6060 Svensson

$1\,F = 1.000.000\,\mu F = 10^6\,\mu F$

$1\,\mu F = 1.000\,nF = 10^3\,nF$

$1\,nF = 1.000\,\mu\mu F = 10^3\,\mu\mu F$

$1\,\mu F = 1.000.000\,\mu\mu F = 10^6\,\mu\mu F$

$\mu\mu F = pF$

020000

STOCKHOLMS STADS YRKESSKOLORS BOKSERIE
Nr 9

ELEKTRICITETS-LÄRA

Del II. VÄXELSTRÖM

AV

J. BOLANDER

Ingenjör. Lärare vid Stockholms stads skolor för yrkesundervisning

Tryckt hos
Victor Pettersons Bokindustriaktiebolag
Stockholm 1949

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord 5
Grundbegrepp 7
Växelströmmens frekvens 11
Maximi- och effektivvärden 12
Vektordiagram 15
Självinduktion i växelströmskrets 22
Växelströmsmotstånd 26
Kapacitet i växelströmskrets 28
Seriekoppling av växelströmsmotstånd 40
Parallellkoppling av växelströmsmotstånd 41
Spänningsresonans 45
Parallellkoppling av drossel och kondensator. Strömresonans .. 47
Växelströmmens effekt 52
Aktiv och reaktiv effekt 56
Uppgifter 59
Trefassystem 64
Stjärn- och triangelkoppling 64
Effekten vid trefassystem 67
Uppmätning av trefaseffekt 68
Växelströmsmätare 71
Växelströmsledningar 75
Uppgifter 79
Övningsuppgifter 83

FÖRORD

Första delen av J. Bolanders Elektricitetslära: likström utkom i Stockholms stads yrkesskolors bokserie år 1942. Nu föreliggande andra del har samma syfte som den tidigare delen, nämligen att vara lärobok i lärlings- och yrkesskola (verkstadsskola) för elektriker. Läroboken är närmast avsedd att utgöra ett komplement till och sammanfattning av lärarens muntliga undervisning och har därför kunnat bli jämförelsevis kortfattad, vilket är till stor fördel just på lärlings- och yrkesskolstadiet. Författaren, som har en rik och mångårig erfarenhet som lärare på detta utbildningsstadium, har åskådliggjort sin framställning med ett flertal instruktiva schematiska figurer och grafiska framställningar. De i texten förekommande exemplen och övningsuppgifterna belysa och konkretisera den mera teoretiska framställningen om de elektriska fenomenen, lagarna och formlerna. Med sin samling av uppgifter ger läroboken rika tillfällen till individualiserad undervisning inom klassens ram, då eleverna kunna tilldelas olika uppgifter med hänsyn till begåvning och arbetsförmåga. Det är min förhoppning, att del II av ingenjör Bolanders lärobok blir ett lika värdefullt tillskott till yrkesskolornas läroböcker, som del I av samma lärobok visat sig vara.

Stockholm i januari 1949.

EINAR FORSSELL
Yrkesskoldirektör

VÄXELSTRÖMSTEORI

Grundbegrepp.

Kännetecknande för likström är ju, att den går fram i *en* riktning — nämligen från strömkällans pluspol till dess minuspol. Spänningen håller sig konstant, och även strömstyrkan blir oförändrad, så länge man har samma motstånd inkopplat. Så är inte fallet med *växelström*. Den kallas så, därför att strömmen växlar riktning, vilket i sin tur måste vara orsakat av, att växelströmsströmkällan ständigt växlar polaritet, dvs. den klämskruv, som i ena ögonblicket är pluspol är i nästa minuspol.

Hur uppstår då en växelström? Ni kommer nog ihåