större än dragningskraften från sydpolen.

Fältlinjerna bilda sålunda slutna banor och kunna aldrig korsa varandra. Fältlinjer, som hava samma riktning, söka stöta bort varandra. De verka på samma sätt som tvenne bredvid varandra liggande magneter med polerna vända åt samma håll. Därigenom bliva fältlinjerna uttänjda liksom spända elastiska gummisnören, som sträva att sammandraga sig. Om tvenne lika

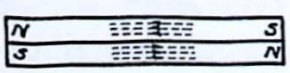


Fig. 103.

kraftiga magnetstavar läggas rakt ovanpå varandra men med polerna åt motsatta håll enligt fig. 103, så mister en så sammansatt magnet utåt sina magnetiska egenskaper. På samma sätt kan man påstå, att magnetiska fältlinjer av motsatta riktningar upphäva varandra.

Fältlinjernas fördelning ger en bild av magnetens styrka på olika ställen i det magnetiska fältet. En fritt rörlig magnetnål påverkas väsentligt olika, om den befinner sig nära eller längre ifrån magneten. Vid polerna, där fältlinjerna ligga mycket tätt, blir kraftverkan på nålen störst. Man har därför infört begreppet *magnetisk flödestäthet*, vilket motsvaras av mängden fältlinjer, som passerar genom en viss yta, ställd vinkelrätt mot fältlinjerna, enl. fig. 104. Den magnetiska flödestätheten eller fältstyrkan angives i enheten *voltsekund per kvadratmeter*, förkort. Vs/m^2.

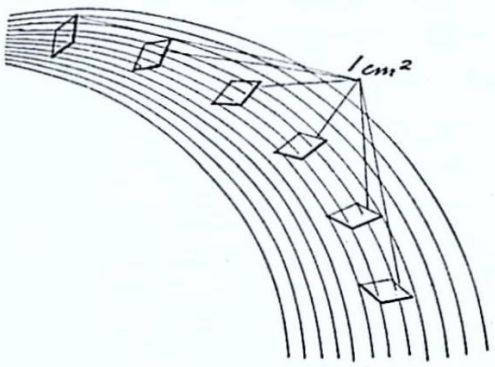


Fig. 104.

Det totala magnetiska flödet, som strömmar från magnetpolen eller genom en viss yta mätes i *voltsekund* (*Vs*).

Ett magnetiskt flöde Φ (Vs), som passerar genom ytan A (m^2) ger flödestätheten

$$B = \frac{\Phi}{A} \ (Vs/m^2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ formel 16}$$

Tidigare användes enheten *gauss* som enhet för flödestäthet och *maxwell* som mått på totala magnetflödet.

1 Vs/m^2 = 10 000 gauss
1 Vs = 100 000 000 maxwell

Gives stålmagneten hästskoform, så blir den väg, som fältlinjerna behöva passera igenom luft, avsevärt kortare än när den är rak. Därigenom blir såväl det magnetiska flödet som fältstyrkan avsevärt större. Förkortas luftmellanrummet genom att placera ett järnstycke emellan polerna, så ökas flödet ytterligare. Genom magnetisk influens blir järnstycket själv en magnet med poler, motsatta dem,

som hästskomagneten har. (Fig. 105.) I en sådan krets, där fältlinjerna ledas till större delen genom järn, kommer nära nog samtliga fältlinjer att följa denna väg. Endast ett fåtal gå en genväg genom luft; dessa, som i praktiken bliva overksamma, benämnas *läckflöde.*

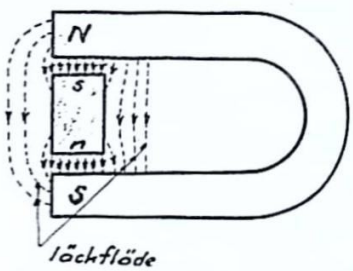


Fig. 105.

Genom försök kan ni finna, att en elektrisk ström påverkar en magnetnål. Varje strömgenomfluten ledare omgives av ett magnetiskt fält, där fältstyrkan är direkt beroende av strömstyrkan. För en rak ledare ligga fältlinjerna som koncentriska cirklar med ledaren som centrum (fig. 106 c). Med hjälp av kompassnålar kan ni lätt fastställa fältlinjernas riktning. Regeln för denna blir då: *om man ser i strömmens riktning gå fältlinjerna åt samma håll som visarna på ett ur* (förkortat "**medurs**").

Böjes denna ledare till form av en cirkelbåge, så erhålla alla fältlinjer inom bågen samma riktning. (Ni ser av fig. 107 att fältlinjerna inom bågen äro riktade nedåt men utanför bågen uppåt.)

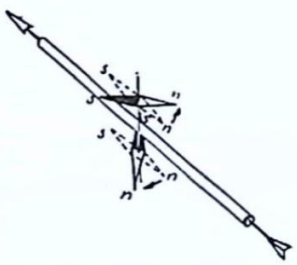


Fig. 106 a.

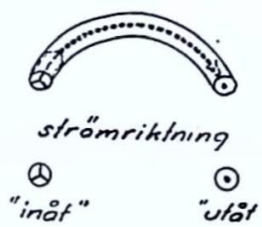


Fig. 106 b.

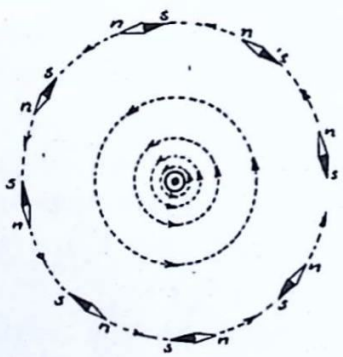


Fig. 106 c.

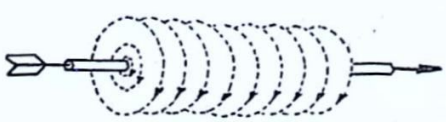


Fig. 106 d.

En på sådant sätt böjd ledare erhåller samma egenskap som en magnet. Av fältlinjeriktningen finner ni, att översidan av bågen blir en sydpol.

Böjes ledaren i flera varv till en sorts spiral eller spole, så sammansätta sig de olika lindningsvarvens fältlinjer till gemensamma fältlinjer. Spolens polaritet framgår av fig. 108, varav ni erhåller följande regel: *Ser man mot spolens ändyta, och den elektriska strömmen går medurs, så är denna ändyta en sydpol.*

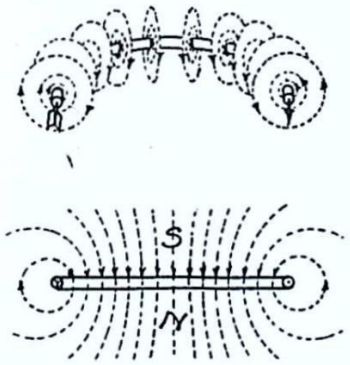


Fig. 107.

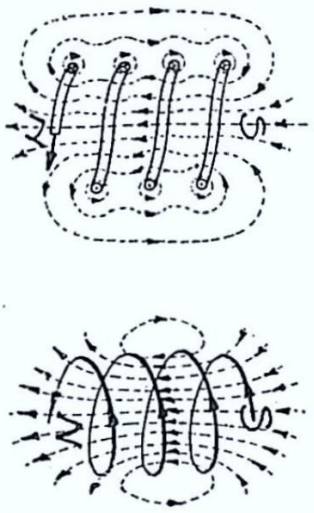


Fig. 108.

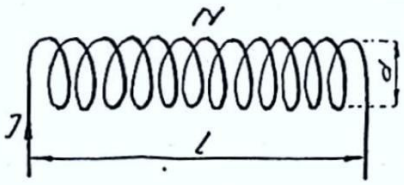


Fig. 109.

Fältstyrkan eller flödestätheten B hos spolen visar sig vara beroende på *strömstyrkan* I och *antalet lindningsvarv* N. Dessa båda samverka, varför man även kan säga, att flödestätheten beror på produkten av dessa ($I \cdot N$).

Denna produkt anger antalet *amperevarv* (At). Dessutom är fältstyrkan beroende på spolens *längd* l (fig. 109), men på sådant sätt, att ju längre spolen är, desto svagare blir fältet. För beräkning av flödestätheten B i spolens mitt för en relativt lång spole ($l \geqq 5 \cdot d$) gäller formeln

$$B = \frac{4\pi}{10^7} \cdot \frac{I \cdot N}{l} \ (\mathrm{Vs/m^2}) \ \ldots\ldots \text{Formel 17 a}$$

där l är spolens längd i meter.

Amperevarvtalet $I \cdot N$ är den för kraftlinjeflödet framdrivande kraften. Dessa amperevarv åtgå nära nog helt och hållet för att driva kraftlinjeflödet genom själva spolen. Utanför spolen ha kraftlinjerna ett mycket stort område att fördela sig på. Motståndet blir därigenom mycket obetydligt, så att endast ett ringa amperevarvantal erfordras för detta.

$\frac{I \cdot N}{l}$, som är antalet amperevarv per meter, (förkortat At/m) bestämmer följaktligen storleken av flödestätheten B.

Elektromagneter.

Införes en kärna av stål i spolen, så kommer den fältstyrka, som förefinnes i spolen, att rikta en stor del av elementarmagneterna åt samma håll i stålkärnan. Därigenom blir stålkärnan en kraftig magnet, som vi kalla en elektromagnet, och får givetvis samma poler som spolen.

Polariteten hos elektromagneten erhålles av den förut omnämnda regeln för spolen men bestämmes enklast med hjälp av högra handen på det sätt som visas i fig. 110. *Om ni håller högra handens insida mot magneten med fingrarna i strömmens riktning så anger tummen magnetens nordända.*

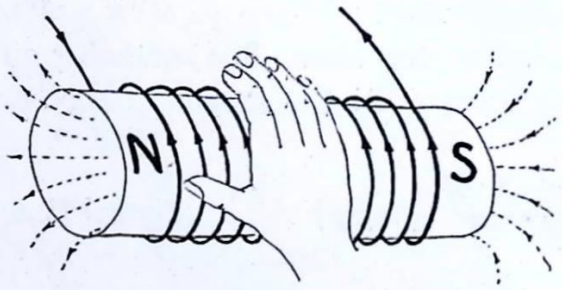


Fig. 110.

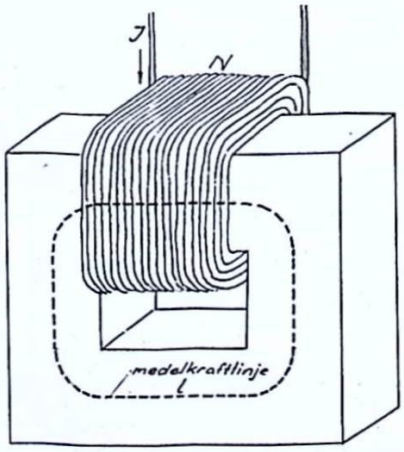


Fig. 111.

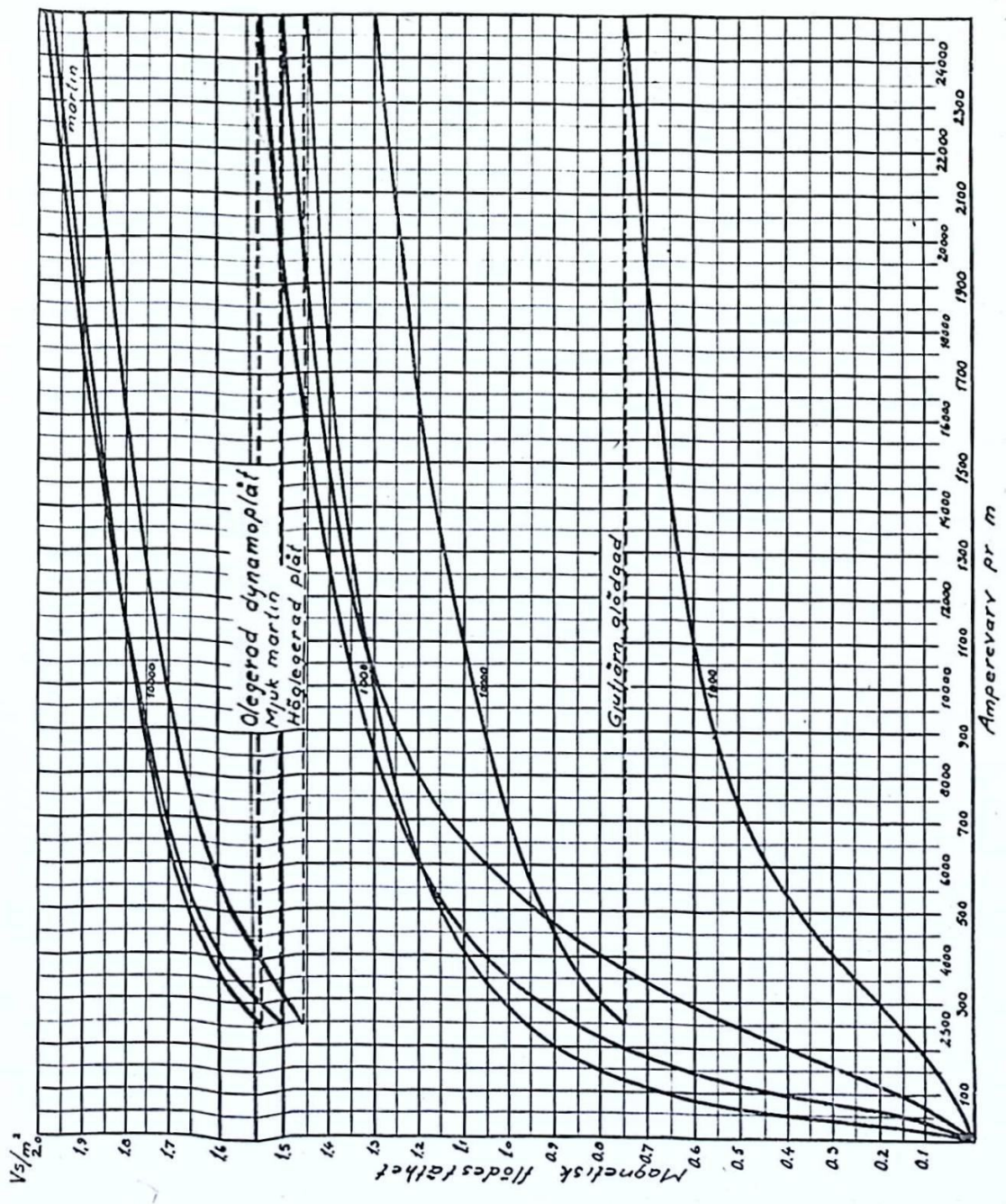

Vs/m²
Magnetisk flödes täthet
Ampervary pr m
Olegerad dynamoplåt
Mjuk martin
Höglegerad plåt
Gulärn glödgad
martin
10000
1000

Fig. 112.

Det visar sig, att tack vare stålkärnan ett oerhört mycket större antal fältlinjer erhålles av elektromagneten än av spolen enbart. Detta, säger man, beror på att stålet är en utomordentligt god ledare för magnetflödet. Denna ledningsförmåga kallas *permeabilitet* och betecknas med μ. För en magnetkrets med helt sluten stålkärna (fig. 111) blir flödestätheten

$$B = \frac{4\pi}{10^7} \cdot \mu \cdot \frac{I \cdot N}{l} \text{ (Vs/m}^2\text{)} \quad \ldots . \quad \text{Formel 17 b}$$

l betyder inte här spolens längd utan medelkraftlinjens längd i meter.

För de ferromagnetiska materialen är μ ett förhållandevis stort tal till skillnad från de paramagnetiska ämnena, där μ är obetydligt mer än 1,0. De diamagnetiska ämnena ha däremot ett värde på μ, som är något mindre än 1,0.

Om ni vet hur stor flödestätheten är i en spole med resp. utan stålkärna, så blir permeabiliteten

$$\mu = \frac{\textit{flödestätheten i stål}}{\textit{flödestätheten i luft}} \quad \ldots . \quad \text{Formel 17 c}$$

Permeabiliteten för en viss järn- eller stålsort är inte konstant utan minskas avsevärt vid högre fältstyrkor. Denna förändring orsakas av vissa mättningsfenomen i järnet, varigenom stegringen i den magnetiska induktionen blir helt obetydlig även för en rätt avsevärd ökning i fältstyrkan. Stålet kan sägas vara en μ gånger bättre ledare än luft, vilket betyder, att kraftlinjeflödet lika lätt passerar en μ mm lång väg i järn som 1 mm i luft, förutsatt att flödestätheten är densamma hela vägen.

Magnetiseringskurvor

Permeabiliteten för olika järn- och stålsorter kan endast bestämmas på experimentell väg. Har man en serie dylika bestämningar, kan man erhålla en kurva — s. k. *magnetiseringskurva* — för en viss järn- eller stålsort. Med hjälp av magnetiseringskurvan kan ni sedan få reda på, hur stort amperevarvtal per meter (At/m) som erfordras för att erhålla en viss flödestäthet (B). På sidan 91 (fig. 112) finns magnetiseringskurvor för de vanliga järn- och stålsorter, som ingå i

de magnetiska strömkretsarna. Kurvorna kännetecknas av en brant och en långsamt stigande del. Övergången mellan dessa delar kallas magnetiseringskurvans "knä", och ovanför detta knä anser man stålet vara mättat. Som synes av kurvan måste, då stålet är mättat, amperevarvtalet ökas rätt avsevärt för att en märkbar ökning i flödestätheten skall erhållas. Kurvorna för gjutjärn ligger som ni ser långt under de andra kurvorna, vilket betyder, att de magnetiska egenskaperna för gjutjärn är avsevärt sämre än för de kolfattigare stålsorterna. I modernare maskiner utnyttjas därför inte gjutjärn som ledare för magnetflödet.

Tillvägagångssättet för beräkning av magnetiska strömkretsar framgår av följande exempel:

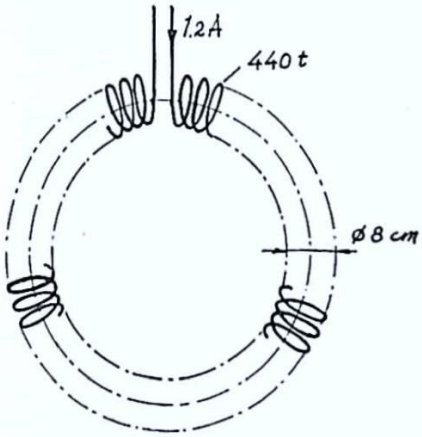


Fig. 113 a.

Ex. En 66 cm lång spole med 440 lindningsvarv och 8 cm invändig diameter är böjd i form av en ring (fig. 113 a). Hur stor blir flödestätheten och flödet, då strömmen är 1,2 A.

Givet:

$I = 1{,}2$ A
$N = 440$ varv
$l = 0{,}66$ meter
$d = 0{,}08$ meter

Enl. formeln 17 a blir flödestätheten (i luft)

$$B = \frac{4 \cdot 3{,}14}{10^7} \cdot \frac{1{,}2 \cdot 440}{0{,}66} = 0{,}001$$

Flödesarean

$$A = 3{,}14 \cdot \frac{0{,}08 \cdot 0{,}08}{4} = 0{,}0050$$

$A = 0{,}0050$ m²

Flödet (enligt formeln 16)

$\Phi = B \,.\, A = 0{,}001 \,.\, 0{,}0050 = 0{,}0000050$

Svar: Flödestätheten 0,001 *Vs/m². Flödet* 0,0000050 *Vs*

Ex. Hur stor blir flödestätheten och flödet, om spolen har en stål kärna av mjuk martin enl. fig. 113 b

$$\frac{IN}{l} = \frac{1{,}2 \cdot 440}{0{,}66} = 800$$

För $\frac{IN}{l} = 800$ At/m erhålles ur magnetiseringskurvan för mjuk martin 1,2 Vs/m².

Flödet

$\Phi = 1{,}2 \cdot 0{,}0050 = 0{,}0060$

Svar: Flödestätheten 1,2 *Vs/m². Flödet* 0,0060 *Vs.*

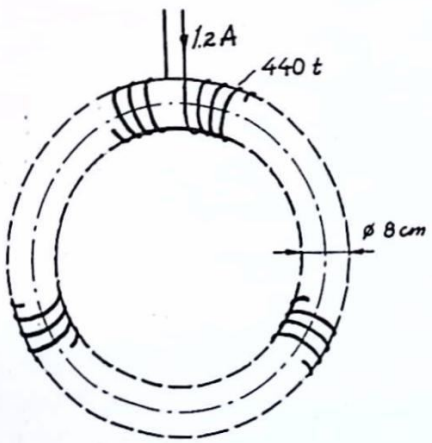


Fig. 113 b.

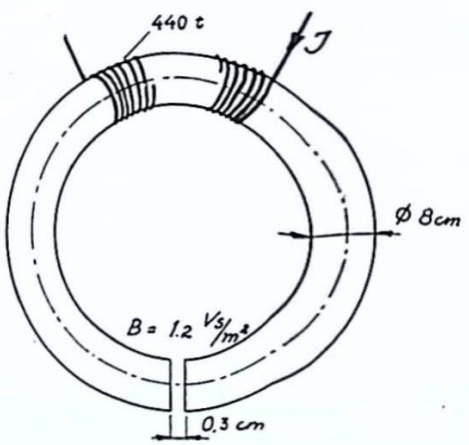


Fig. 113 c.

Ex. Järnkärnan har ett 0,3 cm långt luftgap (fig. 113 c). Ett lika stort flöde (0,0060 Vs) skall passera fram genom kretsen. Hur stor ström erfordras härvid? Då järnet får leda flödet i hela kretsen, behöver inte lindningen vara fördelad utefter hela stålkärnan utan kan samlas i en eller ett par spolar med flera lindningslager. Beräkningarna utföras ändå på samma sätt.

Det behövliga antalet amperevarv erfordras för att driva fram flödet både genom stålkärnan och det 0,3 cm långa luftgapet. Denna väg i luft är så pass kort, att man kan räkna med att flödesarean i luften är lika stor som i stålkärnan, dvs. 0,0050 m². Flödestätheten i luftgapet är därför 1,2 Vs/m²

Enligt formeln 17 c blir permeabiliteten

$$\mu = \frac{\text{flödestätheten i stål}}{\text{flödestätheten i luft}} = \frac{1{,}2}{0{,}001} = 1\,200$$

Då permeabiliteten är 1 200, så betyder detta, att det kräves ett lika stort *At*-antal för att driva flödet 1 200 cm i stålet som för 1 cm i luft. En luftväg på 0,3 cm motsvarar alltså i detta fall 0,3 . 1 200 = = 360 cm i kärnan av mjuk martin. Dessutom har flödet som förut 66 cm väg i stålkärnan (noga räknat 65,7 cm). Total vägsträcka 360 + 66 = 426 cm för flödet i en kärna av mjuk martin. För varje meter kräves enl. föregående exempel 800 At för att driva fram flödet, och för 4,26 m blir amperevarvtalet

$I \,.\, N = 800 \,.\, 4{,}26 = 3\,408$ At

Då spolen har 440 varv, så blir strömstyrkan

$$I = \frac{3\,408}{440} = 7{,}75$$

Svar: Strömmen 7,75 A

Av detta exempel framgår, vilket stort hinder för magnetflödet även ett litet luftgap är. I den helt slutna stålkretsen av mjuk martin var strömmen 1,2 A för att driva fram flödet 0,0060 Vs, men det kräves 6,5 gånger så hög ström eller 7,75 A för att driva samma flöde genom stålringen och det 3 mm långa luftgapet. I våra elektriska maskiner måste ett visst luftmellanrum finnas mellan den fasta och den roterande delen. Ovanstående exempel visar betydelsen av, att detta mellanrum blir så litet som möjligt. I transformatorer söker man genom lämplig hopbladning av plåtarna erhålla en så helt sluten järnkrets som möjligt för att få minsta möjliga magnetiseringsström.

Uppgifter.

151. Beräkna och insätt de värden, som saknas i efterföljande tabell:

	1	2	3	4	5	6	
Strömstyrka I	2,5	0,42	1,2	0,18			A
Lindningsvarv N	320	1 825			425	170	t
Amperevarv IN			900	288	170	425	At

152. Beräkna och insätt felande uppgifter i nedanstående tabell:

	1	2	3	4	5	6	
Järnarea ..... A	0,00125	0,0048	0,0072	0,0015			m^2
Magn. induktion B	0.75	0,92			0,64	1,28	Vs/m^2
Magnetflöde... Φ			0,009	0,0018	0,001	1,248	Vs

153. En sluten järnkrets har en magnetspole. För dessa gälla följande uppgifter:

	1	2	3	4	5	6	
Amperevarv IN	960	1 500			4250	9 920	At
Medelkraftlinjelängd .. l	0,75	1,25	1,55	2,75			m
Amperevarv/m .. $\frac{IN}{l}$			4200	8200	1700	6400	At/m

154. Komplettera med hjälp av magnetiseringskurvan för mjuk martin uppgifterna och insätt dessa i nedanstående tabell:

	1	2	3	4	5	6	
Amperevarv/m ... $\frac{IN}{l}$	1000	2000		10000			At/m
Flödestäthet.... B			1,60		1,85	1,92	Vs/m^2
Permeabilitet .. μ							

155. Huru stort fältflöde passerar igenom en sluten kärna av glödgat gjutjärn, vars cirkulära tvärsnitt har diametern 16 cm, då antalet At/m är 11 000?

156. Huru stor är a) flödestätheten b) amperevarvantalet per m för en kärna av olegerad dynamoplåt med kvadratisk sektion, vars kant är 8 cm, då kraftlinjeflödet är 0,010 Vs?

157. Huru stort magnetiskt flöde uppstår mitt inne i en 30 cm lång järnfri spole, vilken består av 200 lindningsvarv med 5 cm invändig diameter, då strömstyrkan är 1,5 A?

158 a. En ring av mjuk martin har en invändig diameter av 30 cm.

Kärnan har kvadratisk sektion med 8 cm kant. Vilken strömstyrka kräves i magnetspolen, som innehåller 450 varv, för att i kärnan frampressa 0,010 Vs flöde?

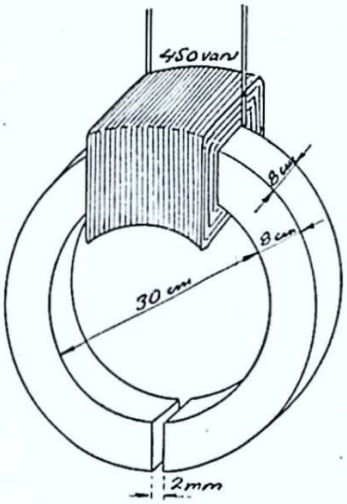


Fig. 114.

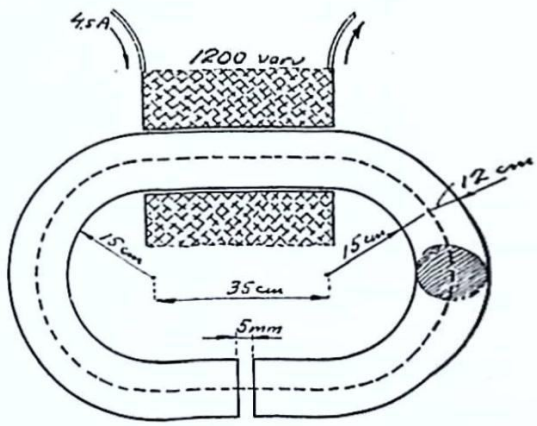


Fig. 115.

158 b. Huru stor strömstyrka i magnetspolen kräves, om i stålringen i ex. 158 a är uppskuret ett 2 mm brett luftgap enl. fig. 114 för att frampressa lika kraftigt magnetflöde.

159. En stålkärna med form enl. fig. 115 är försedd med en magnetspole, innehållande 1200 lindningsvarv. Huru stort magnetflöde erhålles av 4,5 A ström i spolen, då kärnan har ett 5 mm brett luftgap, när permeabiliteten antages till 1 000? (Ni bör beakta att 0,5 cm luftgap kan ersättas av $0{,}5 \cdot \mu = 500$ cm längre väg i stålkärnan.)

160. En stålstång, vars tvärsektion är en kvadrat med 25 mm sida, böjes i form av en cirkel med 30 cm medeldiameter, så att de plana ändytorna bliva parallella men med ett luftgap av 2 mm. Huru många lindningsvarv erfordras i spolen för att i kärnan alstra 1,2 Vs/m² med en ström av 0,6 A, då stålets permeabilitet är 180 i förhållande till luft?

161. I en elektrisk generator skall frampressas 1,2 Vs/m² genom ett luftgap, som är 2,5 mm långt. Huru många amperevarv erfordras?

Kraften på en strömförande ledare i ett magnetfält.

Ni ha sett, hur strömmen i en ledare får en liten magnetnål att vrida sig. Om vi istället tänka oss magnetnålen utbytt mot en större fast magnet och ger den strömgenomflutna ledaren möjlighet att fritt röra sig, så erhålles givetvis motsvarande verkningar. Om en strömgenomfluten ledare kan få en fritt rörlig magnetstav att vrida sig medurs, så strävar samtidigt magnetstaven i sin tur att vrida ledaren moturs. Då våra elektriska motorer bestå av en serie rörliga strömgenomflutna ledare i ett fast magnetiskt flöde, skola vi först studera verkningar hos *en* sådan ledare i det magnetiska flödet.

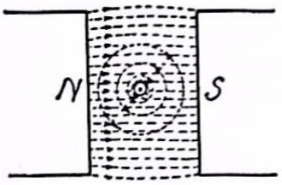


Fig 116 a.

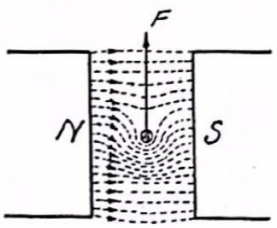


Fig. 116 b.

Fältlinjerna hos den strömgenomflutna ledaren bilda, som ni såg av fig. 106 d, en serie koncentriska cirklar omkring ledaren. En sådan ledare i ett magnetflöde visas i fig. 116 a, där ledaren är framställd vinkelrätt mot bildplanet. Ledarens och magnetens fältlinjer kunna inte vara oberoende av varandra, utan i de delar där fältlinjerna äro motriktade upphäva de varandra, och flödet blir förstärkt i de delar, där båda systemens fältlinjer gå åt samma håll. Fig. 116 b visar det sammansatta flödets utseende, av vilket framgår, att flera fältlinjer ha blivit avsevärt uttänjda. Då fältlinjerna alltid sträva att bliva så korta som möjligt, söker dessa förflytta ledaren uppåt. Vilken riktning får kraften, om vi kasta om flödets riktning? Det förloppet har ni, om ni vänder bilden upp och ned, då kraften, som synes, verkar nedåt. Kraften verkar även nedåt, om strömriktningen istället omkastas. Blir både flödet och strömriktningen omkastade, blir flödesriktningen oförändrad. Detta är ju det förlopp, som ni har i fig. 116 b, sett från den motsatta sidan.

Sambandet mellan strömriktning, flödesriktning och ledarens rörelseriktning kan lätt bestämmas av den s. k. *vänstra handregeln*. Denna har följande lydelse:

Låt vänstra handens tumme, pekfinger och långfinger bilda sins-

emellan räta vinklar med pekfingret i fältlinjernas riktning, långfingret i strömmens riktning, så anger tummen ledarens rörelseriktning (fig. 117). För att utröna, vilka storheter, som inverka på den kraft, varmed ledaren rör sig i flödet, utföres ett försök, anordnat i princip enl. fig. 118. En vikt på t. ex. 10 g kräver kanske en ström på 12 A för att bära vikten, om det är *ett* trådvarv, men 6 A resp. 4 A, ifall det är 2 eller 3 trådvarv.

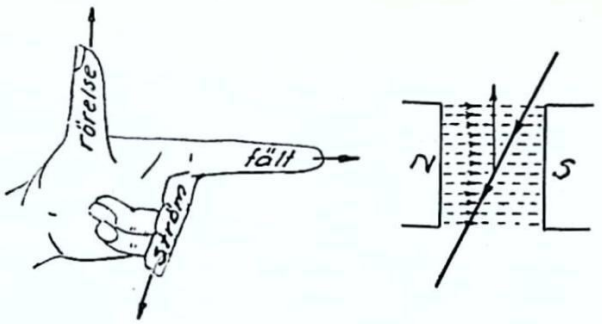


Fig. 117.

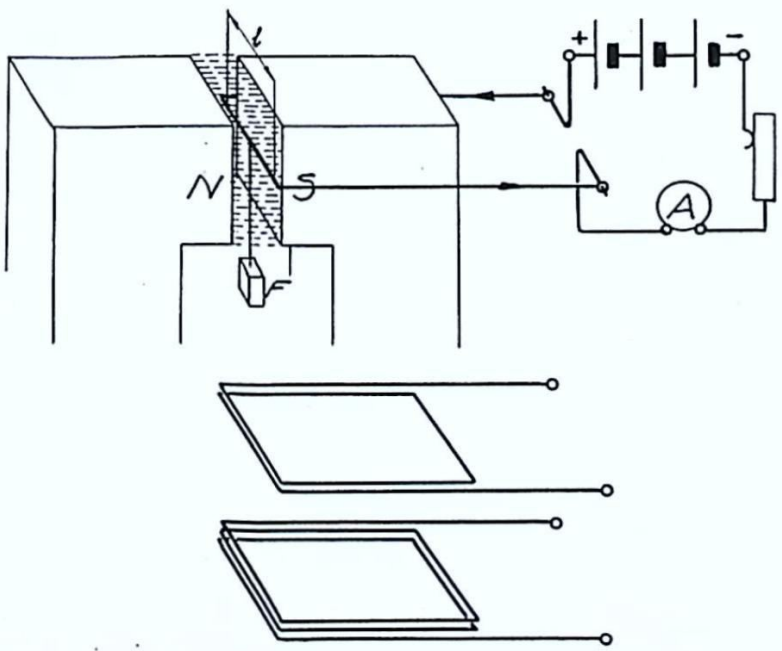


Fig. 118.

Den kraft (F), som erhålles, visar sig vara beroende av a) flödestätheten (B), b) strömstyrkan (I) genom ledaren, c) den del (l) av ledaren, som ligger i fältet, samt d) antalet (N) seriekopplade ledare.

Kraften F beräknas av formeln

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot N \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 18}$$

Härvid angives B i Vs/m², I i ampere och l i meter, då F erhålles i newton.

Principen för elektriska motorer.

De verkningar en strömgenomfluten ledare utövar i ett magnetiskt fält, utnyttjas i elektriska motorer. Ankarledarna fördelas likà runt hela omkretsen. Då krafterna alltid äro riktade vinkelrätt mot fältet, måste de få den i fig. 119 angivna riktningen, om de skola kunna driva ankaret i en bestämd rotationsriktning. Ankarlindningen är även utförd så, att dessa kraftverkningar erhållas.

Vid *riktigt borstläge* skola alltså strömmarna i de ankarledare, som äro belägna under flödets nordpol, i varje ögonblick vara motsatt riktade till de under sydpolen befintliga ankarströmmarna. Enligt fig. 119 bliva de ledare, som befinna sig mitt emellan polerna, strömlösa, emedan borstarna kortsluta de härvor, som befinna sig här. Detta läge brukar benämnas *neutrala zonen*. Om några krafter uppstod i dessa ledare, skulle de vara utan värde, på grund av att de ej kunna åstadkomma något vridmoment.

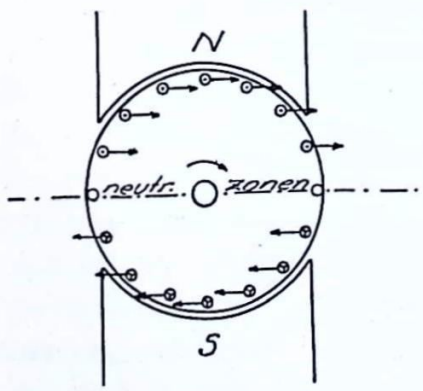


Fig. 119.

Strömmarna i ankarledarna bibehålla ständigt den i fig. 119 angivna riktningen, fastän ankaret roterar. När ankarledarna passera neutrala zonen, utföres i *kommutatorn* (strömvändaren) växlingar i strömriktningen.

En fortsatt redogörelse om detta ingår i den del, som behandlar Elektriska maskiner.

Elektrodynamik.

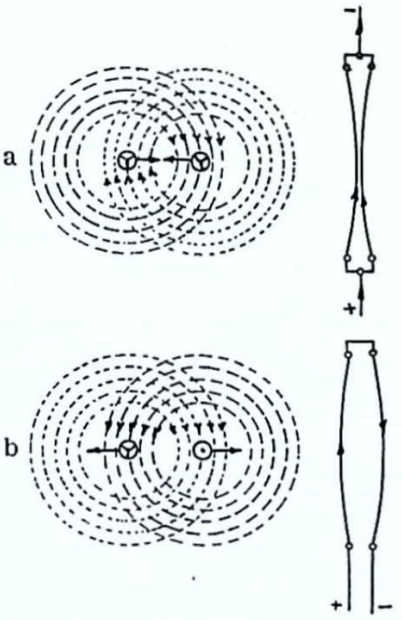


Fig. 120.

Vänstra handregeln ger oss möjlighet att få fram den verkan en strömgenomfluten ledare utövar på en annan närbelägen strömgenomfluten ledare. Av fig. 120 framgår, att den ena ledaren ligger i det magnetflöde, som den andra ledaren alstrar. Strömmarna i ledarna kunna antingen hava *samma* riktningar enligt fig. 120 a, då man med hjälp av vänstra handregeln finner att ledarna dragas *till* varandra. Hava de *motsatta* strömriktningar (fig. 120 b), vilja ledarna i stället draga sig *från* varandra. Äro ledningarna inte parallella utan korsa varandra, så söker ledningarna vrida sig så att de bliva parallella och med *samma* strömriktning. Denna kraftverkan mellan strömgenomflutna ledare kallas *elektrodynamisk*. I vanliga fall är den elektrodynamiska kraftverkan rätt obetydlig. För tvenne 1 m långa trådar, som ligga på 1 cm avstånd ifrån varandra, utövar en ström på 1 A i vardera ledningen en kraft på endast 2 mp. Vore strömstyrkan 100 A, bleve kraften 20 p, och för 10 000 A erhålles en kraft på 200 kp. Vid svårare kortslutningar kunna alltså de elektrodynamiska krafterna bliva så stora, att maskiner, apparater, jordkablar m. m. bliva förstörda.

Elektrisk induktion.

I vanliga elektriska element alstras elektricitet genom kemiska processer. Den mängd elektricitet, som på detta sätt kan framställas, är dock så obetydlig, att den inte kan få någon praktisk betydelse. I stället söker man utnyttja de svarta och vita kolens energi för alstring av elektricitet. Sättet härför är genom elektrisk

induktion, varmed menas det fenomen, att en emk eller spänning uppstår (induceras) i en ledare under följande förutsättningar:

1. då en ledare rör sig i ett magnetisk flöde, så att den skär fältlinjerna (principen för elektriska generatorer).

2. då ledaren är i vila men flödet förändras till sin styrka eller riktning (principen för transformatorer).

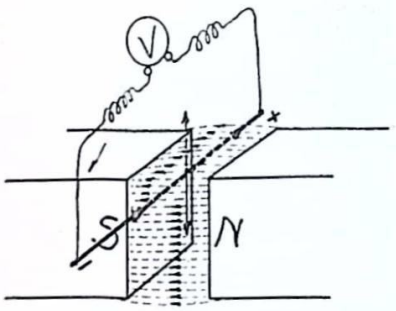


Fig. 121.

Utför ett försök med de anordningar, som visas i fig. 121, skall ni finna, att voltmetern (som i detta fall bör vara ett vridspolsinstrument med nollstreck mitt på skalan), gör ett utslag åt det ena hållet, då ledaren drages nedåt, men utslag åt motsatt håll, då ledaren drages uppåt. Det är härvid endast den del av ledaren, som ligger i flödet, som är verksam dvs. blir en elektrisk strömkälla. Om ni fastställer fältets riktning, skall ni för en viss rörelseriktning finna att emk:s riktning erhålles av den s. k. *högra handregeln:*

Håll högra handens tumme, pekfinger och långfinger i sinsemellan räta vinklar, och så att tummen anger rörelseriktningen, pekfingret fältlinjernas riktning, så visar långfingret emk:s (eller strömmens) riktning. (Jämför fig. 122.)

Vidare kan en emk uppstå, då flödet ökas eller minskas i en slinga. På vad sätt denna flödesändring uppstår, är likgiltigt. Den kan alltså åstadkommas, genom att slingan i fig. 123 drages uppåt (då flödet i slingan *minskas*), eller nedåt (då flödet *ökas*). Hur slingan än förflyttas, så är det endast i den del av slingan, som skär fältlinjerna, en emk induceras. Med hjälp av högra handregeln, fastställes emk:s riktning och, eftersom slingan är sluten, även den inducerade strömmens riktning. Denna är i fig. 121 riktad *moturs*, då ni ser mot slingan i fältlinjernas riktning. När slingan drages nedåt i fältet, *ökas* ju det i slingan inneslutna flödet.

Den regel, som erhålles för en slinga, kan givetvis även tillämpas på en spole med många lindningsvarv. Regeln blir alltså:

Om ni ser spolens ändyta i fältlinjernas riktning, och antalet fält-

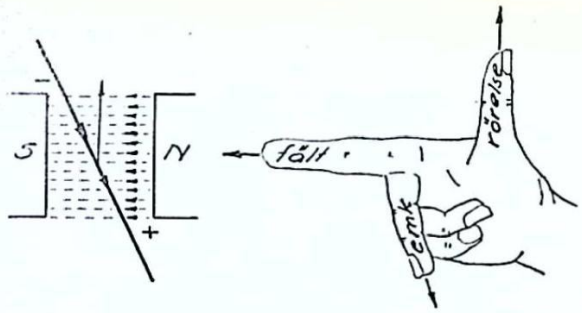


Fig. 122.

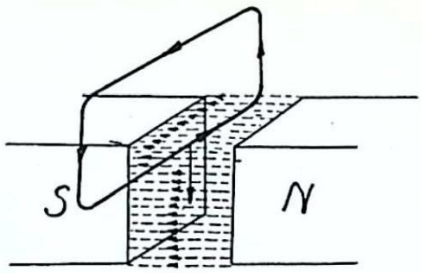


Fig. 123.

linjer **ökas,** *så går induktionsströmmen* **moturs;** *om antalet fältlinjer* **minskas,** *så går induktionsströmmen* **medurs.**

Härvid bör ni beakta, att om en ledare rör sig så att den skär fältlinjerna, så induceras alltid i ledaren en spänning. Däremot uppstår en ström först, då ledarens båda ändar — vilka är detsamma som strömkällans poler — erhålla en ledande förbindelse med varandra. Strömmens styrka (I) bestämmes av den inducerade spänningens (E) storlek och av resistansen (R) i den yttre strömkretsen i fig. 124. Men en elektrisk ström genom en ledare, som ligger i ett magnetiskt flöde, enligt fig. 124, vill ju enligt vänstra handregeln med kraften (F) tvinga ledaren att röra sig uppåt. Storleken av denna kraft kan ni beräkna ur formeln 18. Ni måste alltså med en lika stor kraft (F) pressa ledaren ned genom fältet och denna får då en viss hastighet v.

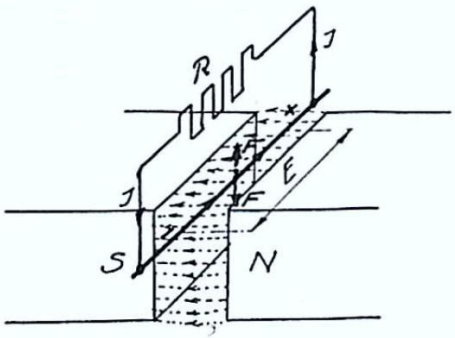


Fig. 124.

En viss mekanisk effekt ($F\ v$) måste alltså tillföras. Varför? Jo, i ledaren induceras en spänning (E), och eftersom ledaren är sluten, erhålles samtidigt en ström (I). Detta betyder att av den mekaniska effekten en elektrisk effekt ($E \cdot I$) har utvecklats i strömkretsen, vilken i detta fall har omsatts till värme. Ni inser sålunda, att *om man önskar erhålla en viss elektrisk effekt, måste man samtidigt tillföra en lika stor mekanisk effekt.*

Liknande verkningar kan ni även iakttaga vid en flödesändring. Om ni söker draga stålmagneten från spolen i fig. 125, så skall ni

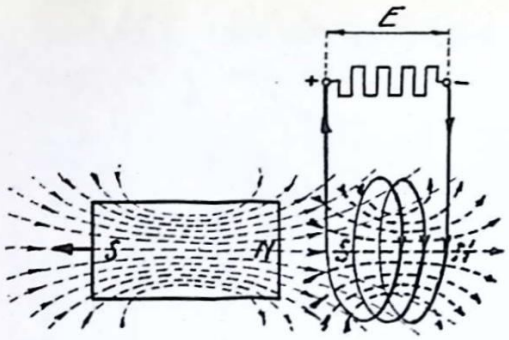


Fig. 125.

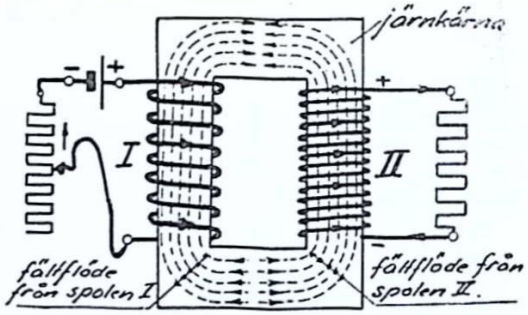


Fig. 126.

finna, att även här kräves en viss kraft. Flödet i spolen *minskas*, och av den inducerade emk E erhålles en ström I genom spolen och motståndet. I spolen får induktionsströmmen en sådan riktning, att de magnetpoler, spolen erhåller, söker motverka stålmagnetens rörelser. Tvingas stålmagnetens nordpol in mot spolen, erhåller spolen en nordpol, som vill förhindra stålmagnetens närmande. Söker stålmagneten att avlägsna sig från spolen, uppstår i stället en sydpol hos denna, som söker kvarhålla stålmagneten. Flödesändringen kan även ske på annat sätt än genom rörelse. Om strömmen ökas i spolen I (fig. 126) — genom att minska resistansen — så ökas flödet. Detta flöde passerar även genom spolen II, där en induktionsström induceras. Med hjälp av minnesregeln för induktions-emk, erhåller ni den i fig. 126 inritade strömriktningen i spolen II. Denna induktionsström alstrar ett magnetiskt flöde, som har *motsatt* riktning till magnetflödet från spolen I. *Induktionsströmmen söker alltså motverka flödets ökning genom att skicka ut fältlinjer med motsatt riktning.* På samma sätt skall ni finna, att den induktionsström, som uppkommer genom flödets försvagning, vill sända ut fältlinjer med *samma* riktning och därigenom förhindra flödet att försvagas.

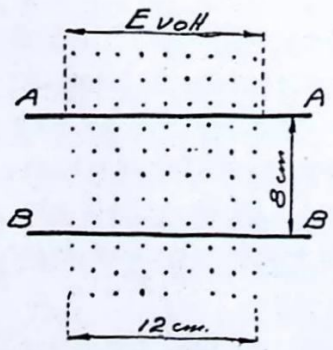


Fig. 127.

Alla dess verkningar av induktionsströmmen ligga till grund för *Lenz lag*, som säger:

Induktionsströmmarna erhålla alltid en sådan riktning, att de motsätta sig varje rörelse eller förändring.

En spänning induceras alltså, när en ledare skär ett magnetiskt flöde, eller när detta flöde genom en slinga förändras till styrka eller riktning. *Om ledaren på en sekund skär flödet en voltsekund, eller om flödesändringen på en sekund i ett trådvarv är en voltsekund så induceras en emk av* **en** *volt.* Samma spänning *en* volt induceras i en ledare, om denna skär flödet 0,1 voltsekunder på 1/10 s. eller 0,01 voltsekunder på 1/100 s., fastän spänningens varaktighet inte blir mer än 1/10 resp. 1/100 s. Beräkningarna på den inducerade emk storlek äro enkla att utföra. Om en ledare t. ex. behöver 0,05 s. för att förflytta sig från läget *A*—*A* till *B*—*B* i fig. 127 i ett flöde med flödestätheten 0,85 Vs/m², så skär ledaren på 0,05 s. flödet $0{,}08 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}85 =$ $= 0{,}00816$ Vs. Detta motsvarar på *en* sekund

$$\frac{0{,}00816}{0{,}05} = 0{,}1632 \text{ voltsekund}$$

I en ledare, som skär flödet 0,1632 voltsekunder per sekund, induceras spänningen 0,1632 V. Denna spänning är givetvis alldeles för liten för att få någon praktisk användning. Visserligen kan man tänka sig ledaren förflytta sig ännu hastigare eller att göra flödet kraftigare. Avsevärt högre spänningar kan emellertid endast erhållas genom att låta flera ledare samverka. Hur skola dessa ledare förenas? Kunna de förenas så, som visas i fig. 128 a? Givetvis inte, ty dessa ledare — som ju äro elektriska strömkällor — måste *seriekopplas*, om spänningen skall bliva högre. Förbindningarna emellan de verksamma ledarna måste i stället gå utomkring flödet enligt fig. 128 b, om dessa skola bliva seriekopplade. Man erhåller på detta sätt en s. k. *härva*. Dessa förbindelseledningar bliva som synes, mycket långa och dåligt utnyttjade. Men man kan fördubbla antalet verksamma ledare helt enkelt genom att även låta motsatta delen av härvan skära fältlinjer. Härvans båda sidor måste alltså ligga under olika magnetpoler enligt fig. 128 c.

På ett likströmsankare är därför lindningssteget så valt, att härvans ena sida ligger under flödets nordpol, då den andra sidan ligger under sydpolen. I en tvåpolig ankarlindning (fig. 129 a) omfattar en härva halva omkretsen, under det att i en fyrpolig ankarlindning (fig. 129 b) härvorna omsluta fjärdedelen av ankaromkretsen.

Om N stycken seriekopplade ledare röra sig med hastigheten v m/s

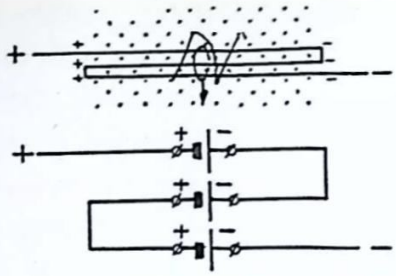


Fig. 128 a.

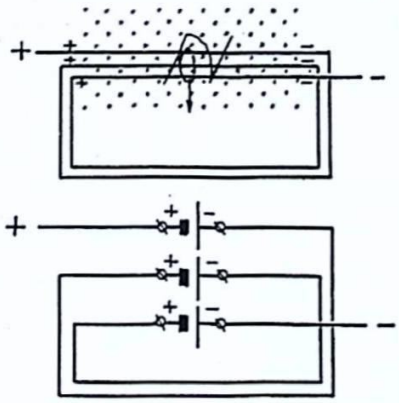


Fig. 128 b.

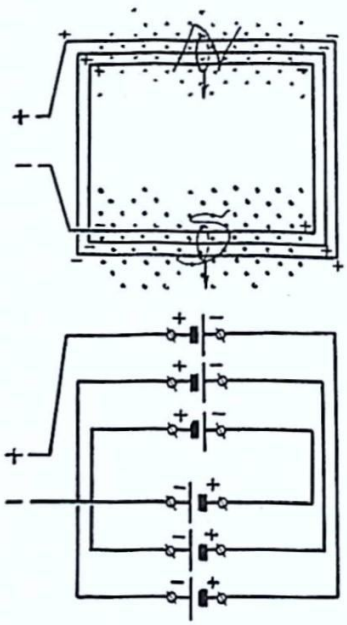


Fig. 128 c.

i ett magnetiskt flöde av styrkan B Vs/m², kan den inducerade emk E beräknas av formeln

$$E = B \cdot l \cdot N \cdot v \text{ volt} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 19.}$$

där l betecknar längden i m av den del av ledaren, som ligger sig i fältet.

Av spänningen E erhålles strömstyrkan I, då strömkretsen slutes. Den mekaniska effekt, som omsättes i elektrisk effekt, ger oss följande uttryck:

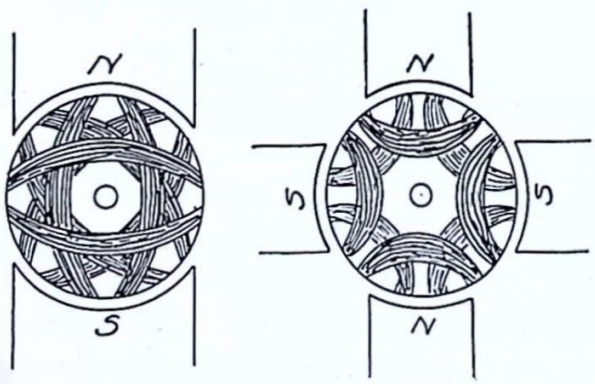


Fig. 129.

Mekaniska effekten $P = F \cdot v$ newtonmeter per sekund.

Elektriska effekten $P = E \cdot I = B \cdot l \cdot N \cdot v \cdot I$ watt

Vidare är

1 newtonmeter per sekund = 1 watt.

Då den mekaniska och elektriska effekten är uttryckta i samma sorts enheter och äro lika stora, erhålles

$$F \cdot v = B \cdot l \cdot N \cdot v \cdot I$$

och

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot N \text{ newton}$$

vilket är det uttryck, som angavs i formeln 18.

Den spänning, som erhålles vid flödesändring, kan även lätt beräknas. Flödet i slingan i fig. 130 minskas från Φ_1 0,0050 Vs till $\Phi_2 = 0{,}0005$ Vs på 0,02 s.

Flödet har minskat med $\Phi_1 - \Phi_2 = 0{,}0050 - 0{,}0005 = 0{,}0045$ Vs. Detta motsvarar på *en* sekund en flödesändring

$$\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{t} = \frac{0{,}0045}{0{,}02} = 0{,}225 \text{ Vs}$$

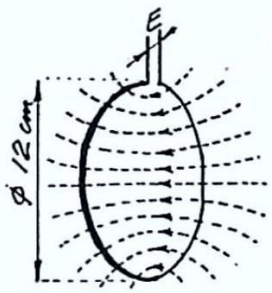


Fig. 130.

och den emk, som induceras i slingan blir sålunda 0,225 V.

I *ett* lindningsvarv blir den inducerade spänningen sålunda 0,225 volt. Om samma flöde på samma tid finge passera genom en spole med 100 lindningsvarv, skulle spänningen bliva $100 \cdot 0{,}225 = 22{,}5$ volt.

Den spänning E, som induceras i en spole med N lindningsvarv, då flödet förändras från Φ_1 till Φ_2 på tiden t sekunder, erhålles av formeln

$$E = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{t} \cdot N \text{ volt} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 20}$$

Härvid förutsättes, att flödesändringen sker i samma takt hela tiden, då spänningen håller sig konstant under den tid flödesändringen varar.

Ömsesidig induktion och självinduktion.

Av lagarna för induktion framgår, att en emk induceras, då en ledare skär magnetiska fältlinjer. Därvidlag är det likgiltigt, om ledaren är i rörelse och flödet stillastående, eller ledaren står stilla och flödet rör sig i ena eller andra riktningen. Om ni slår till strömbrytaren i fig. 131, så uppstår i strömkretsen en plötslig strömrusning. Denna ökning i strömstyrkan framkallar en motsvarande ökning i flödet omkring ledaren. Strömstyrkan får inte sitt fulla värde förrän efter en viss liten tid, och under denna tid ringla fältlinjerna ut från ledaren på samma sätt, som vattenringarna breda ut sig, då en sten kastas i vattnet. Ligger en annan strömkrets ledare i närheten, så kommer de framströmmande fältlinjerna att bliva skurna av ledaren.

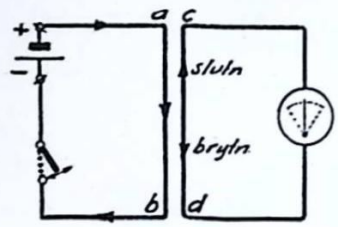


Fig. 131.

Ett sådant förlopp visas i fig. 132, där fältlinjerna omkring ledaren *a*—*b* strömma mot ledaren *c*—*d*. När fältlinjerna komma strömmande mot den stillastående ledaren i riktning vänster till höger, så blir verkningarna desamma, som om ledaren i ett stillastående flöde förflyttas i motsatt riktning, dvs. höger till vänster.

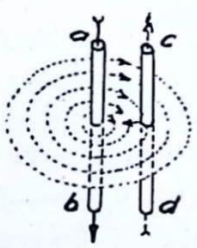


Fig. 132.

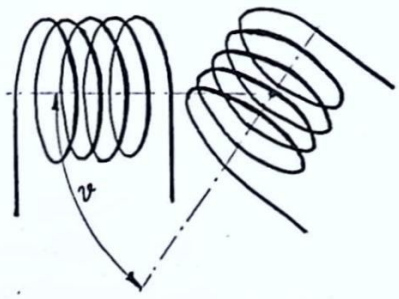


Fig. 133.

I sistnämnda fallet kan då högra handregeln tillämpas, varav ni erhåller den i fig. 132 angivna riktningen på induktionsströmmen. När strömkretsen brytes, så komma fältlinjerna att återvända till ledaren och bliva åter fastän i motsatt riktning skurna av ledaren *c*—*d*. I ledaren induceras en ny induktionsström, dock med motsatt riktning, jämfört med riktningen vid strömkretsens slutning.

De inducerade strömmar i ledaren *c*—*d*, som uppstå vid slutning och brytning av strömkretsen, där ledaren *a*—*b* ingår, visas i fig. 131. Denna art av induktion kallas *ömsesidig induktion* och uppstår i alla ledare, som befinna sig i närheten av en sådan ledare, där strömmen förändras (ökas eller minskas).

Ömsesidig induktion utnyttjas i transformatorer, där induktionsverkan blir särskilt kraftig, emedan de båda spolarna äro försedda med gemensam järnkärna.

Inom radiotekniken erfordras ofta en viss reglerbarhet i den ömsesidiga induktionen. Denna erhålles genom vridning av endera spolen i fig. 133. Blir vinkeln mellan spolaxlarna 90°, så blir den ömsesidiga induktionsverkan mycket obetydlig.

Den induktion, som uppstår i närbelägna ledare, när strömmen förändras, äger även rum i strömkretsens *egna* ledare, då dessa skär det framströmmande magnetflödet. I fig. 134 visas, hur det flöde, som framströmmar från ledardelen *a*, blir skuret av en annan ledardel *b*, men samtidigt blir flödet ifrån *b* skuret av ledardelen *a*, så som synes av figuren. Detta induktionsfenomen, som alltså uppträder mellan ledare i *samma* strömkrets benämnes *självinduktion*.

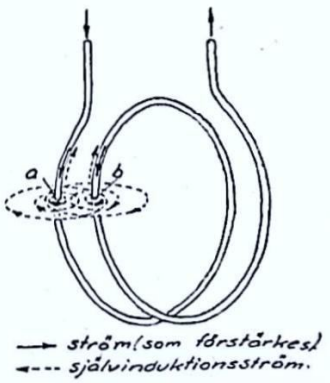


Fig. 134.

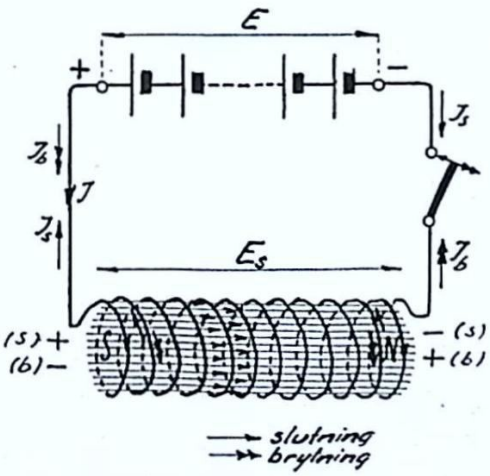


Fig. 135.

Den emk, som erhålles vid ömsesidig induktion och självinduktion, är i hög grad beroende på ledarens form samt på de magnetiska förändringar, som uppstå. Dessa egenskaper tänkas sammanförda i begreppet *induktans*. Stor induktans äger således spolar med många lindningsvarv, framför allt om spolen innehåller järn, som bildar en

sluten magnetisk krets. Erhåller en sådan spole plötsligt ström, så ökas magnetflödet, och av självinduktions-emk uppstår en ström (I_s) med den i fig. 135 angivna riktningen.

Brytes strömkretsen, avtager magnetflödet hastigt, och en ny självinduktions-emk ger upphov till en ström (I_b) som går i motsatt riktning. Ni kan lätt övertyga er om, att förloppet vid självinduktionen följer Lenz' lag. Då strömkretsen slutes, söker självinduktionsströmmen förhindra flödets *ökning* genom att alstra kraftlinjer med *motsatt* riktning. När sedan strömkretsen brytes, söker självinduktionsströmmen istället förhindra flödets *försvagning*, genom att skicka fältlinjer med *samma* riktning som huvudflödet. Självinduktionens verkningar gör vid likström sig gällande, endast i den mån strömmen undergår någon förändring, t. ex. vid brytning och slutning av strömkretsen.

Självinduktionsströmmarna orsakas alltså av samma förändringar som de, vilka giva upphov till de förut beskrivna induktionsströmmarna. Egentligen äro de ett och samma fenomen, och den enda skillnaden består däruti, att de vanliga induktionsströmmarna framskapas med avsikt för att fullgöra ett nyttigt ändamål, under det att självinduktionsströmmarna uppträda oavsiktligt och i regel med ogynnsamma verkningar.

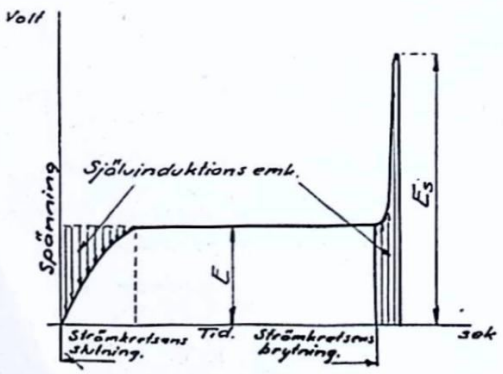


Fig. 136.

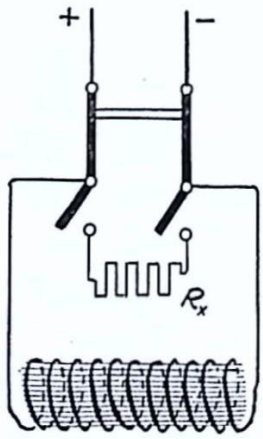


Fig. 137.

En alltför hastig brytning av sådana strömkretsar, som mata kraftiga magnetiska flöden, kan giva upphov till spänningar, som äro många gånger större än strömkällans egen spänning. Lindningarnas isolering utsättes för en så stor påfrestning, att genomslag kan uppstå.

I fig. 136 visas, hur den påtryckta spänningen vid strömkretsens slutning till en början motverkas av självinduktions-emk. Då strömkretsen brytes, uppstår i stället en häftig stegring av spänningen på grund av den höga självinduktions-emk, som uppkommer, då flödet hastigt försvagas.

En viss försiktighet måste därför iakttagas, då det gäller att bryta strömkretsar med stor självinduktion, enär en stor mängd magnetisk energi då samtidigt skall oskadliggöras. Brytningen bör ske över ett urladdningsmotstånd (R_x i fig. 137), som inkopplas ögonblicket innan strömkällan utkopplas. Sker brytningen på detta sätt, slipper man ifrån den sega och intensiva ljusbåge, som annars uppstår vid brytningsstället och lätt orsakar sönderbrända kontakter.

Induktionsströmmar uppstå givetvis i varje ledare av vilken form som helst, då denna är i rörelse i ett magnetiskt flöde eller utsättes för förändringar av det magnetiska flödet. De förut omnämnda *virvelströmmarna* äro även induktionsströmmar, som uppstå, t. ex. i ankaret hos likströmsmaskinerna ävensom i hela den magnetiska järnkretsen hos växelströmsmaskiner.

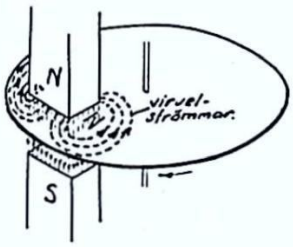


Fig. 138.

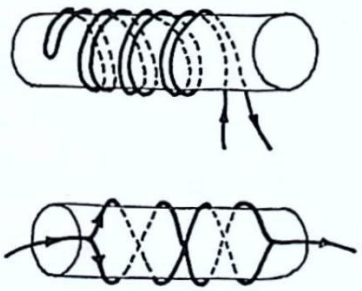


Fig. 139.

I fig. 138 visas, hur virvelströmmarna slutas inom ledaren själv, och hur de i enlighet med Lenz' lag sträva att förhindra varje förändring. För roterande delar verka de följaktligen bromsande. Virvelströmmarna omsättas till värme.

I en del fall, såsom i mätinstrument, motståndsmätbryggor etc., önskar man en induktionsfri upplindning av motståndstråden. En sådan induktionsfri (bifilar-) lindning visas i fig. 139, där det magnetflöde, som uppstår av strömmen i den ena halvan, upphäves av den strömgenomflutna andra halvan av tråden.

Uppgifter.

162. Ett magnetiskt flöde har en flödestäthet $B = 1{,}4\ \mathrm{Vs/m^2}$. Genom detta flöde rör sig en ledare med en hastighet av 20 m/s. Ledarens längd i det magnetiska flödet är 30 cm. Huru hög är den inducerade emk i volt.

163. Beräkna den kraft, som verkar på en ledare, vilken ligger i ett magnetiskt flöde med styrkan 0,9 $\mathrm{Vs/m^2}$, då strömstyrkan genom ledaren är 3,5 ampere, när längden av ledaren i flödet är 15 cm?

164. En spole på 70 lindningsvarv har formen av en rektangel med sidorna 15 och 10 cm (fig. 140). Genom spolen går en ström på 1,2 ampere. Flödet har tätheten 0,65 $\mathrm{Vs/m^2}$. Beräkna vridmomentet.

165. Genom ett magnetiskt flöde med flödestäthet $B = 0{,}8\ \mathrm{Vs/m^2}$ rör sig 180 st. i serie kopplade ledare med en hastighet av 11 m/s. Vardera ledarens längd i det magnetiska flödet är 18 cm. Huru hög är den inducerade emk?

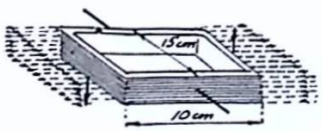


Fig. 140.

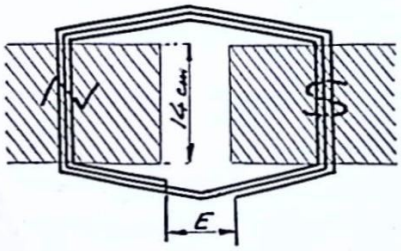


Fig. 142.

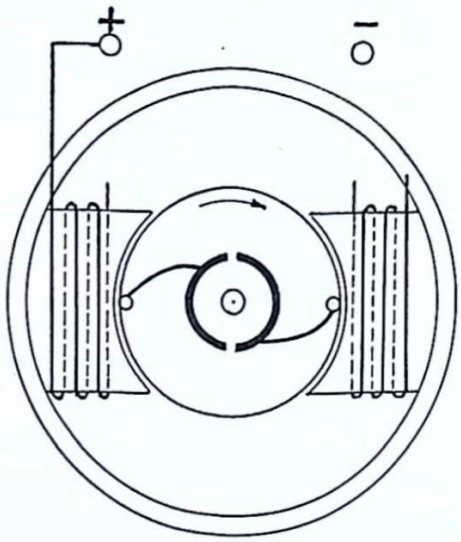


Fig. 141.

166. Fig. 141 avser en elektrisk motor. Komplettera fig., så att fältet erhåller rätt polaritet, samt angiv borstarnas placering och inkoppling, så att ankaret får den å figuren angivna rotationsriktningen.

167. I ett jämnt fördelat magnetiskt flöde med tätheten 0,72 $\mathrm{Vs/m^2}$

rör sig ett antal seriekopplade ledare med en hastighet av 12 m/s. Ledarens längd i flödet 15 cm. Huru många ledare erfordras för att inducera spänningen 60 V?

168. Hur stor flödestäthet erfordras för att i en ledare inducera en emk av 1,8 volt, vilken på 0,003 sek. förflyttat sig 40 mm i fältet. Den del av ledaren, som ligger i fältet, är 12 cm.

169. En härva med 3 lindningsvarv passerar genom ett magnetflöde (fig. 142) med en hastighet av 9 m/s. Flödestätheten 0,85 Vs/m². Huru hög blir den inducerade emk?

170. Hur hög spänning induceras i en spole med 170 lindningsvarv, då flödet på 0,04 sek. på ett likformigt sätt minskas från 0,0540 Vs till 0,0252 Vs, då fältet vid början och slutet av perioden har a) samma riktning b) motsatt riktning?

171. En helt sluten järnkärna av höglegerad plåt är försedd med tvenne magnetspolar enligt fig. 143. Den ena spolen, vilken är försedd med 250 lindningsvarv, har resistansen 14,4 ohm och är inkopplad på 54 volt. Till den andra spolen, vilken har 1100 lindningsvarv, är en voltmeter ansluten. Järnkärnans medellängd är 90 cm och tvärsektionen har 25 cm² järnarea. Vilken spänning visar voltmetern, då vid strömkretsens brytning fältet försvinner med likformig hastighet på 0,02 s?

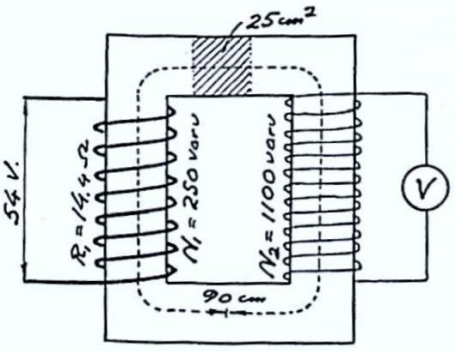


Fig. 143.

Elektriska laddningar, kondensatorer.

En elektrisk krets, som innehåller induktans, har en viss mängd magnetisk energi lagrad, vilken urladdas, då strömkretsen brytes. Denna energi erfordras för att vrida elementarmagneterna, så att järnkretsen blir uppmagnetiserad. När strömmen brytes, vrida sig

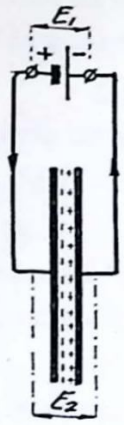


Fig. 144.

elementarmagneterna tillbaka till sina vilolägen dvs. avmagnetiseras. Den upplagrade magnetiska energien får genom självinduktionsverkningarna ett utlopp antingen i ett urladdningsmotstånd eller i en brytningsgnista.

Liknande upplagring fastän i form av elektrostatisk energi äger rum i *kondensatorer*. En sådan består i sin enklaste form av två elektriska ledare, vilka äro skilda ifrån varandra av ett isolerande ämne, t. ex. luft, papper, glas etc. Förenas de båda ledarna med polerna till en strömkälla enligt fig. 144, så passerar en ström fram, ända tills det uppstår ett jämviktstillstånd, vilket inträffar, då

$$E_1 = E_2.$$

Den elektricitetsmängd Q, som kondensatorn kan upptaga, är beroende på laddningsspänningen E och på kondensatorns kapacitans C, enligt formeln

$$Q = C \cdot E \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 21.}$$

Elektricitetsmängden uppmätes i *coulomb* (C) och kapacitansen i *farad* (F). En kondensator har kapacitansen *en* farad, då den erhåller laddningen *en* coulomb, när den uppladdas med spänningen *en* volt. En farad är emellertid en mycket stor enhet, varför kapacitansen för de inom elektrotekniken använda kondensatorerna angives i *mikrofarad* (μF).

$$1\ \mu F = 0{,}000001\ F.$$

Inom radiotekniken förekommer ofta *centimeter* (cm) som mått på kapacitansen.

Ett klot med *en* cm radie äger kapacitansen *en* cm, men det erfordras 900 000 cm radie hos klotet för att kapacitansen skall bliva *en* mikrofarad.

$1\ \mu F = 9 \cdot 10^5$ cm och $1\ F = 9 \cdot 10^{11}$ cm.

Elektricitetsmängden *en* coulomb är lika med den elektricitetsmängd (dvs. antal elektroner), som på *en* sekund passerar genom ledningens tvärsnitt, då strömstyrkan är *en* ampere. Sålunda blir

$$1 \text{ columb } (C) = 1 \text{ amperesekund } (As).$$

Kapacitansen är alltså en kondensators förmåga att uppsamla elektriska laddningar och är beroende på ledarnas form och storlek samt

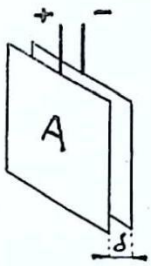


Fig. 145.

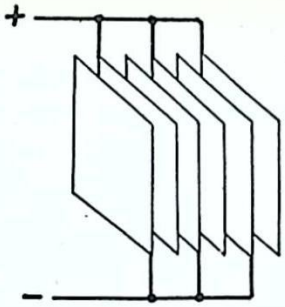


Fig. 146.

på avståndet mellan dem. Dessutom inverkar isolationsmaterialets elektrostatiska egenskaper, vilka kunna sammanfattas i en materialkonstant, som benämnes *dielektricitetskonstant* (ε). Stor kapacitans erhåller en kondensator med litet avstånd, δ i fig. 145, stor yta A hos ledarna samt hög dielektricitetskonstant hos isolerämnet. Ledarna eller beläggningarna kunna uppdelas i flera mindre delar, vilka parallellkopplas på det i fig. 146 angivna sättet.

Den i fig. 144 framställda laddningskretsen uppnår mycket hastigt ett jämviktstillstånd, om spänningen E_1 håller sig konstant. Ökas spänningen E_1, så laddas kondensatorn ytterligare, men sjunker spänningen E_1, så avgiver kondensatorn en del av sin laddning genom att skicka en ström i motsatt riktning. Vid likström representerar en kondensator ett praktiskt taget oändligt stort motstånd. Den ström, som uppstår vid laddning, passerar inte genom kondensatorn utan lagrar sig vid de ledande beläggningarna i form av + och — laddningar. Strömmen likriktar således isolerämnets atomer enligt fig. 147 på liknande sätt, som järnets elementarmagneter likriktas av en magnetiserande kraft.

För en plattkondensator enligt fig. 145 beräknas kapacitansen i farad enligt formeln

$$C = \frac{\varepsilon}{36 \cdot \pi \cdot 10^9} \cdot \frac{A}{\delta} \quad \ldots\ldots \text{ Formel 22.}$$

där A angives i m² och δ i m.

Dielektricitetskonstanten för de vanligaste isolationsmaterialen är i genomsnitt följande

Luft	$\varepsilon = 1$	Porslin	$\varepsilon = 4{,}5$	Papper oimpr.	$\varepsilon = 2$
Glimmer	$= 4 — 8$	Mineralolja	$= 2{,}2$	» impr.	$= 4{,}3$

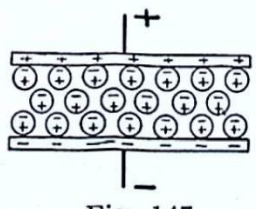


Fig. 147.

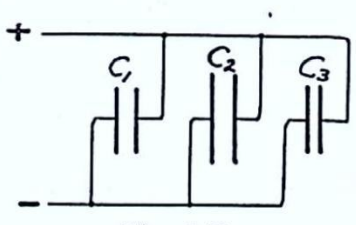


Fig. 148.

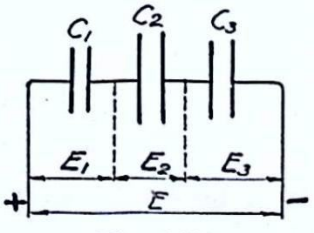


Fig. 149.

Ex. En kondensator har en verksam yta A = 4 m² och ett 0,03 mm tjockt isolationsskikt av impr. papper. Bestäm kapacitansen och laddningen vid en spänning av 220 V!

Kapacitansen

$$C = \frac{4{,}3}{36 \cdot 3{,}14 \cdot 10^9} \cdot \frac{4}{0{,}00003} = 5{,}1 \cdot 10^{-6}\, farad.$$

Laddningen

$$Q = 5{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 0{,}0011\ As.$$

Som synes av detta exempel kan kondensatorer även med mycket stora ledarytor endast upptaga mycket små mängder.

Flera kondensatorer kunna sammankopplas till ett batteri. Äro kondensatorerna parallellkopplade (fig. 148), blir den samlade kapacitansen summan av kondensatorernas kapacitanser, eller

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 23.}$$

En parallellkoppling av kapacitanser verkar alltså som en förstoring av ledarytorna.

Vid seriekoppling av kondensatorer (fig. 149) blir inverterade värdet av den resulterade kapacitansen lika med summan av de enskilda kondensatorernas inverterade värden.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 24.}$$

En seriekoppling av kapacitanser blir sålunda att jämföra med en ökning i avståndet mellan plåtarna.

Ex. Tre kondensatorer med kapacitanserna resp. 2, 3 och 6 mikrofarad äro kopplade

a) i serie

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3+2+1}{6} \ldots\ldots C = 1{,}0\ \mu F$$

b) i parallell

$$C = 2 + 3 + 6 = 11 \ldots\ldots\ldots C = 11{,}0\ \mu F$$

Uppgifter.

172. En kondensator på 8 μF anslutes till en likströmsspänning av 220 volt. Huru många As kan kondensatorn upptaga?

173. En plattkondensator är så anordnad, att avståndet mellan plattorna kan förändras. Vid ett tillfälle, då detta avstånd var 0,5 mm, laddades kondensatorn med 220 V likström. Sedan strömkällan frånkopplats, ökades avståndet mellan plattorna till 8,0 mm. Huru hög spänning uppstod då mellan plattorna?

174. Två kondensatorer på 10 och 15 μF äro seriekopplade och anslutna på 500 volt likström. Huru hög spänning erhåller vardera kondensatorn?

Elektriska ackumulatorer.

I de elektriska elementen blir kemisk energi omvandlad till elektrisk energi. Omvänt kan i en del fall elektrisk energi magasineras i form av kemisk energi för att sedan vid behov utnyttjas som självständig energikälla. En sådan energiuppsamlare är den elektriska *ackumulatorn*, vilken, jämförd med de galvaniska elementen, förmår lagra relativt stora energimängder. Den ackumulator, som lämpar sig bäst i praktiken, är *blyackumulatorn*, men även *nifeackumulatorn* äger en del värdefulla egenskaper.

I sin enklaste form består en blyackumulator av två blyplåtar, Pb, nedsänkta i ett kärl med utspädd svavelsyra, $H_2SO_4+H_2O$, enligt fig. 150. I detta tillstånd förmår inte elementet avgiva någon ström, men blyplattorna angripas på ytan av svavelsyran, varvid ett lager blysulfat, $PbSO_4$, bildas. Anslutes elementet till en strömkälla, så inträder en sönderdelning i en del av svavelsyran i väte-

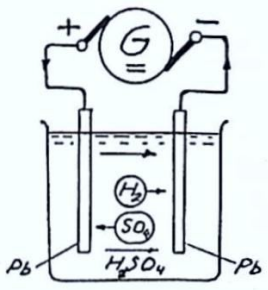


Fig. 150.

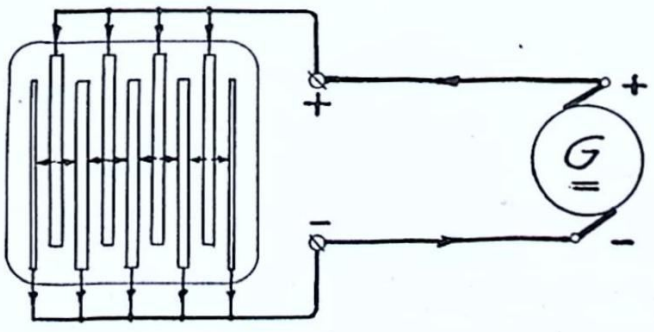


Fig. 151.

(H)-joner och sulfat-(SO_4)-joner, varvid H-jonerna gå *med* strömmen och SO_4-jonerna i motsatt riktning. Vid den ena plattan reduceras blysulfatet till rent bly, och vid den andra plattan övergår blysulfatet till blysuperoxid (PbO_2). De båda plattorna erhålla därigenom olika färg; den positiva elektroden (PbO_2) kännetecknas av blysuperoxidens rödbruna färg, under det att den negativa elektroden (Pb) har ett mattgrått utseende. Schematiskt angives här nedan de kemiska förlopp, som försiggår vid + resp. — elektroden. Härvid bör beaktas, att *generatorns eller laddningsströmkällans pluspol skall anslutas till ackumulatorns pluspol* (fig. 151).

	+ polen		— polen
Tillståndet *före* laddningen	$PbSO_4$	H_2SO_4	$PbSO_4$
Strömriktning inom ackumulatorn	⟵		⟶
Jonernas rörelseriktning	⟵ SO_4		H_2 ⟶
Kemiska processen under laddningen	$PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O =$		$PbSO_4 + H_2 =$
	$= PbO_2 + 2H_2SO_4$		$= Pb + H_2SO_4$
Tillståndet vid laddningens slut	PbO_2		Pb

Under laddningsperioden förbrukas vatten och bildas svavelsyra. Elektrolytens spec. vikt ökas.

När sedan ackumulatorn urladdas enligt fig. 152, så går den kemiska processen i motsatt riktning enligt nedanstående schematiska framställning

	+ polen		— polen
Tillståndet *före* urladdningen	PbO_2	H_2SO_4	Pb
Strömriktning inom ackumulatorn	⟵		
Jonernas rörelseriktning	⟵ H_2		SO_4 ⟶

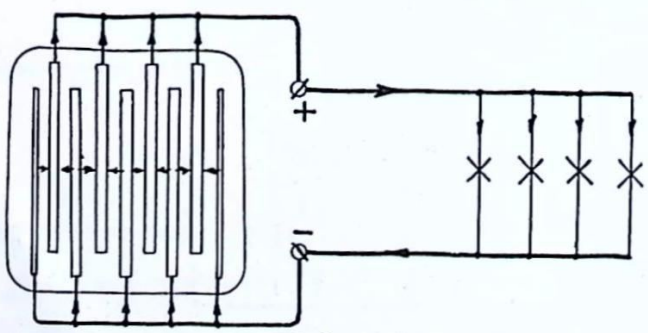


Fig. 152.

Kemiska processen under urladdningen	$PbO_2 + H_2 + H_2SO_4 = PbSO_4 + 2H_2O$	$Pb + SO_4 = PbSO_4$
Tillståndet vid urladdningens slut	$PbSO_4$	$PbSO_4$

Under urladdningen förbrukas svavelsyra, och i stället erhålles vatten. Elektrolytens spec. vikt minskas. En ackumulators laddningstillstånd kan bestämmas antingen av spänningen hos ackumulatorn eller av elektrolytens spec. vikt. Vid laddningens början är spänningen 2,07 volt men stiger snart till 2,14 volt, varefter spänningen ökas långsamt under laddningens gång för att vid laddningsperiodens slut hastigt stiga till 2,75 volt, då laddningen bör avbrytas. Ett kännetecken på att ackumulatorn är laddad är den häftiga vätgasutveckling, som uppstår vid minuspolen (elementet börjar "koka"). Vid urladdning sjunker spänningen genast till 2,1 volt och snart därefter till 1,95 volt, varefter spänningen under urladdningsperioden långsamt sjunker till 1,83 volt, då urladdningen inte bör få fortfara längre. En alltför långt driven urladdning har till följd, att det bildas olöslig blysulfat.

Elektrolytens spec. vikt håller sig mellan 1,12 och 1,16 för en urladdad ackumulator och 1,20 till 1,24, då denna är laddad. Spec. vikten bestämmes medelst syramätare, s. k. *areometer* (fig. 153). Den utspädda svavelsyran måste vara synnerligen ren, då främmande ämnen inverka störande på den kemiska processen i ackumulatorn eller öka dennas självurladdning. För fullgoda element bör denna inte uppgå till mer än 2 % pr dygn, men kan för dåligt skötta ackumulatorer uppgå till 30 %. Härav framgår, att ackumulatorer, även om de få stå overksamma, måste laddas upp på nytt efter någon tid.

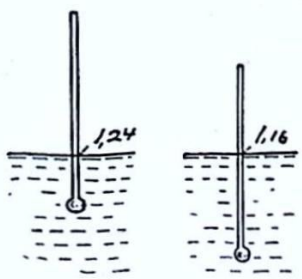


Fig. 153.

En ackumulator med plattor av rent bly erhåller emellertid inte den kapacitet, som erfordras för praktiskt bruk. Det aktiva skiktet på ytan blir mycket tunt, och en djupare formering erhålles endast genom upprepade laddningar och urladdningar. Numera utföras plattorna med stora beröringsytor genom att förse plattorna med djupa refflor eller inpressa porös aktiv massa av blyoxid i ett gallersystem av bly. Den positiva plåten

utföres enligt det förstnämnda sättet, under det att den negativa plåten består av s. k. massaplatta. Beläggningen på positiva plåten lossnar lätt och faller ned på kärlets botten, varför plåtarna böra hänga ett stycke över botten, för att inte kortslutning mellan plattorna skall uppstå. Den negativa plåten försämras genom ovarsam skötsel, enär s. k. sulfatisering uppstår, varmed menas bildande av stora mera olösliga kristaller av blysulfat. Därigenom minskas den aktiva ytan, och kapaciteten nedsättes i motsvarande grad.

Storleken av plattorna är beroende på den strömstyrka, som ackumulatorn skall tåla. Därvid brukar man beräkna 1 A pr dm^2 yta hos den positiva plattan. Närmare uppgifter härom brukar medfölja ackumulatorerna.

Kapaciteten hos ackumulatorn angives i *amperetimmar* (Ah). Denna är emellertid något beroende av laddnings- resp. urladdningsströmstyrkan, så att ett något större amperetimantal erhålles vid en lägre än vid en högre strömstyrka.

Verkningsgraden hos en ackumulator, angivet som förhållandet mellan antalet amperetimmar vid urladdning och laddning, blir c:a 90 %. Jämföres däremot antalet kilowattimmar, blir verkningsgraden endast c:a 75 %, beroende på den avsevärt lägre spänning, som erhålles vid urladdning, mot den, som kräves vid laddning.

En ackumulator, på vilken är angivet 120 Ah, max. strömstyrka 8 A, urladdas fullständigt med 5 A. Denna strömstyrka kan ackumulatorn avgiva på

$$\frac{120}{5} = 24 \text{ timmar.}$$

I urladdat tillstånd kan ackumulatorn laddas upp med 8 A på

$$\frac{120}{0{,}9 \cdot 8} = 16{,}7 \text{ timmar.}$$

En blyackumulator är ganska ömtålig för stötar och för kortslutningar eller långvarigare överbelastningar. Dessutom skadas den, om den får stå oladdad. Dessa nackdelar hos blyackumulatorn förefinnes inte hos de alkaliska ackumulatorerna. En av dessa är *jungner-ackumulatorn* — vanligen benämnd nifeackumulatorn — hos vilken positiva elektroden utgöres av nickelhydrat [$Ni(OH)_2$]; den negativa

bestod ursprungligen av järnsvamp (Fe) men utgöres numera huvudsakligen av kadmium (Cd). Vid urladdningen oxideras kadmium till kadmiumhydrat [$Cd(OH)_2$], under det att elektrolyten, som utgöres av 20-procentig kalilut, (KOH), inte deltager i de kemiska reaktionerna, utan tjänstgör som ledare för strömmen. Därigenom kunna dessa ackumulatorer göras fullständigt slutna och placeras i vilket läge som helst. Då elektrodmaterialet är synnerligen hållbart, tåla dessa ackumulatorer en mera omild behandling. Den är även lättare än blyackumulatorn, vilkens vikt är 65 till 100 kg pr kWh mot 35 kg pr kWh för jungnerackumulatorn. Urladdningsspänningen är i genomsnitt 1,20 volt, normal laddningsspänning 1,4 à 1,5 volt, vilken vid laddningens slut stiger till 1,8 volt. Verkningsgraden för dessa ackumulatorer ligger 10 à 15 % under verkningsgraden för blyackumulatorer, räknat pr amperetimmar eller kilowattimmar.

Ackumulatorbatterierna kunna avsevärt förbättra likströmsanläggningarnas driftssäkerhet och kapacitet. De väsentligaste fördelarna äro:

1. Gynnsamma belastningsförhållanden för generatoraggregaten. Vid högbelastningsperioder kan batteriet upptaga en del av belastningen och i stället laddas vid tider, då belastningen är liten.

2. Batteriet kan utnyttjas som reservkraft vid kortare driftsavbrott och kan ensam uppehålla driften under natten.

Efter driftsförhållandena skiljer man mellan *kapacitetsbatterier* för långsam urladdning (3 till 10 timmar) och *pufferbatterier* för stötvisa urladdningar.

Övningsuppgifter.

Resistans. Resistivitet.

1. En ståltråd (resistiviteten = 0,12) har 2 mm diameter och 785 m längd. Huru stor är resistansen?

2. Vilken area skall väljas till ett 10 ohms motstånd av konstantantråd, då längden är 8 m?

3. 8 m tråd har resistansen 0,2 ohm. Hur stor resistans har 5 m av tråden?

4. Huru lång är den konstantantråd, vars resistans är 10 ohm, då arean är 2,5 mm^2?

5. En tråd av aluminium har 2 mm diameter och längden 541,1 m. Huru stor är resistansen?

6. En tråd med arean 3 mm^2 har resistansen 1,2 ohm. Hur stor skulle resistansen vara om arean är 5 mm^2?

7. Vilken resistivitet har en tråd med längden 2 m och arean 5,6 mm^2, då resistansen är 0,5 ohm?

8. Ett förkopplingsmotstånd med resistansen 25 ohm utföres av motståndstråd med diametern 0,35 mm. En tråd av samma material med längden 7 m och diametern 1,8 mm har resistansen 0,3 ohm. Huru lång motståndstråd erfordras till förkopplingsmotståndet?

9. En kopparskena har rektangulärt tvärsnitt med 2 cm höjd och 4 mm bredd. Huru stor resistans har en 1 km lång sådan skena?

10. Huru många gånger större är resistansen i en ståltråd ($\varrho = 0{,}12$) med längden 28 m och arean 0,75 mm², jämfört med resistansen i en koppartråd ($\varrho = 0{,}0175$), som har längden 15,7 m och 0,5 mm diameter?

11. En telegrafledning av stål har resistansen 15,0 ohm och längden 640 m. Vilken area har ledningen?

12. En tråd, som var 180 m lång och med arean 6 mm², hade resistansen 3,6 ohm. Beräkna trådens resistivitet. Vilken metall är det?

13. Huru stor resistans har ett kopparrör, som är 3,2 m långt, då inre och yttre diametern är resp. 8 och 10 mm?

14. En aluminiumplåt är 1,5 m lång och 0,4 mm tjock. Huru bred remsa skall klippas av plåten, då resistansen i remsan skall vara 0,03 ohm?

15. Ett glasrör är invändigt 1 mm i diameter, och längden är 1 m. Huru stor resistans har den kvicksilverpelare, som fyller detta glasrör?

16. Ett motstånd skall repareras. Tråden var av stål med 2,5 mm² area och längden 12 m. Nu vill man istället göra motståndet av en konstantantråd, som har diametern 2 mm. Huru lång bör konstantantråden vara, om resistansen skall bliva oförändrad? (Resistiviteten för stål 0,12, för konstantan 0,50.)

17. Ett motståndselement består av 42 varv konstantantråd, som är upplindat på en asbestrulle. Trådens diameter är 1,2 mm och asbestrullens diameter 28 mm. Beräkna elementets resistans.

18. Ett motståndselement är lindat av kromnickeltråd med 0,35 mm diameter på ett porslinsrör med stigning, motsvarande 12 varv pr cm. Lindningsbara längden på röret är 17,5 cm, och medeldiametern på lindningen är 28 mm. Beräkna elementets resistans.

19. En kopparlina består av 19 trådar, vardera med 2,17 mm diameter. Vad blir resistansen pr ton, då 100 m väger 64,17 kg?

20. Bomullsisolerad koppartråd med 1,3 mm diameter har resistansen 13 Ω per kg. Huru många meter sådan koppartråd är det på ett kg?

21. En ring koppartråd innehöll 128 lindningsvarv. Medeldiametern är 30 cm. Huru stor är koppararean då resistansen är 1,256 ohm?

Serie- och parallellkoppling av motstånd m. m.

22. Motstånden med resistanserna 5, 6 och 7 ohm äro seriekopplade. Beräkna ersättningsmotståndets resistans?

23. Ersättningsresistansen till tre seriekopplade motstånd är 25 ohm. Två av dessa har resistansen 13 och 8 ohm. Huru stor resistans har det tredje motståndet?

24. Om man vill erhålla resistanserna 3, 5, 8, 12 och 17 ohm utav ett regleringsmotstånd, hur bör detta då anordnas? Rita en figur och angiv motståndsdelarnas resistans.

25. Ett motstånd med resistansen 3,2 ohm är seriekopplad med en variabel resistans. Ersättningsresistansen vid olika kontaktlägen är 4,8, 6,0, 7,5, 8,1, 10,2 och 12,8 ohm. Beräkna resistansen av motståndsdelarna i den variabla resistansen.

26. Resistanserna 8, 12 och 15,2 ohm äro parallellkopplade. Beräkna ersättningsresistansen!

27. En shunt skall hava resistansen 0,009 ohm och skall bestå av tre stycken lika långa parallellkopplade manganintrådar, vardera med diametern 2,0 mm. Huru lång blir varje tråd?

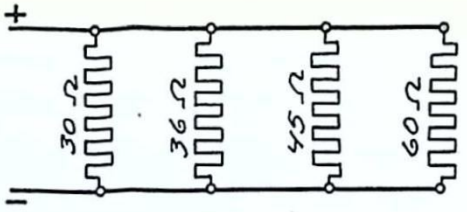
28. En koppartråd med längden 2,5 m och diametern 0,5 mm är belagd med ett 0,05 mm tjockt silverskikt. Vad blir den försilvrade koppartrådens resistans?

29. Huru stor resistans skall kopplas till 5 ohm, för att ersättningsresistansen skall bliva 4 ohm? Huru skola motstånden kopplas?

30. Tre motstånd äro parallellkopplade, och ersättningsresistansen blev 2,5 ohm. Två av resistanserna äro 6 och 9 ohm. Huru stor är den tredje resistansen?

31. Ett motstånd har resistansen 18 ohm. Huru stor resistans skall parallellkopplas, så att man bara får 1/10 så stor resistans?

32. Beräkna ersättningsresistansen!



Ex. 32.

33. En tråd har resistansen 72 ohm. Tråden delades i två lika delar och dessa parallellkopplades. Huru stor blir ersättningsresistansen?

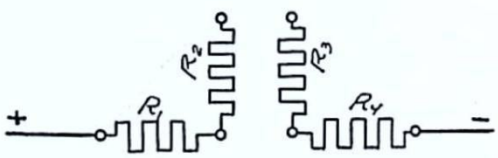
34. 

Ex. 34.

Utför kopplingen så att R_1 och R_2 bliva kopplade parallellt och R_3 i serie med dessa. Vad blir ersättningsresistansen om $R_1 = 24$ ohm, $R_2 = 56$ ohm och $R_3 = 18$ ohm?

35. Fyra motstånd med resistanserna 2, 4, 6 och 8 ohm äro hopkopplade och bilda en fyrkant. Huru stora bliva resistanserna mätt mellan två motstående hörn?

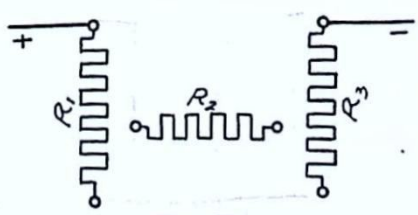
36. Parallellkoppla motstånden R_1, R_2, R_3 och R_4! Beräkna ersättningsresistansen då $R_1 = 32$ ohm, $R_2 = 24$ ohm, $R_3 = 48$ ohm och $R_4 = 56$ ohm!



Ex. 36.

37. Upprita motstånden R_1 och R_2 i serie, och parallellkoppla R_3 med dessa. Vad blir ersättningsresistansen, om $R_1 = 4{,}5$ ohm, $R_2 = 7{,}5$ ohm och $R_3 = 8$ ohm?

38. Två motstånd, av vilka det ena har resistansen 7,2 ohm, äro kopplade i serie och parallellt med dessa ett motstånd med resistansen 12,6 ohm. Ersättningsresistansen för alla tre motstånden är 6,6 ohm. Huru stor resistans har det andra seriekopplade motståndet?

39. 

Ex. 39.

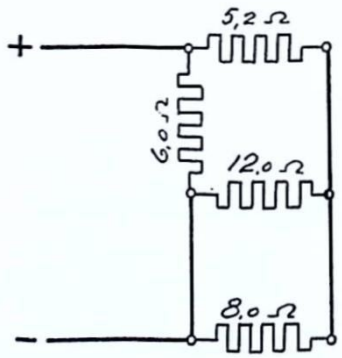
De tre motstånden i vidstående figur skola hopkopplas, så att R_1 och R_3 bliva seriekopplade och R_2 parallellt med dessa. Inrita erforderliga förbindningar. Huru stor är ersättningsresistansen, om $R_1 = 4{,}2$ ohm, $R_2 = 5{,}6$ ohm och $R_3 = 7{,}7$ ohm?

40. Tre lika stora motstånd kunna hopkopplas på 4 olika sätt. Rita kopplingen för varje kombination och beräkna ersättningsresistansen, då varje motstånd har resistansen 12 ohm.

41. En aluminiumskena är 1,5 cm hög och 4 mm tjock och böjd, så att den bildar en sluten cirkel med 1,2 m diameter. Huru stor är resistansen, om den mätes mellan två diametralt motsatta punkter på ringen?

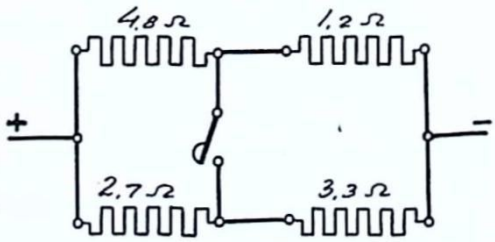
42. En stålaluminiumledning består av en stållina med 35 mm² area och utanpå denna aluminiumtrådar med 70 mm² sammanlagd area. Vad blir totala resistansen per km?

43. Beräkna ersättningsresistansen för strömkretsen.



Ex. 43.

44. Beräkna ersättningsresistansen för strömkretsen a) då strömbrytaren är öppen och b) då strömbrytaren är sluten.



Ex. 44.

45. Isolationsresistansen i en 125 m lång dubbelledare är 1,0 MΩ. Huru stor är isolationsresistansen i 70 m lång del av dubbelledaren?

46. I en 75 m lång dubbelledare är isolationsresistansen 1,0 MΩ. Huru stor är isolationsresistansen i en likadan dubbelledare, som är 125 m lång?

47. Isolationsresistansen i en 60 m lång dubbelledare är 5 MΩ. Huru lång är dubbelledaren om isolationsresistansen är 6 MΩ?

48. Isolationsresistansen ökades med 2,5 MΩ, då dubbelledarens längd minskades från 90 till 75 m. Hur hög är isolationsresistansen per meter?

49. Ett motstånd har resistansen 126,0 ohm vid + 15°. Vid vilken temperatur är resistansen 150,0 ohm? (Resistansökningen per grad är 0,4 %.)

50. Vid vilken temperatur är resistansen 18,0 ohm, då resistansen är 15,0 ohm vid + 15° C? (Resistansökningen 0,4 % per grad.)

51. En kopparlindning hade resistansen 56,0 ohm vid + 15° temp. Huru stor är resistansen, då temperaturen hos lindningen är 85°?

52. Om resistansen i en kopparledare är 8,0 ohm vid + 15°, vid vilken temp. är då resistansen 10,0 ohm?

53. En spole av koppartråd har vid 25° C resistansen 24,7 ohm. Vid vilken temperatur är resistansen 32,4 ohm?

54. En transformatorlindning har resistansen 0,345 ohm vid 10° C. Vid vilken temperatur är resistansen 0,414 ohm?

55. En kopparlindning med resistansen 72,4 ohm vid + 20° C uppvärmes till + 70° C. Huru hög är resistansen vid denna temperatur?

56. En spole lindad av koppartråd har resistansen 18,7 ohm vid 20° C. Vid en högre temperatur är resistansen 23,1 ohm. Vilken temperatur är denna?

57. En transformatorlindning har resistansen 0,724 ohm vid 25° C. Vid en högre temperatur var resistansen 0,856 ohm. Vilken var denna temperatur?

Strömstyrka och strömtäthet. Serie- och parallellkoppling av element. Strömförgrening.

58. En tråd har 1,2 mm diameter. Huru stor är strömtätheten, då strömstyrkan är 5 A?

59. En tråd har 0,8 mm diameter. För vilken strömstyrka blir strömtätheten 2,5 A/mm²?

60. Vid vilken area är strömtätheten 2,5 A/mm², då strömstyrkan är 0,625 A?

61. Vilken area erfordras för 0,45 A strömstyrka, då strömtätheten får vara 2,5 A/mm²?

62. En 160 m lång kopparledning belastades med 14 ampere. Strömtätheten var då 4 A/mm². Huru stor resistans hade ledningen?

63. Strömtätheten för 0,75 mm² får vara 50 % större än för 2,5 mm² kopparledning. Huru stor strömstyrka får 2,5 mm² kopparledning belastas med, då 0,75 mm² får ha 9,0 A belastning?

64. Skalan till en amperemeter hade 130 skaldelar. När strömstyrkan var 6,25 A, pekade visaren på 125 skaldelar. För vilket mätområde var amperemetern avsedd?

65. En skala till amperemeter har 125 skaldelar. Huru stor strömstyrka motsvarar 73,4 skaldelar, då mätområden är 0—5 A?

66. En voltmeterskala är indelad i 150 skaldelar och visar fullt utslag för 120 V. Huru hög var spänningen, då voltmeterns utslag var 58 skaldelar?

67. En voltmeter visar vid fullt utslag 125 skaldelar. Huru många skaldelar motsvarar en spänning av 445 V, då mätområdet är 0—750 V?

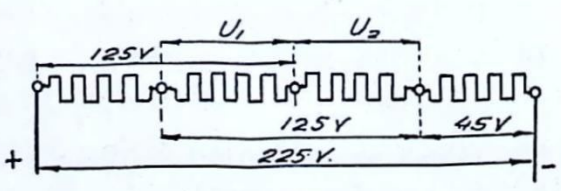
68. 8 st. element, vartdera med spänningen 2 V, skall kopplas på lämpligaste sätt, så att batterispänningen blir 8 V. Gör en figur över elementens hopkoppling.

69. 6 st. ackumulatorceller, vardera på 2 V, skola hopkopplas så att batterispänningen blir 4 V. Visa hur detta skall utföras!

70. 6 st. ackumulatorceller, vardera på 2 V, skola kopplas tillsammans, så att man erhåller en batterispänning på 6 V. Visa hur detta skall utföras!

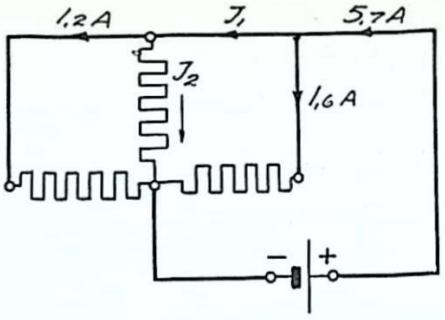
71. Spänningen i en ackumulatorcell varierar från 1,85 V i urladdat till 2,1 V i laddat tillstånd. Huru många stam- och reglerceller erfordras i ett ackumulatorbatteri, där batterispänningen skall kunna hållas konstant vid 125 V?

72. Beräkna spänningarna U_1 och U_2 i vidstående figur!

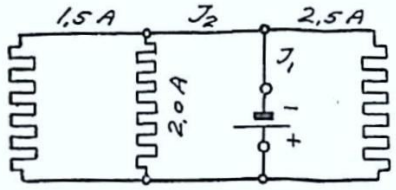


Ex. 72.

73. Beräkna strömstyrkorna I_1 och I_2!

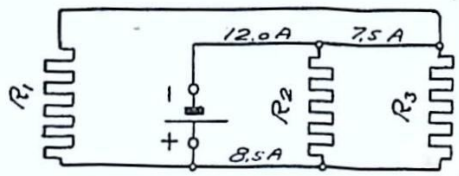


Ex. 73.

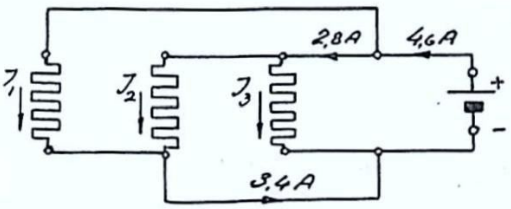
74. 

Beräkna strömstyrkan I_1 och I_2 i vidstående figur! Visa strömmarnas riktning!

Ex. 74.



Ex. 75.

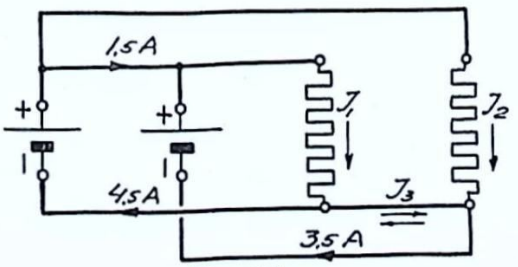


Ex. 76.

75. Beräkna strömstyrkan genom motstånden R_1, R_2 och R_3 i ovanstående strömkrets. Angiv på figuren strömmarnas riktning.

76. Beräkna strömstyrkorna I_1, I_2 och I_3 i ovanstående figur!

77. Hur stora är strömmarna I_1, I_2 och I_3? Vilken riktning erhåller strömmen I_3?



Ex. 77.

Tillämpningar på Ohms lag.

78. Huru mycket skall resistansen förändras, för att strömstyrkan skall ökas från 3 till 5 A, då spänningen är 30 V?

79. Ett skjutmotstånd inkopplades på 120 V spänning, då strömstyrkan blev 3,0 A. Då en del av resistansen urkopplades, steg strömstyrkan till 4,0 A. Huru stor resistans urkopplades?

80. En apparat, som kräver 1,2 A vid 150 V, kopplas i serie med en resistans på 25 ohm och anslutes på 225 V. Huru hög spänning erhåller apparaten?

81. Två motstånd med resistanserna 9 och 16 ohm äro seriekopplade och anslutna på 125 V. Huru hög spänning erhåller vartdera motståndet?

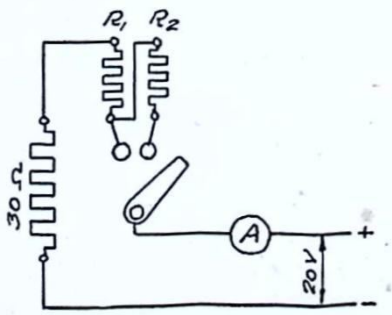
82. En apparat, som är avsedd för 3,2 A. 120 V, skall medelst ett motstånd anslutas på 220 V. Huru stor resistans skall detta motstånd hava? Visa medelst en figur, hur det skall inkopplas!

83. Två motstånd med resistanserna 18 och 27 ohm äro parallellkopplade. På vilken spänning äro de anslutna, då belastningsströmmen är 20 A?

84. En projektionslampa, avsedd för 100 V, kräver 2,5 A. Man önskar göra ett förkopplingsmotstånd med uttag så att lampan kan anslutas på 110, 125, 190 och 220 V. Huru stora böra motståndsdelarnas resistanser vara i förkopplingsmotståndet?

85. Resistanserna 17 och 23 ohm äro parallellkopplade och anslutna till en strömkälla. Genom den större resistansen är strömstyrkan 1,7 A. Beräkna strömkällans spänning och strömstyrkan från densamma!

86. Två motstånd med resistanserna 15 och 35 ohm äro parallellkopplade. En ström på 21 A förgrenar sig genom de båda motstånden. Huru stor blir strömstyrkan genom vartdera motståndet?

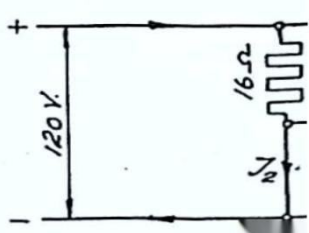


Ex. 87.

87. Ett motstånd med resistansen 30 ohm är seriekopplat med ett regleringsmotstånd, så att man kan erhålla strömstyrkorna 0,4 och 0,5 A, då spänningen är 20 V. Beräkna resistanserna R_1 och R_2.

88. Ett motstånd med resistansen 24 ohm skall i serie med bart motstånd anslutas på 120 V. Huru stora skola resistans i regleringsmotståndet vara, då man önska strömstyrkorna 1,5, 2,0, 2,5 och 3,0 A. Rita ett schem

89. Tre motstånd med resistanserna 16, 24 och 48 ohm äro kopplade enligt schemat och anslutna på 120 V. Beräkna strömstyrkorna I_1 och I_2.



Ex

90. Två motstånd med resistanserna 30 och 45 ohm parallellkopplas och i serie med dessa ett motstånd med resistansen 32 ohm. Det hela är anslutet till en strön det visar sig, att strömstyrkan genom 30-ohmsmot 1,5 A. Vilken spänning har strömkällan?

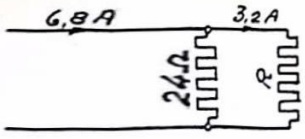
91. En ström på 24 A förgrenar sig genom tre parallellk stanser, av vilka de två äro 12 och 20 ohm. Strömst den tredje resistansen är 9 A. På vilken spänning stanserna inkopplade, och huru stor är strömstyrkan andra resistanserna?

92. En apparat, som har resistansen 40 ohm, skall i ser reglerbart motstånd anslutas på 225 V. Hur skall uppdelas på regleringsmotståndet, då man på appa erhålla spänningarna 60, 90, 120 och 150 V. Rita ett

93. Fyra motstånd bilda en fyrkant $A\ B\ C\ D$. Det mot inkopplat mellan A och B har resistansen 3 ohm, n 4 ohm, mellan C och D 6 ohm samt mellan D och Mellan A och C är en strömkälla inkopplad med s 91 V. Huru hög är spänningen mellan B och D?

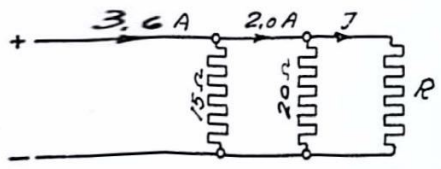
94. En apparat, som är avsedd för 110 V och 0,8 A, skal serie med en annan apparat, som också är avsedd för kräver 1,2 A. Det hela inkopplas på 220 V. Hur kom spänning att fördela sig på de båda apparaterna?

95. Genom inkoppling av ett motstånd kan apparaterna erhålla rätt spänning och strömstyrka. Visa med e motståndet skall inkopplas, och beräkna resistansen

96. 

Ex. 96.

Beräkna resistansen R i strömkretsen i vidstående figur.

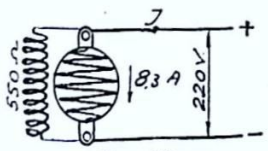
97. 

Ex. 97.

Beräkna strömstyrkan I och resistansen R i vidstående strömkrets!

98. Tre motstånd bilda en triangel $A\ B\ C$. Mellan klämmorna A och B är inkopplat resistansen 12 ohm, mellan B och C 16 ohm och mellan C och A 22 ohm. En strömkälla är inkopplad mellan A och C, och spänningen mellan klämmorna A och B är då 3 V. Beräkna strömkällans spänning och belastningsström.

99. En shuntmotor har resistansen 550 ohm i magnetlindningen. Genom ankaret går 8,3 A. Beräkna den strömstyrka motorn kräver!



Ex. 99.

100. En shuntgenerators klämspänning är 230 V. Ankarströmstyrkan 98 A, utgående ström 93,4 A. Huru stor resistans har magnetlindningen?

101. En voltmeter har en resistans på 150 ohm och visar fullt utslag för 0,3 V. Huru stor förkopplingsresistans erfordras för att voltmetern skall visa fullt utslag för 150 V?

102. En amperemeter, visande fullt utslag för 0,3 A har inre resistansen 0,2 ohm. Genom att sätta till en shunt visar amperemetern fullt utslag för 1,5 A. Huru stor resistans har shunten?

103. En voltmeter med mätområdet 0—150 V har resistansen 1 200 ohm. Vilken spänning visar voltmetern, då strömstyrkan genom densamma är 41 m A?

104. En voltmeter har resistansen 800 ohm och visar fullt utslag för 2,5 V. Huru stort blir mätområdet, då voltmetern förses med ett förkopplingsmotstånd med resistansen 39 200 ohm?

105. En amperemeter har resistansen 0,8 ohm och amperemeterns

shunt 0,2 ohm. Med shunt visar amperemetern fullt utslag för 0,75 A. Vilket mätområde har amperemetern utan shunt?

106. En voltmeter med resistansen 900 ohm har ett förkopplingsmotstånd med resistansen 17 100 ohm, varvid voltmeterns mätområde är 0—30 V. Vilket mätområde har voltmetern utan förkopplingsmotstånd?

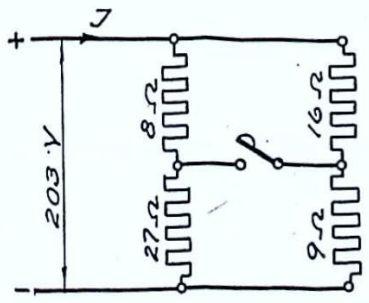
107. En amperemeter utan shunt gör fullt utslag för 0,25 A, då amperemeterns spänningsfall är 0,45 V. Vilken strömstyrka orsakar fullt utslag, då amperemetern förses med en shunt med resistansen 0,20 ohm?

108. En amperemeter har inre resistansen 0,15 ohm, och största strömstyrkan genom densamma får vara 0,3 A. Huru stor resistans bör shunten hava, om man vill använda instrumentet för uppmätning av högst 3 A strömstyrka?

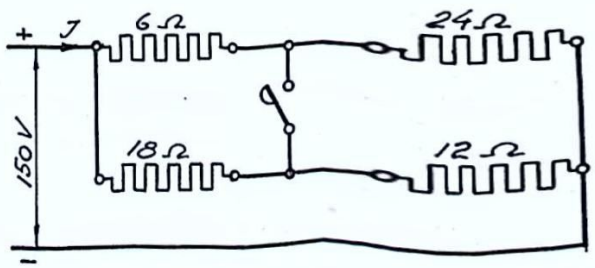
109. Ett motstånd med en viss resistans är inkopplat på spänningen 120 V. Vid + 15° C är strömstyrkan 1,5 A. Hur stor blir strömstyrkan genom motståndet, då detta har temperaturen + 65° C?

110. En spole, lindad av koppartråd, var inkopplad på spänningen 130 V, då strömstyrkan blev 2,0 A. Spolens temperatur var då + 25° C. Sedan spolen varit inkopplad några timmar, hade strömstyrkan gått ned till 1,6 A och spänningen till 128 V. Vilken temperatur hade då spolen?

111. Hur stor blir strömmen I då strömbrytaren är a) öppen? b) sluten? c) Hur stor ström går genom brytaren, då denna är sluten?



Ex. 111.



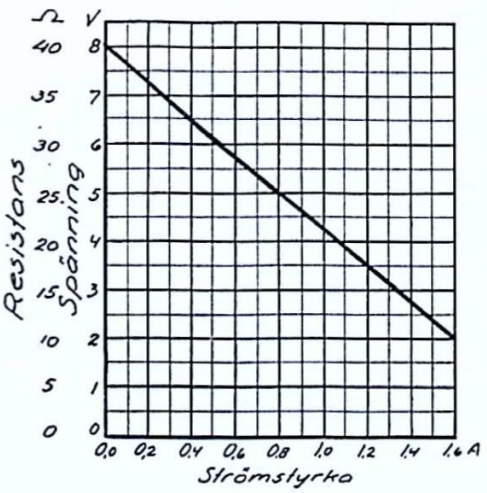
Ex. 112.

112. Beräkna strömmen I då strömbrytaren är a) öppen? b) sluten? c) Hur stor ström går genom brytaren i senare fallet?

113. Ett belastningsmotstånd på 2,5 ohm skall utföras av bandjärn med 1,5 mm tjocklek (resistiviteten 0,12). Motståndet skall kunna belastas med 15 A, och strömtätheten får uppgå till 2,5 A/mm². Huru många meter bandjärn erfordras? Vilken bredd har järnbandet?

114. Ett värmeelement för 2,0 A, 110 V skall utföras av kromnickelband, för vilken en strömtäthet av 25 A/mm² tillåtes. Vad blir längden på kromnickelbandet, då resistiviteten är 1,1?

115. Spänningen i en strömkrets är beroende av strömmen på det sätt som angives av den räta linjen i diagrammet. Avläs de värden på spänningen, som svarar mot de i tabellen angivna strömstyrkorna. Beräkna värdena på resistansen och rita in i diagrammet den kurva, som visar sambandet mellan ström och resistans. a) Hur hög är spänningen, då resistansen är 20 ohm?



I	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	A
U								V
R								Ω

Ex. 115.

116. En spole av koppar krävde 0,50 A, vid 225 V, då temperaturen var + 15° C. Vid vilken temperatur kräver spolen 0,45 A vid samma spänning?

117. En spole av koppartråd har temp. 20° C. Då den inkopplas på 127,5 V är strömstyrkan 0,25 A. Efter en stund har spolens temperaturen stigit till + 55° C. Huru stor blir strömstyrkan genom spolen vid samma spänning?

118. För en spole av koppar erhölls vid + 24° C ett spänningsfall 35,4 V med en ström av 0,46 A. Vid vilken temperatur är motståndet 94,8 ohm?

Elektriska element och batterier.

119. Ett galvaniskt element, vars emk är 1,8 V och inr
0,25 ohm, slutes över ett belastningsmotstånd med
1,9 ohm. Vad blir polspänningen?

120. Ett torrelement har 1,55 V emk och 0,08 ohms in
Beräkna strömstyrkan och resistansen i yttre m
polspänningen är 1,27 V!

121. Ett elektriskt element, vars emk är 1,45 V och inr
0,25 ohm, har en polspänning 1,0 V. Huru stor är b
motståndets resistans?

122. En ackumulator har 2,2 V emk och 0,06 ohms inr
Huru hög blir polspänningen, då yttre resistans är

123. Fyra ackumulatorceller, vardera med spänningen
4 st. motstånd med resistansen 5 ohm i varje, bild
krets. Spänningen är 4 V och strömstyrkan 0,8 A h
Visa medelst ett schema, hur elementen och m
kopplade i strömkretsen!

124. Tolv torrelement voro inkopplade i ett batteri.
element hade en spänning av 1,5 V och avlämnade
Huru voro elementen hopkopplade i batteriet,
strömstyrkan var 3,2 A? Angiv batterispänninge

125. Ett batteri är hopkopplat av 15 st. ackumulatorcell
med spänningen 2,05 V. Cellerna äro uppdelade
parallellkopplade grupper, och i varje grupp äro cel
kopplade. Vad blir spänningen och strömstyrkan ho
om varje element avger 3,5 A?

126. En ackumulatorcell med 2,10 V och inre resistans 0
parallellkopplad med ett torrelement, vars emk
och inre resistans 0,08 ohm. Vad blir polspänning
mulatorcellen och torrelementet, då anslutningsl
resistans är 0,07 ohm?

127. Fem ackumulatorceller, vardera med emk 2,2 V
stansen 0,06 ohm, laddas med 15 A strömstyrka.
laddningsspänning erfordras?

128. Två ackumulatorceller äro seriekopplade. Vardera cellen har en emk av 2,1 V och 0,1 ohms inre resistans. Huru stor är yttre resistansen, då batteriets polspänning är 3,8 V?

129. Fem seriekopplade ackumulatorceller, vardera med emk 1,24 V och inre resistans 0,06 ohm, stå under laddning. Huru hög är strömstyrkan, då laddningsspänningen är 9,8 V?

130. Fyra element, vartdera på 1,05 V spänning, äro seriekopplade, och till detta batteri äro inkopplade motstånden med resistanserna 12 och 28 ohm. Batteriströmstyrkan blev 0,5 A. Visa medelst ett kopplingsschema, hur strömkretsen var anordnad!

131. Tre ackumulatorceller, vardera med 2,1 V emk och 0,12 ohms inre resistans, kopplas parallellt. Huru hög blir polspänningen, då strömstyrkan är 7 A?

132. Fem element, vartdera med emk 1,53 V och inre resistans 0,09 ohm, belastades, så att polspänningen blev 5,40 V. Huru stor var yttre resistans?

133. Ett ackumulatorbatteri består av 15 st. parallellkopplade celler, vardera med 2,2 V emk och 0,04 ohms inre resistans. Huru hög blir batteriströmstyrkan vid kortslutning?

Ledningsberäkning.

134. Spänningen mellan ändpunkterna av en metalltråd av 8,2 m längd och 2,5 mm² tvärsnitt var 6,15 V, då strömstyrkan var 15 A. Beräkna ledningens resistivitet!

135. Vilken area skall en 80 m lång koppartråd erhålla, om spänningsfallet i tråden får vara 5,6 V, då strömstyrkan är 24 A?

136. Vad blir spänningsförlusten i V per 100 m ståltråd, då strömtätheten är 2,5 A/mm². (Stålets resistivitet 0,12.)

137. Huru stort blir spänningsfallet i en 480 m lång koppartråd av 1,8 mm diameter, då strömstyrkan är 3,2 A?

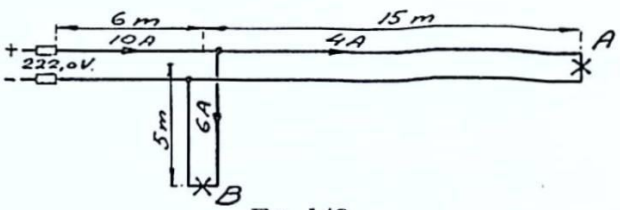
138. Vilken längd har en koppartråd med arean 16 mm², då spänningsfallet blir 3,5 V, när strömstyrkan är 40 A?

139. I en 360 m lång kopparledning med diametern 2,5 mm är spänningsförlusten 12,0 V. Huru stor är strömstyrkan genom ledningen?

140. En dubbelledare är 45 m lång och har 2,5 mm² koppararea (fram- och återledning tillsammans 90 m) och är vid centralen ansluten till 225 V. Vilken spänning erhåller lamporna i ledningens andra ända, då strömstyrkan är 12 A?

141. Vilken strömtäthet förefinnes i en aluminiumledare, då spänningsfallet per 100 m av ledningen är 8,7 V. (Aluminiums resistivitet 0,029.)

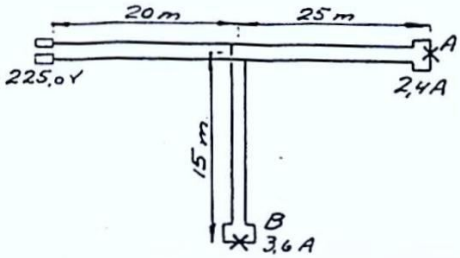
142. Beräkna spänningen i *A* och *B*. Ledningen är av koppar och med 1,5 mm² area.



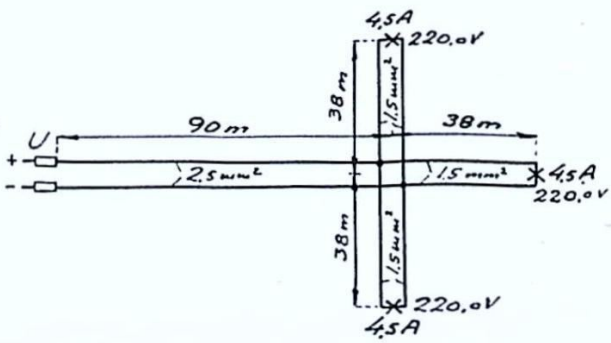
Ex. 142.

143. En 46 meter lång dubbelledare skall dragas mellan gruppcentralen och en motor. Motorn kräver 40 A. Spänningen vid gruppcentralen är 230 V och spänningsfallet i ledningen får vara 3,5 %. Huru grov koppararea erfordras?

144. Beräkna spänningen i punkterna *A* och *B* i nedanstående ledningssystem. Ledningen består av koppar med 1,5 mm² area.

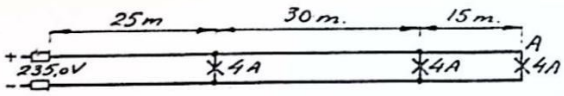


Ex. 144.



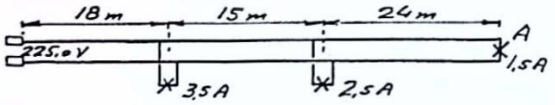
Ex. 145.

145. En 90 m lång kopparledning på 2,5 mm² är framdragen till en punkt från vilken tre 38 m långa avgreningar av 1,5 mm² koppar äro framdragna till resp. ljuspunkter. Varje ljuspunkt kräver 4,5 A och erhåller spänningen 220 V. Huru hög är spänningen *U* vid ledningens början?



Ex. 146.

146. Tre större glödlampor kräva 4 A vardera. Ledningen är av koppar med 1,5 mm² area. Beräkna spänningen i punkten A, då spänningen vid centralen är 235 V.

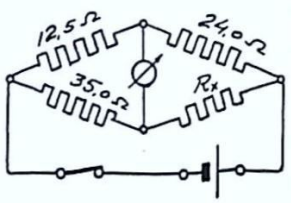


Ex. 147.

147. Beräkna spänningen i punkten A. Spänningen vid centralen 225 V. Ledningen 1,5 mm² koppar.

Uppmätning av resistans.

148. Beräkna resistansen R_x i vidstående strömkrets! Resistanserna äro så avpassade, att galvanometern är strömlös, då strömkretsen slutes.



Ex. 148.

149. Resistansen 3,5, 4,2, 5,5 och 6,6 ohm inkopplades enligt Wheastones brygga. I vilken ordning förekommo dessa (rita en figur härför), då galvanometerkretsen var strömlös?

150. Vid en jordplåtsmätning konstaterades att resistansen mellan plåtarna A och B var 20 ohm, mellan A och C 25 ohm och mellan B och C 30 ohm. Huru stor resistans hade plåten A?

151. En resistans uppmättes i en Wheatstones brygga (fig. 77). Vid strömlös galvanometerkrets var resistansen R_1 5,0 ohm, R_2 8,0 ohm och R_3 43,2 ohm. Huru stor är resistansen R_x?

152. Vid uppmätning av en resistans i reokordbrygga (fig. 78) blev l_1 24 cm och l_2 36 cm. Resistansen R var 30 ohm. Beräkna resistansen R_x!

153. Vid en jordplåtsmätning tillämpades Wiecherts metod. (Fig. 80.) De värden, som därvid erhöllos, voro l_1' 36,0 cm, l_2' 24,0

cm och l_1'' 15,0 cm, l_2'' 45,0 cm. Jämförelseresistanse
ohm. Beräkna jordplåtsresistanserna r_1 och r_2!

154. En voltmeter användes för att bestämma isolationsre
i en anläggning. När voltmetern kopplades i serie m
tionsmotståndet, visade voltmetern 43 V, då den
spänningen var 225 V. Voltmeterns resistans är 180
Huru stor är isolationsresistansen?

155. En voltmeter kopplades i serie med en resistans på 17
och anslöts på 220 V. Voltmetern visade då 50 V. Hu
voltmeterns egen resistans?

156. Hur bör volt- och amperemetern inkopplas, då det
bestämma mycket små resistanser?

157. Hur bör volt- och amperemetern inkopplas, då det
bestämma mycket stora resistanser?

158. Man vet att resistansen i ett motstånd är omkring 15
att noggrannare bestämma storleken uppmättes det
kordbrygga. Reokordens längd var 800 mm och kon
för strömlös galvanometerkrets var beläget 625 mm
kordändan. Jämförelsemotståndet hade resistansen
Visa medelst ett schema hur mätbryggan var anor
beräkna resistansens exakta värde.

Elektrisk effekt.

159. Huru många ampere kräver en glödlampa på 200 W,
avsedd för 225 V?

160. En värmeapparat kräver 3 000 W, då strömstyrkan
Vid vilken spänning kräver samma apparat 3 800 W?

161. En värmeplatta förbrukar 180 W vid 120 V. Huru s
förbrukar plattan vid 180 V?

162. Ett motstånd kräver 300 W vid 150 V och 675 W vid
spänning. Huru hög är denna spänning?

163. En apparat påstämplad 300 W, 125 V, inkopplas p

Huru stor resistans skall kopplas i serie med apparaten, för att denna skall få rätt spänning?

164. En apparat, som förbrukar 330 W vid 110 V, kopplas i serie med en annan apparat, som förbrukar 550 W vid 110 V, och anslutes på 220 V. Vilka effekter förbruka apparaterna i detta fall?

165. En apparat, som förbrukar 180 W vid 120 V, kopplas i serie med en annan apparat, som förbrukar 300 W vid 120 V, och anslutes på 220 V. Hur fördelar sig denna spänning på de båda apparaterna?

166. En glödlampa är påstämplad 150 W, 110 V. Huru stor resistans skall kopplas i serie med lampan, för att denna skall erhålla rätt spänning vid 130 V?

167. En apparat kräver 250 W vid 130 V. Huru stor effekt kräver apparaten vid 110 V?

168. Vid vilken spänning förbrukar en glödlampa 1 000 watt, då resistansen är 14,4 ohm?

169. Med vilken strömstyrka förbrukar en apparat 96 W, då resistansen är 150 ohm?

170. Ett värmemotstånd är utfört av kantal, för vilket resistiviteten är 1,4. Trådens längd är 12 m och arean 0,15 mm². Huru stor effekt utvecklas i tråden, då den belastas så mycket, att strömtätheten blir 20 A/mm²?

171. Huru många meter kromnickeltråd med arean 0,04 mm² åtgår för lindning av ett strykjärnselement, avsett att utveckla 400 W vid 220 V?

172. Huru många meter kantaltråd med arean 0,06 mm² åtgår för lindning av ett strykjärnselement, avsett att utveckla 400 W vid 220 V?

173. Huru grov area erfordras till värmetråden i en kokapparat för 800 W, 125 V, då strömtätheten är 25 A/mm²?

174. En amperemeter visar fullt utslag för 4,5 A och har 0,08 ohms

inre resistans. Beräkna effektförlusten hos amperemetern vid fullt utslag.

175. En amperemeter visar vid fullt utslag 150 skaldelar, då strömstyrkan är 7,5 A. Huru många W är amperemeterns egen förbrukning, då den visar 92 skaldelar, när inre resistansen är 0,08 ohm?

176. En voltmeter är graderad till 150 V och har 9 000 ohms inre resistans. Huru stor effekt kräver voltmetern vid fullt utslag?

177. En wattmeter visade fullt utslag 1 200 W, då strömmen genom strömspolen var 5 A och 0,016 A genom spänningsspolen. Huru stor effekt visar wattmetern, då strömmen genom strömspolen är 3,6 A och 0,015 A genom spänningsspolen?

178. En kopparlindning kräver 115,2 W vid 240 V, då spolens temp. är + 15° C. Vid vilken temperatur kräver spolen 100 W vid samma spänning?

179. Ett ackumulatorbatteri har 245 V emk och 4,0 ohms inre resistans. Vilken effekt avger batteriet, då yttre resistansen är 45 ohm?

180. Ett ackumulatorbatteri har 240 V emk och 5,0 ohms inre resistans. Vilken effekt avger batteriet, då klämspänningen är 220 V?

181. En shuntmotor kräver 8,5 A vid 220 V. Ankarlindningens resistans är 0,75 ohm och fältlindningens 550 ohm. Beräkna effektförlusterna i ankaret!

182. En shuntmotor kräver vid full belastning en effekt av 2 090 W vid 220 V. Ankarlindningens resistans är 0,75 ohm och fältlindningens resistans 440 ohm. Beräkna effektförlusten i ankaret!

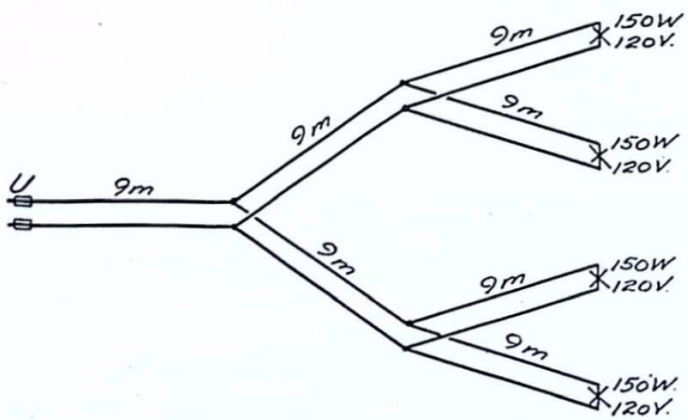
183. I en shuntmotor är effektförlusten i ankaret 48 W och i fältlindningen 45 W. Resistansen i ankarlindningen är 0,75 ohm och i fältlindningen 1 125 ohm. Huru stor är motorns tillförda effekt i W?

184. Vilken är den effekt, som uttages i ändpunkten av en 350 m

lång dubbelledare med 16 mm² koppararea, då spänningen i ändpunkten är 220 V och spänningsfallet 24,5 V?

185. En abonnent mottager en viss likströmseffekt genom en dubbelledare av 280 m längd och 16 mm² koppararea. Spänningen hos abonnenten är 440 V, och spänningsförlusten i ledningen är 25 V. Huru stor effekt mottager abonnenten genom denna ledning?

186. Sök spänningen U vid centralen. Varje ljuspunkt är på 150 W, 120 V. Ledningsarean är 1,5 mm², koppar.



Ex. 186.

Elektrisk energiförbrukning.

187. En elektrisk glödlampa på 40 W är inkopplad i 14 timmar. Huru stor är lampans energiförbrukning under denna tid?

188. Vad blir energiförbrukningen för en elektrisk kokapparat på 600 W, som är inkopplad 35 minuter?

189. Ett elektriskt strykjärn kräver under 1,5 timmar 0,54 kWh. Vilken effekt motsvarar detta?

190. Huru lång tid skall en glödlampa på 75 W vara inkopplad, för att energiförbrukningen skall uppgå till 1 kWh?

191. En likströmsmotor kräver i medeltal 6,5 A vid 220 V. Huru många timmar har motorn varit i drift, om energiförbrukningen uppgår till 8,6 kWh?

192. En 60-W lampa kan hållas tänd 40 minuter för en kostnad av 1 öre. Vad är energipriset per kWh?

193. Huru många timmar kan en värmekamin på 1 600 W vara inkopplad för en energikostnad av 1 krona, då priset är 8 öre per kWh?

194. En motor kräver i genomsnitt vid en viss belastning 8,2 A vid 440 V. Huru många kWh förbrukas under 18 timmars drift?

195. Ett elektricitetsverk angav, att energiförbrukningen för en apparat var 0,7 öre per timme, då energipriset är 20 öre per kWh. Vilken effekt krävde apparaten?

196. En mätare gör 1 800 varv för 1 kWh. Huru många sekunder kan en glödlampa på 40 W vara tänd för att mätaren skall göra 1 varv?

197. På en kWh-mätare är angivet 1 kWh = 2 400 varv. Vid vilken belastning gör mätaren 1 r/s?

198. På en kWh-mätare avlästes 843,18 kWh och 3,5 timmar därefter 848,15 kWh. Huru stor har medelbelastningen varit under denna tid?

199. En elektricitetsmätare gjorde vid ett tillfälle 12 varv på 18 sekunder. Huru stor var effekten, då 1 kWh motsvarar 1 600 varv?

200. En mätare gör 4 800 varv för 1 kWh. Huru stor är effekten, då mätaren gör 896 varv på 40 min.?

Verkningsgrad. Elektrisk energi omsatt till värme.

201. Huru många kcal utvecklas i ett motstånd med resistansen 75 ohm av 4 A under 3 timmar?

202. Huru många W erfordras, för att en värmeapparat skall utveckla 1 kcal/s?

203. Huru många kcal. utvecklas på 18 minuter i ett motstånd med resistansen 37 ohm, då det är inkopplat på 380 V?

204. Huru många kW kräver en motor från nätet, då den avger 8 kW och har verkningsgraden 0,84?

205. En motor på 2,2 kW vid 220 V har verkningsgraden 0,82. Vilken strömstyrka kräver motorn vid full belastning?

206. En likströmsmotor förbrukar 15 A vid 220 V. Motorns verkningsgrad är 0,80. Huru många kW avger motorn?

207. En motor på 4,5 kW vid 220 V kräver vid full belastning 24 A. Vilken verkningsgrad har motorn?

208. En motor på 11,5 kW har 84,5 % verkningsgrad vid full belastning. Huru stora äro då motorns förluster i W?

209. En motor på 9,5 kW har 1 590 W förlust vid full belastning. Vilken verkningsgrad har motorn vid full belastning?

210. En motor har vid full belastning 70 % verkningsgrad, då förlusterna äro 240 W. Huru stor effekt i W avger motorn?

211. En motor på 3,5 kW förbrukar 4 250 W. Huru hög är verkningsgraden?

212. En motor på 3,0 kW har verkningsgraden 0,82. Huru många W utgöra förlusterna vid full belastning?

213. Huru många A per kW kräver en fullbelastad likströmsmotor för 220 V, då verkningsgraden antages vara 80 %.

214. En motor på 5,0 kW har verkningsgraden 0,84. Huru många kWh kräver motorn, då den går fullbelastad 3,5 timmar?

215. En motor avger vid full belastning 300 000 kpm för varje mottagen kWh. Vilken verkningsgrad har motorn?

216. Huru många kpm/s motsvarar den effekt, som utvecklas i ett motstånd med resistansen 45 ohm, då det inkopplas på 225 V?

217. En hiss uppfordrar 2 500 kg till en höjd av 28 meter på 35 sekunder. Maskineriets verkningsgrad är 68 % och likströmsmotorns spänning 440 V. Beräkna strömstyrkan!

218. En spårvagn går med hastigheten 30 km per tim. Friktion- och luftmotståndet uppgår till 270 kp. Huru stor effekt i kW utvecklar drivmotorn?

219. En hiss, som med belastning väger 900 kg, skall av en elektrisk motor höjas med en hastighet av 1,2 m/s. 40 % av den effekt motorn kräver från nätet, beräknas som förluster i motorn och hissmaskineriet. Vilken strömstyrka kräver motorn om spänningen är 220 V?

220. En vattenvärmare rymmer 15 liter och behöver 2 timmar för att värma upp vattnet från 15° till 85°. Huru stor effekt har värmeelementet, då verkningsgraden hos vattenvärmaren är 0,76?

221. En elektrisk kastrull upptager 350 W och har verkningsgraden 0,65. Energipriset är 25 öre per kWh. Vad kostar det att koka upp 1,5 liter vatten från 12° C? Huru lång tid erfordras?

222. En vattenvärmare rymmer 20 liter och är fylld med vatten, som har +10° temperatur. Huru hög temperatur erhåller vattnet efter 1 timmas uppvärmning, då värmeelementet är på 1,5 kW och vattenvärmarens verkningsgrad 0,90?

223. Ett badkar innehåller 300 liter vatten, som uppvärmes från 15 till 40°. Vad kostar uppvärmningen, om energien betalas med 10 öre per kWh? Verkningsgraden är 90 %.

224 a. En motor avger 6,6 kW, då den driver en mekaniskt direktkopplad svetsgenerator, vilken vid full belastning avger 65 A vid 90 V. Motorns verkningsgrad 0,86. Huru hög är svetsaggregatets verkningsgrad?

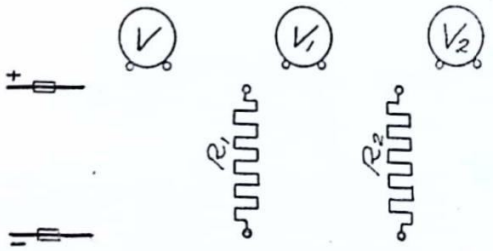
224 b. Huru många kg smält järn kan svetsaggregatet i föregående exempel producera per timme, om varje kg järn kräver 250 kcal?

225. En likströmsmotor på 18,5 kW, 440 V, har verkningsgraden 0,88. Motorn matas genom en 80 m lång dubbelledare med 25 mm² koppararea. Beräkna spänningsfallet och effektförlusten i ledningen!

226. Till en motor på 9,5 kW, 440 V och verkningsgraden 0,85 är framdragen en 68,5 m lång ledning från en gruppcentral, där spänningen är 450 V. Huru grov area bör kopparledningen ha, om motorn skall erhålla spänningen 440 V?

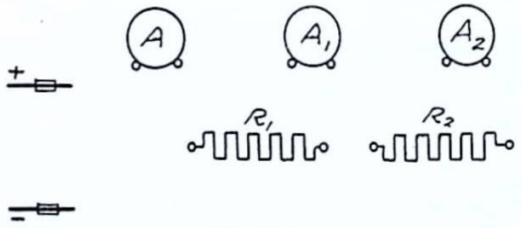
Kopplingsuppgifter.

227. Motståndens R_1 och R_2 skola seriekopplas. Voltmetern V mäter totala spänningen, voltmetern V_1 spänningen över R_1 och V_2 spänningen över R_2. Upprita kopplingsschemat.



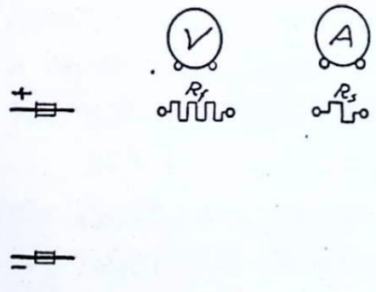
Ex. 227.

228. Motstånden R_1 och R_2 skola parallellkopplas. Amperemetern A mäter den ogrenade strömmen, A_1 strömmen genom motståndet R_1 och A_2 strömmen genom R_2. Upprita kopplingsschemat.

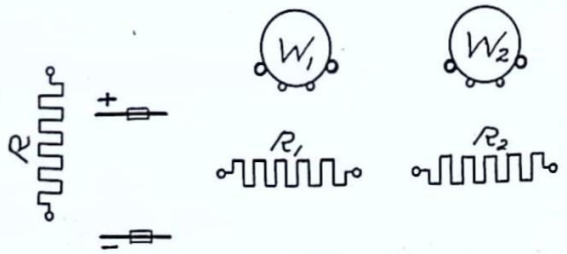


Ex. 228.

229. Voltmetern med förkopplingsmotståndet R_f skall mäta spänningen och amperemetern med shunten R_s strömstyrkan i kretsen. Upprita kopplingsschemat.



Ex. 229.



Ex. 230 a. och b.

230 a. Motstånden R_1 och R_2 skola seriekopplas. Wattmetern W_1 skall mäta effekten i motståndet R_1 och W_2 i motståndet R_2. Upprita kopplingsschemat.

230 b. Visa huru wattmetrarna skola inkopplas för att mäta effekten i resp. motstånd, då dessa äro parallellkopplade.

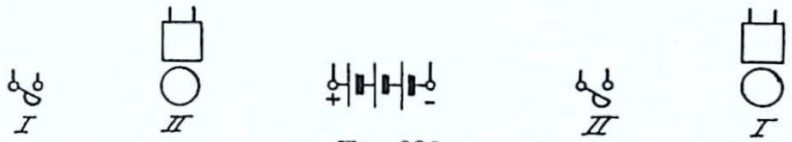
231. En ringledning är framdragen sträckan A—B—C—D. Vid A och D äro tryckknapparna placerade, vid B ringklockan och

vid *C* tre stycken torrelement. Elementen äro seriekopplade. Klockan ringer, när man trycker på knappen vid *A* resp. *D*. Rita ett kopplingsschema över anläggningen.



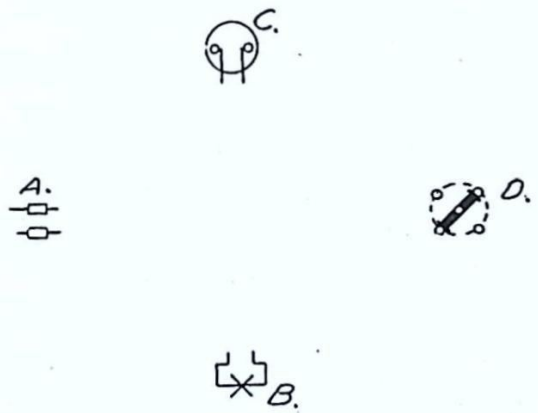
Ex. 231.

232. Upprita schemat, så att ringklockan *I* ringer, då man trycker på knappen *I*, och ringklockan *II*, när man trycker på knappen *II*.

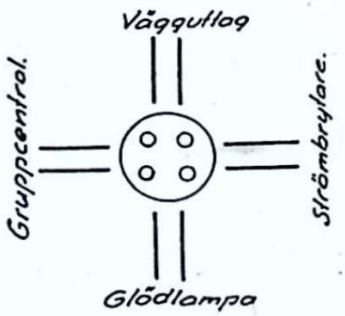


Ex. 232.

233 a. Ifrån gruppcentralen *A* skall en belysningsledning framdragas till lampan *B* och vägguttaget *C*. Lampan *B* tändes och släckes från strömbrytaren *D*. Utför ett kopplingsschema!



Ex. 233 a.



233 b.

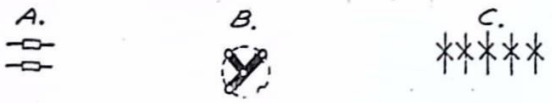
233 b. Ledningarna från *A*, *B*, *C* och *D* skola förenas i den i figuren angivna kopplingsdosan. Hur skola ledningarna hopkopplas?

234. Sträckan *A*—*B*—*C*—*D* är en belysningsgruppledning. Vid A är gruppcentralen, vid *B* och *D* korridoromkopplare och vid C en glödlampa. Rita ett kopplingsschema!



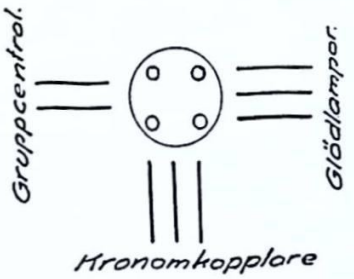
Ex. 234.

235 a. Sträckan *A*—*B*—*C* är en belysningsgruppledning. Vid *A* är gruppcentralen, vid *B* en kronomkopplare och vid *C* en belysningsarmatur med 5 st. glödlampor. Upprita ett kopplingsschema, så att 2, 3 och 5 lampor kunna tändas!



Ex. 235 a.

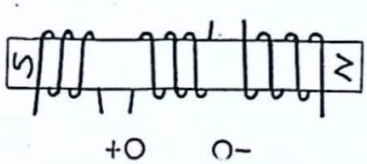
235 b. Vid *B* i ex. 235 a. finnes en kopplingsdosa. Rita in ledarnas anslutning till kopplingsdosans klämskruvar!



Ex. 235 b.

Magnetspolar. Elektromagnetism.

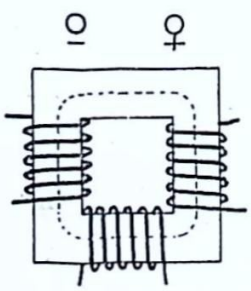
236.



Ex. 236.

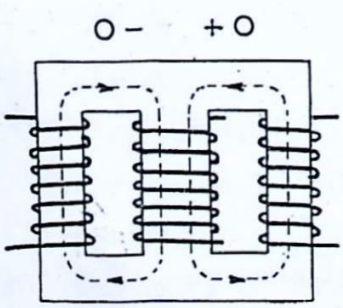
Seriekoppla de tre magnetspolarna, och inkoppla dem på strömklämmorna! Stålkärnan skall erhålla den i figuren angivna polariteten.

237. Seriekoppla de tre spolarna i vidstående figur, och anslut dem till plus- och minusklämman, så att magnetflödet går medurs!



Ex. 237.

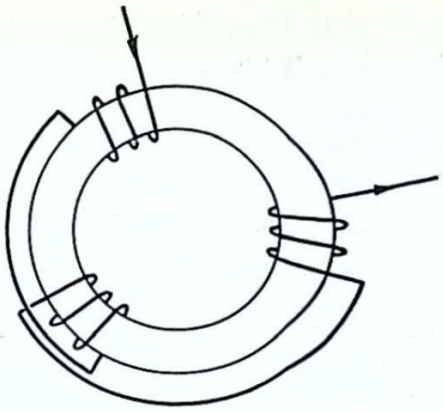
238.



Ex. 238.

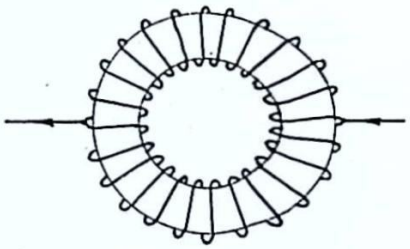
Parallellkoppla de tre magnetspolarna och anslut dem till plus- och minusklämman, så att magnetflödet erhåller den i figuren angivna riktningen!

239. Angiv fältlinjernas riktning både inom och utom stålringen.



Ex. 239.

240. Angiv magnetflödets riktning samt syd- och nordpolens läge i vidstående elektromagnet (ringankare)!



Ex. 240.

241. En spole med 500 lindningsvarv och 0,8 A ström skall ersättas av en annan med endast 200 lindningsvarv. För vilken strömstyrka måste den vara avsedd, då flödestätheterna skola vara lika?

242. En spole är lindad med 300 m koppartråd av 0,8 mm diam. och anslutes på 12 V. Beräkna a) resistansen, b) strömstyrkan, c) lindningsvarvtalet, då medeldiametern hos spolen är 80 mm, d) antalet amperevarv?

243. Till en magnetspole åtgick 1 934 m koppartråd av 0,7 mm diam. Lindningsvarvens medelomkrets var 0,4 m. Huru många amperevarv erhålles, då spolen inkopplas på 220 V?

244. För gjutjärn är permeabiliteten $\mu = 90$ och induktionen $B = 1{,}05$ Vs/m². Sök antalet amperevarv per meter!

245. Huru många Vs/m² blir flödet som kan drivas fram genom 1,5 mm långt luftgap med 200 amperevarv?

246. Huru många amperevarv per m kraftlinjelängd erfordras för

att i en järnkärna framdriva ett magnetflöde med tätheten 1,8 Vs/m², då permeabiliteten är 170?

247. Huru stor är permeabiliteten, då det erfordras 3 200 amperevarv för att driva fram ett magnetflöde av 0,006 Vs i en helt sluten järnkärna med 40 cm² tvärsnitt, då medelkraftlinjens längd är 1 m?

248. 400 amperevarv förmår driva fram 0,36 Vs/m² genom ett luftgap. Vilken längd har detta?

249. Huru många Vs blir magnetflödet i en järnkärna med cirkulärt tvärsnitt och diametern 6 cm av 5 000 amperevarv per m kraftlinjelängd, då permeabiliteten är 260?

250. En ström på 5 A passerar igenom en ledare, som ligger i ett magnetiskt fält med flödestätheten 0,6 Vs/m². Den kraft, som därvid påverkar ledaren, är 4,2 p. Huru stor kraft verkar på ledaren om strömstyrkan minskas till 3,6 A men flödestätheten ökas till 0,85 Vs/m²?

251. Angiv kraftlinjernas riktning och ledarens rörelseriktning i vidstående figur.

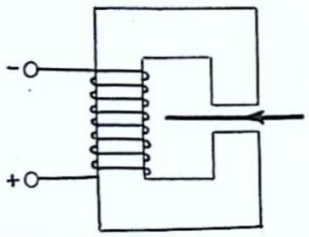


Fig. 251

252. En magnetisk nordpol befinner sig på 12 cm avstånd från en magnetstavs nordpol och på 18 cm avstånd från dennes sydpol. Huru många gånger blir den ena kraften större än den andra?

253. En magnetspole innehåller 90 lindningsvarv och matar en helt sluten järnkrets i vilken medelkraftlinjens längd är 0,8 m. Vid en viss strömstyrka blev flödestätheten 1,0 Vs/m², vilket för denna järnsort svarar mot en permeabilitet av 4 600. Huru stor strömstyrka är det i spolen?

254. En strömgenomfluten ledare låg i ett magnetiskt fält med flödestätheten 0,9 Vs/m². Då strömstyrkan var 4,0 A, verkade på ledaren kraften 24 p. Huru lång bit av ledaren är i fältet?

255. En 12 cm lång ledare i ett magnetiskt fält påverkas av kraften 0,072 kp, då strömstyrkan genom ledaren är 7,0 A. Huru stor är flödestätheten.

256. För att pressa en helt sluten ledare genom ett magnetfält erfordras en kraft på 100 p. Ledaren förflyttades i fältet med en hastighet av 10 m/s. Strömstyrkan blev 20 A. Huru hög spänning inducerades i ledaren? (Härvid bortses från sådana krafter, som orsakas av friktion, ledarens tyngd etc.)

257. I en likströmsmotor har magnetfältet en flödestäthet $B = 1{,}1$ Vs/m². På ankaret finnes 415 ledare samtidigt i det magnetiska fältet, och genom dessa går en ström på 4,2 A. Ledarens längd i fältet är 18 cm och ankarets diameter är 20 cm. Beräkna a) ankarets periferikraft, b) vridmoment?

Inducerade spänningar.

258. Huru hög spänning induceras i en ledare, som skär 0,0045 Vs på 0,06 s?

259. Huru hög spänning induceras i en spole med 600 lindningsvarv, då magnetfältet ändrar sig från 0,0090 till 0,0015 Vs på 0,09 s?

260. Huru många V induceras, då 80 st. seriekopplade ledare skära 0,006 Vs på 0,4 s?

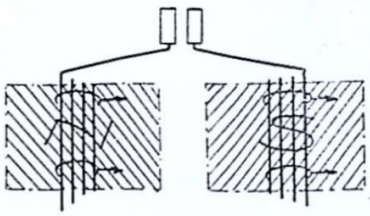
261. Huru många seriekopplade ledare erfordras för att inducera 220 V, då varje ledare skär 0,05 Vs per sekund?

262. En generator lämnar 120 V, då varvtalet är 960 r/m. Huru många V lämnar generatorn vid 1 280 r/m, då fältet blivit 15 % starkare?

263. En ledare skär 0,0090 Vs på 0,045 s, så att under första tredjedelen av tiden halva flödet blir skuret, och efter ytterligare en tredjedel av tiden har det skurna flödet stigit till 0,0078 Vs. Beräkna huru hög den inducerade spänningen blir i genomsnitt under varje tredjedel av tiden, och huru hög den är i genomsnitt under hela tiden!

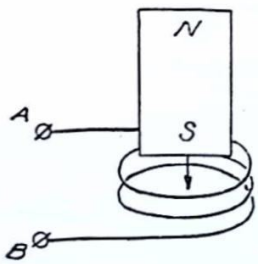
264. I en spole induceras genom fältförändring emk 42,0 V. Spolens resistans är 5,0 ohm. Huru stor strömstyrka erhålles, om spolen slutes över ett motstånd med resistansen 5,5 ohm?

265. Seriekoppla de fyra ledare, som befinna sig under nordpolen med motsvarande ledare under sydpolen.

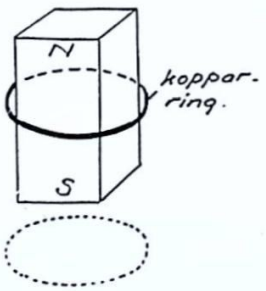


Ex. 265.

266. En stålmagnet faller obehindrat igenom en spole. Vilka induktionsverkningar kan man konstatera, då stålmagneten befinner sig a) ovanför, b) mitt i och c) nedanför spolen? (Svaret kan angivas av polariteten hos klämmorna A och B i fråga a, b och c.)



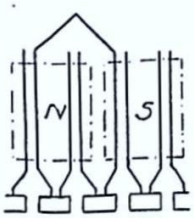
Ex. 266.



Ex. 267.

267. I en kopparring finns en stålmagnet enligt ovanstående figur. Visa induktionsemk riktning, då kopparringen faller ned. Har det någon inverkan på förloppet, att kopparringen är helt sluten?

268. En tvåpolig ankarlindning (enl. vidstående figur) är utbredd i ett plan. Fullständiga figuren och angiv borstarnas lägen.



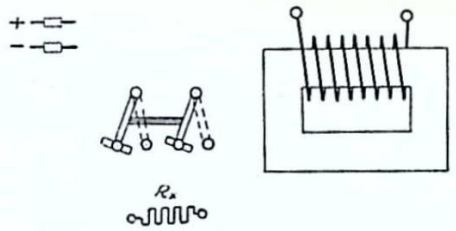
Ex. 268.

269. En likströmsgenerator har polspänningen 224,0 V då belastningen är 10 A. Huru hög är polspänningen vid 15 A belastning, då ankarets inre resistans är 0,4 ohm?

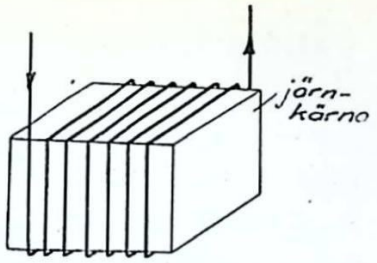
270. Varför uppstå i ledningssystem virvelströmmar i stålrör, då de inte under samma förhållanden uppstå i mässingsklädda B-rör?

271. Fullborda schemat för brytning av magnetströmkrets medelst urladdningsmotstånd (R_x).

272. På vad sätt har man kunnat förminska virvelströmmarna i elektriska maskiner?



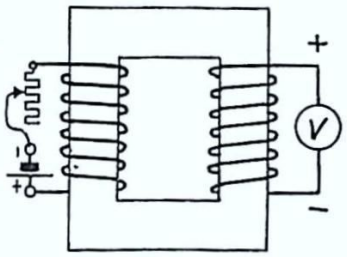
Ex. 271.



Ex. 273.

273. Hur gå virvelströmmarna i stålkärnan, då strömmen ökas i spolen?

274.



Ex. 274.

Under vilka förutsättningar erhåller induktionsströmmen i magnetspolen den i figuren angivna riktningen, då det magnetiska flödet förändras?

275. I en spole, som innehåller 160 lindningsvarv, finns ett magnetiskt flöde, vilket med jämn hastighet ökas med 0,002 Vs på 0,3 sek. Beräkna storleken av inducerade emk.

276. Huru stort flöde skär 40 st. seriekopplade ledare samtidigt på 0,03 s, då spänningen, som induceras, är 10 V?

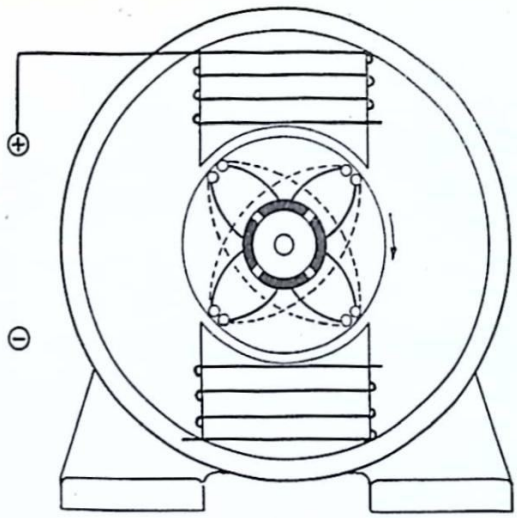
277. En ledare i ett magnetiskt flöde med styrkan 1,2 Vs/m², förflyttar sig med en hastighet av 15 m/s. I ledaren induceras spänningen 0,4 V. Hur stor del av ledaren är i flödet?

278. Huru många lindningsvarv har den spole, i vilken induceras spänningen 18,6 V, då flödet inom densamma på 0,3 s ökats med 0,005 Vs?

279. Huru stor är flödesändringen, då i en spole, innehållande 600 lindningsvarv, under 0,3 s inducerades spänningen 7,2 V?

280. En ledare passerar tätt över en rektangelformad polyta, som har 0,12 och 0,18 m sida och flödestätheten 1,5 Vs/m². Ledaren, som rör sig parallellt med polytans kortsida, har hastigheten 12 m/s. Huru hög spänning induceras i ledaren, då den passerar över polytan?

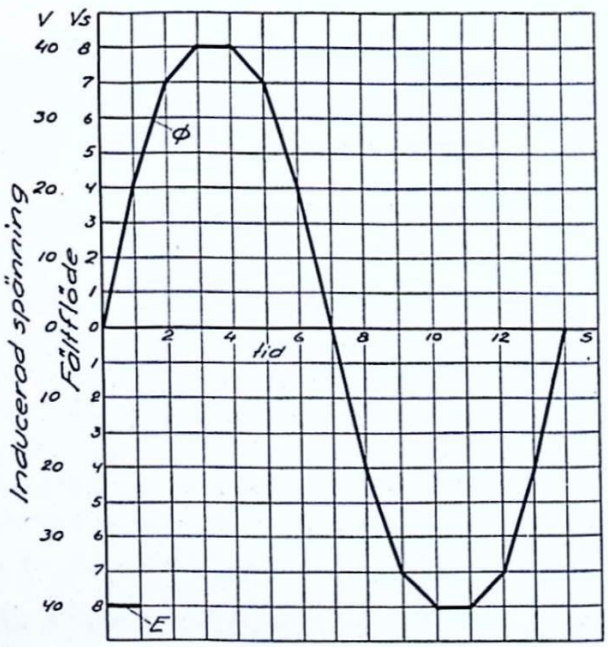
281. Vidstående figur skall föreställa en likströms-shuntgenerator. Seriekoppla magnetspolarna och bestäm deras polaritet. Angiv strömriktningen i ankarlederna och borstarnas placering. Fullborda kopplingen.



Ex. 281.

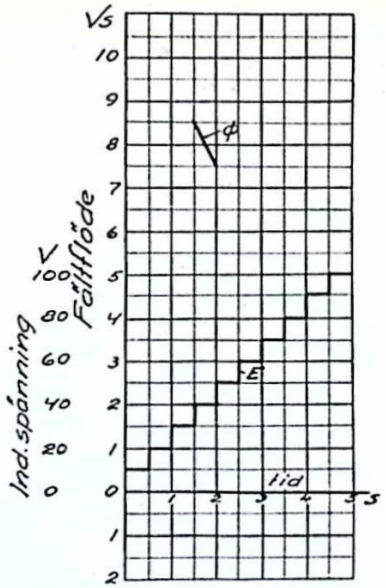
282. En spole med 80 lindningsvarv roterar i ett magnetflöde och gör 1 varv på 0,02 sek. Då spolen passerar läget 89° till 91° induceras den högsta spänningen. Huru hög är emk, då flödet i spolen när denna passerar ovan angivna lägen, förändras med 0,00035 Vs?

283. Fältflödet i en spole förändrar sig på det sätt som visas i diagrammet. Då fältflödet ökas likformigt från 0 till 4 Vs blir den inducerade spänningen 40 V i spolen. Detta värde är angivet i diagrammet. Rita in i diagrammet de spänningar, som induceras under de andra tidsavsnitten!



Ex. 283.

284. Visa hur fältflödet bör förändras i en spole för att den inducerade spänningen skall få det förlopp som visas i diagrammet. En spänning av 40 V induceras, som synes av diagrammet, då fältflödet försvagas från 8,5 Vs till 7,5 Vs på tiden 0,5 s.



Ex. 284.

Kondensatorer.

285. En kabel har en kapacitans av 4 mikrofarad och laddas med 2 000 V. Huru stor är den upptagna elektricitetsmängden?

286. Två kondensatorer på 8 och 12 mikrofarad äro seriekopplade. Huru stor laddning upptager kondensatorerna tillsammans, då de anslutas på 400 V?

287. Huru stor kondensator erfordras för att kunna upptaga laddningen 0,2 As, då spänningen är 500 V?

288. Tre kondensatorer med kapacitanserna 6, 4 och 2,6 mikrofarad äro seriekopplade. Vad blir kapacitansen i det sammankopplade batteriet?

289. Huru stor laddning erhåller en kondensator på 12 mikrofarad, då den inkopplas på en spänning av 220 V?

290. Tre kondensatorer med kapacitanserna 8, 12 och 15,2 mikrofarad äro parallellkopplade. Vad blir kapacitansen hos batteriet?

291. Tre kondensatorer med kapacitanserna 7, 3 och 2,9 mikrofarad äro seriekopplade. Vad blir kapacitansen i batteriet?

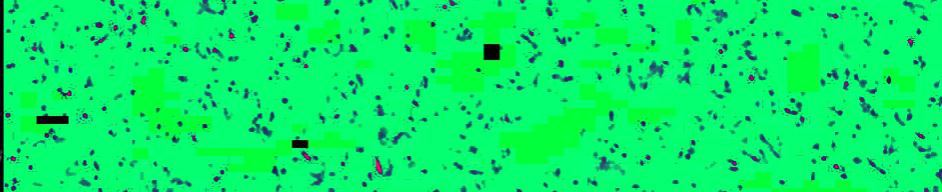
292. En kondensators isolationsskikt utgöres av 0,02 mm tjockt glimmer ($\varepsilon = 6$), och ledarytan är 4 500 cm^2. Huru stor är kapaciteten och laddningen vid 600 V spänning?

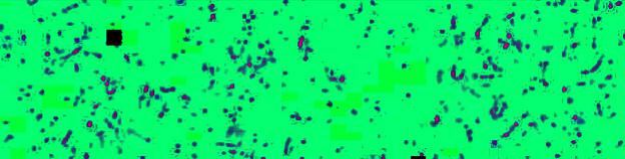
ELEKTRICITETSLÄRA.

DEL I. LIKSTRÖM.

Svar till räkneuppgifterna.

4. a) 0,18 Ω, b) 0,90 Ω. **5.** a) 0,0126 Ω, b) 0,090 Ω. **6.** a) 2,0 Ω, b) 12,0 Ω.
7. a) 8,15 m, b) 1,15 m. **8. a)** 1. 1,4 Ω, 2. 5,6 Ω, 3. 200 m, 4. 60 m, 5. 4 mm², 6. 0,08 mm² 7. 0,016, 8. 0,94.
8. b) 1. Koppar, 2. Järn, 3. Zink, 4. Konstantan, 5. Aluminium, 6. Kromnickel, 7. Silver, 8. Kvicksilver. **9.** 180 ohm.
10. 0,49 Ω [a = 16,1 mm²]. **11.** 100 Ω. **12.** 84 mm. **13.** 1 600 m [a = 0,385 mm²].
14. 3 035 m [a = 24,8 mm²]. **15.** 0,24 mm² [l = 9,0 m]. **16.** 0,56 mm². **17.** 0,0154 mm².
18. 0,056 volfram. **19.** 0,49 konstantan. **25.** 1. 26 Ω, 2. 20,9 Ω, 3. 17,0 Ω, 4. 2,3 Ω, 5. 19,9 Ω, 6. 0, 7. 0,67 Ω, 8. 0,45 Ω. **26.** 202, 135, 87, 53, 29, 12 Ω.
27. 15, 18, 22, 27, 33, 40 Ω. **28.** 1. 6 Ω, 2. 3,6 Ω, 3. 0,455 Ω, 4. 0,64 Ω, 5. 8,0 Ω, 6. 6,0 Ω, 7. 1,25 Ω, 8. 1,1 Ω. **29. a)** a) 24 Ω, b) 16 Ω, c) 12 Ω. **30.** a) 30 Ω, b) 7,2 Ω. **31.** 25,7, 45, 105 Ω. **32.** 9 Ω. **33.** 1,3 Ω.
34. 10,5 MΩ. **35.** 40 000 Ω. **36.** 1,4 MΩ. **37.** 54,9 Ω. **38.** 248 Ω. **39.** 3,78 Ω.
40. 62°. **41.** a) 3,5 A/mm², b) ja. **42.** 0,06 mm². **43.** 2,27 A. **44.** 1,18 A.
45. a) 1,6 A, b) 11,0 m. **46.** 9,0 A, 12,6 A. **47.** 219 A/mm², 273 A/mm².
48. a) 455 A/mm². **49.** a) 2,5 mm², b) 2,5 mm², c) 4,0 mm², d) 6,0 mm², e) 10,0 mm², f) 10,0 mm². **50.** 10 mm². **51.** a) 0,068 A, b) 0,238 A, c) 0,2315 A, d) 0,937 A.
52. a) 132 sd, b) 52,8 sd. **53. a)** 4 400 V, **b)** 110 kV, **c)** 150 mA, **d)** 1,25 A, **e)** 9 500 000 Ω, **f)** 0,84 MΩ. **54.** a) 6 V, b) 37,5 V, c) 124,2 V, d) 103,2 V.
55. a) 138 sd, b) 55,2 sd, c) 27,6 sd, d) 13,8 sd. **56.** a) 90 V, b) 145 V, c) 165 V.
57. $U_1 = 60$ V, $U_2 = 85$ V, $U_3 = 75$ V. **63.** a) 105 st., b) 119 st., c) 14 st.
65. a) 57,4 A (utåt), b) 30,6 A (utåt), c) 5,0 A (inåt). **66.** $I_1 = 3{,}2$ A, $I_2 = 1{,}6$ A.
67. $I_1 = 1{,}8$ A, $I_2 = 3{,}6$ A. **68.** 0,44 A, 220 V, 250 Ω, 0,08 A, 0,28 V, 0,25 Ω, 0,32 A, 225 V. **69.** 221 V. **70.** a) 3,42 A, b) 5,79 A. **71.** 26 Ω. **72.** 9 000 Ω.
73. R = 20 Ω, $U_1 = 30$ V, $U_2 = 50$ V. **74.** a) ökades, b) 12,5 Ω, c) 45,6 V, 56,7 V.
75. 50, 83, 118, 240, 322, 379, 429, 468 Ω. **76.** 7,3 A [30 Ω].
77. a) 1,53, 2,05, 2,76, 3,77, 5,26 och 7,59 A, b) 7,96, 10,66, 14,35, 19,60, 27,35 och 39,47 V. **78.** 36,7, 22,0, 14,7, 10,4, 7,9, 15,0 Ω. **79.** a) 577 Ω, b) 323 Ω, c) 67,



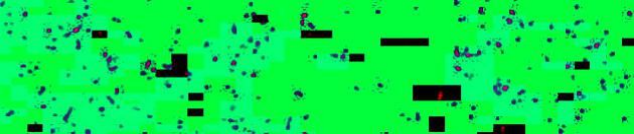


83, 88, 85 Ω, d) 144, 156, 173, 196 och 225 V. **80.** 7,2 A, 4,8 A, 43,2 V.
81. 1. 196 A, 4 A, 2. 11,2 A, 275 Ω, 3. 0,2 A, 1 125 Ω, 4. 240 V, 6 A, 5. 45 V, 34,0
6. 28,0 A, 550 Ω, 7. 130 V, 14,6 A. **82.** 0,2 Ω. **83.** a) 10 A, b) 9 A. **84.** $I_1 = 0{,}75$
$I_2 = 1{,}50$ A. **85.** a) 1,32 V, b) 1,44 V, c) 5,5 A, d) 3,0 A, e) 0,525 Ω, f) 0,4
86. 5,40 V. **87.** 1,59 Ω. **88.** 1,35 V. **89.** 102 A. **90.** 6 A. **91.** 0,375 Ω. **92.** 7 V, 3,1
93. 18 V, 217 V. **94.** a) 0,25 Ω, b) 28,6 m. **95.** 218,6 V. **96.** a) 113,8 V, b) 112,0
c) 110,2 V. **97.** a) 1,6 V, b) 221,6 V. **98.** 6 [6,1] mm². **99.** *C*/220,1 V, *D*/219,8
100. *A*/221,7 V, *B*/220,7 V, *C*/220,0 V. **101.** a) 3,2 A (åt höger), b) 220,4 V, 217
102. 329,1 V, 109,6 V. **103.** 1. 300 W, 48 Ω, 2. 338 W, 2,6 A, 3. 490 W,
4. 4,8 A, 26 Ω, 5. 128 V, 20,5 Ω, 6. 225 V, 4,0 A, 7. 5,0 A, 60 Ω, 8. 240 V,
104. 352 W. **105.** 1,89, 1,08, 0,46 kW. **106.** 0,68 A. **107.** 48,4 Ω. **108.** 120 V.
109. 38,4 Ω. **110.** 595 W. **111.** 489 W. **112.** 10 Ω. **113.** a) 135 V, 85 V, b)
118 W. **114.** a) 1 430 W, b) 31,5 W, c) 50,9 W. **115. a)** a) 288 W, b) 45 sd.
115. b) a) 86 sd. b) 240 V. **116.** 0,4455 W. **117.** a) 2,5 hk, b) 188 kpm/s.
118. a) 3 974 W, b) 30 900 W. **119.** 11,1 hk. **120.** 32,1 kpm/s. **121.** 2,75 kW
122. 1. 18 kWh, 2. 2,1 kWh, 3. 8 h, 4. 0,16 h, 5. 160 W, 6. 180 W, 7. 105 Wh, 8.
123. 0,9 kWh, **124.** 0,6 kWh. **125.** 4,11 kWh. **126.** 60 W. **127.** 66,7 h. **128.**
129. 2,91 kW. **130.** 225 W. **131.** $1^2/_3$ min. **132.** 1. 37,5 Ω, 1,35 kW, 18,9 k
2. 2,5 A, 275 W, 20 h, 3. 180 V, 810 W, 50 h, 4. 5,0 A, 24 Ω, 0,9 kWh, 5. 7
20 A, 0,6 h, 6. 175 V, 10,9 Ω, 0,56 kWh, 7. 420 V, 35 A, 3,92 kWh, 8.
4,1 kW, 0,4 h. **133.** 22,5 kWh. **134.** 0,8 h. **135.** 22 [21,8] öre/kWh. **136.**
137. 0,14 kWh. **138.** 0,5 kWh. **139.** 5,8 h. **140.** a) 875 W, b) 1,33 h. **141.** 1. 164
0,82, 2. 1 540 W, 340 W, 3. 912 W, 288 W, 4. 790 W, 0,70, 5. 105 W, 0,42, 6.
1 000 W, 7. 360 W, 0,84, 8. 510 W, 0,72. **142.** 0,886. **143.** 20,1 kW. **144.**
145. 1 070 W, 0,82. **146.** a) 9,5 kW, b) 41,3 A. **147.** a) 0,879, b) 9,6 A. **148.** a) 26,4
b) 0,545. **149.** 2,16 kW, 6,1 A. **150.** a) 250 Ω, b) 1,28 Ω, c) 0,81 kW, d)
e) 9 kWh, f) 2 167 kcal., g) 28 Ω, h) 1 440 m. **151.** 1. 800 At, 2. 767 At, 3.
4. 1 600 t, 5. 0,4 A, 6. 2,5 A. **152.** 1. 0,00094 Vs, 2. 0,00442 Vs, 3. 1,25
4. 1,2 Vs/m², 5. 0,00156 m², 6. 0,975 m².
153. 1. 1 280 At/m, 2. 1 200 At/m, 3. 6 500 At. 4. 22 550 At. 5. 2,5 m, 6. 1,55
154. 1. 1,29 Vs/m², 1 030. 2. 1,46 Vs/m², 585. 3. 4 200 At/m, 300. 4. 1,77 Vs/m²,
5. 14 300 At/m, 103, 6. 20 000 At/m, 75.
155. 0,0221 Vs. **156.** 1,56 Vs/m², 2 800 At/m. **157.** 0,0000025 Vs. **158. a)** 8,
158. b) 14,3 A. **159.** 0,011 Vs. **160.** 12 200 t. **161.** 2 380 At. **162.** 8,4 V.
163. 0,473 N, 48,2 p. **164.** 0,82 Nm, 83,5 pm. **165.** 285 V. **167.** 46 ledare.
168. 1,125 Vs/m². **169.** 6,43 V. **170.** a) 122 V, b) 337 V. **171.** 180 V. **172.** 0,00176
173. 3 520 V. **174.** 300 V. och 200 V.

Svar till övningsuppgifter.

1. 30 Ω. **2.** 0,4 mm². **3.** 0,125 Ω. **4.** 51 m. **5.** 5 Ω. **6.** 0,72 Ω. **7.** 1,4. **8.** 22 m [$\varrho = 0{,}11$]. **9.** 0,219 Ω. **10.** 3,2 gånger. **11.** 5,5 mm². **12.** 0,12 (stål). **13.** 0,002 Ω. **14.** 3,6 mm. **15.** 1,20 Ω. **16.** 3,62 m. **17.** 1,6 Ω. **18.** 190 Ω. **19.** 0,39 Ω [a = 70 mm²]. **20.** 0,980 m. **21.** 1,68 mm². **22.** 18 Ω. **23.** 4 Ω. **24.** 3, 2, 3, 4 och 5 Ω. **25.** 1,6, 1,2, 1,5, 0,6, 2,1 o. 2,6 Ω. **26.** 3,648 Ω. **27.** 0,184 m. **28.** 0,151 Ω. **29.** 20 Ω. **30.** 8,2 Ω. **31.** 2 Ω. **32.** 10 Ω. **33.** 18 Ω. **34.** 34,8 Ω. **35.** 1,8, 3,2, 4,2 och 4,8 Ω. **36.** 8,96 Ω. **37.** 4,8 Ω. **38.** 6,66 Ω. **39.** 3,81 Ω. **40.** 36 Ω, 18 Ω, 8 Ω och 4 Ω. **41.** 0,000455 Ω. **42.** 0,373 Ω. **43.** 3,75 Ω. **44.** a) 3,0 Ω, b) 2,61 Ω. **45.** 1,8 MΩ. **46.** 0,6 MΩ. **47.** 50 m. **48.** 1 125 MΩ. **49.** 62,6° C. **50.** 65° C. **51.** 71,7 Ω. **52.** 77,5° C. **53.** 106° C. **54.** 59° C. **55.** 86,6 Ω. **56.** 80° C. **57.** 72,4° C. **58.** 4,4 A/mm². **59.** 1,25 A. **60.** 0,25 mm². **61.** 0,18 mm². **62.** 0,8 Ω. **63.** 20 A. **64.** 6,5 A. **65.** 2,936 A. **66.** 46,4 V. **67.** 74,2 skd. **68.** 2 parallellkoppl. grupper med 4 element i serie i varje grupp. **69.** 3 parallellkoppl. grupper med 2 element i serie i varje grupp. **70.** 2 parallellkoppl. grupper med 3 element i serie i varje grupp. **71.** 60 stam- och 8 regl.-celler. **72.** 70 V, 75 V. **73.** 4,1 A, 2,9 A. **74.** 6,0 A, 3,5 A. **75.** 3,5 A, 4,5 A, 4,0 A. **76.** 1,8 A, 1,6 A, 1,2 A. **77.** 5,0 A, 3,0 A, 0,5 A (höger). **78.** 10—6 Ω. **79.** 10 Ω. **80.** 187,5 V. **81.** 45 och 80 V. **82.** 31,25 Ω. **83.** 216 V. **84.** 4,0 Ω, 6,0 Ω, 26,0 Ω, 12,0 Ω. **85.** 39,1 V, 4,0 A. **86.** 14,7 och 6,3 A. **87.** 10 Ω. 10 Ω. **88.** 20, 12, 8 och 16 Ω. **89.** 7,5 och 10 A. **90.** 125 V. **91.** 112,5 V, 9,4 A, 5,6 A. **93.** 10 V. **94.** 132 V, 88 V. **95.** 275 Ω parallellt med app. 110 V, 0,8 A. **96.** 27 Ω. **97.** 0,8 A, 25 Ω. **98.** 7 V, 0,57 A. **99.** 8,7 A. **100.** 50 Ω. **101.** 74 850 Ω. **102.** 0,05 Ω. **103.** 49,2 V. **104.** 125 V. **105.** 0,15 A. **106.** 1,5 V. **107.** 2,5 A. **108.** 0,017 Ω. **109.** 1,25 A. **110.** 85°. **111.** a) 13,9 A, b) 16,8 A, c) 7,0 A. **112.** a) 10 A, b) 12 A, c) 5 A (riktning nedåt). **113.** 125 m, 4 mm. **114.** 4 m. **115.** 36, 16, 12, 9,6, 6,3, 4,3, 2,9 Ω, a) 6,7 V. **116.** 43°. **117.** 0,22 A. **118.** 84°. **119.** 1,59 V. **120.** 3,5 A, 0,36 Ω. **121.** 0,555 Ω. **122.** 1,96 V. **123.** 2 parallellkoppl. grupper med 2 celler i serie i varje grupp. 2 parallellkoppl. grupper med 2 motstånd i serie i varje grupp. **124.** 4,5 V. **125.** 10,25 V, 10,5 A. **126.** 1,84 V, 1,658 V [2,6 A]. **127.** 15,5 V. **128.** 1,9 Ω. **129.** 12 A. **130.** 12 och 28 Ω parallellkopplade. **131.** 1,82 V. **132.** 1,08 Ω. **133.** 825 A. **134.** 0,125. **135.** 6 mm². **136.** 30 V. **137.** 10,6 V. **138.** 80 m. **139.** 9,3 A. **140.** 217,4 V. **141.** 3 A/mm². **142.** 219,2 V, 219,9 V. **143.** 8 mm² [standardarea 10 mm²]. **144.** 220,8 V, 220,9 V. **145.** 242 V. **146.** 220,8 V. **147.** 219,6 V. **148.** 67,2 Ω. **149.** 3,5, 4,2, 6,6, 5,5 Ω. **150.** 7,5 Ω. **151.** 27 Ω. **152.** 20 Ω. **153.** 12,5 och 17,5 Ω. **154.** 762 000 Ω. **155.** 5 000 Ω. **156.** Amperemetern kopplas före voltmetern. **157.** Voltmetern kopplas före amperemetern. **158.** 14 Ω. **159.** 0,89 A. **160.** 135 V. **161.** 405 W. **162.** 225 V. **163.** 39,5 Ω.





164. 516 W, 310 W. **165.** 137,5 och 82,5 V. **166.** 14,7 Ω. **167.** 179 W. **168.** 120 V.
169. 0,8 A. **170.** 1 008 W. **171.** 4,84 m. **172.** 5,2 m. **173.** 0,256 mm². **174.** 1,62 W.
175. 1,69 W. **176.** 2,5 W. **177.** 810 W. **178.** 50,7° C. **179.** 1 125 W. **180.** 880 W.
181. 49 W. **182.** 61 W. **183.** 1 845 W. **184.** 7,05 kW. **185.** 18,0 kW. **186.** 121,84 V.
187. 0,56 kWh. **188.** 0,35 kWh. **189.** 360 W. **190.** 13,3 h. **191.** 6 h. **192.** 25 öre.
193. 7,8 h. **194.** 65 kWh. **195.** 35 W. **196.** 50 s. **197.** 1,5 kW. **198.** 1,42 kW. **200.** 280 W.
201. 3 100 kcal. **202.** 4 200 W. **203.** 1 000 kcal. **204.** 9,5 kW. **205.** 12,2 A.
206. 2,64 kW. **207.** 0,852. **208.** 2 100 W. **209.** 0,857. **210.** 560 W. **211.** 0,824.
212. 660 W. **213.** 5,7 A. **214.** 20,8 kWh. **215.** 0,816. **216.** 115 kpm/s. **217.** 65,5 A.
218. 22,0 kW. **219.** 80 A. **220.** 800 W. **221.** 5,9 öre, 40,5 minuter. **222.** 68° C.
223. 97 öre. **224. a)** 0,762. **224 b)** 17,8 kg. **225.** 5,4 V. 256 W. **226.** 6 mm². **241.** 2,0 A.
242. a) 10,5 Ω, b) 1,14 A, c) 1 195 t, d) 1 360 At. **243.** 12 100 At. **244.** 9 300 At/m.
245. 0,168 Vs/m². **246.** 8 400 At/m. **247.** 370. **248.** 1,4 mm. **249.** 0,0046 Vs. **250.** 4,3 p.
252. 2,25 gånger. **253.** 1,54 A. **254.** 6,5 cm. **255.** 0,84 Vs/m². **256.** 0,49 V.
257. a) 35,2 kp. b) 3,52 kpm. **258.** 0,075 V. **259.** 50 V. **260.** 1,2 V. **261.** 4 400 ledare.
262. 184 V. **263.** 0,30, 0,22, 0,08 V och 0,20 V. **264.** 4,0 A. **269.** 222 V. **275.** 1,07 V.
276. 0,0075 Vs. **277.** 2,2 cm. **278.** 1 116 t. **279.** 0,0036 Vs. **280.** 2,16 V. **282.** 252 V.
285. 0,008 As. **286.** 0,00192 As. **287.** 400 μF. **288.** 1,248 μF. **289.** 0,00264 As.
290. 35,2 μF. **291.** 1,218 μF. **292.** 1,2 μF, 0,00072 As.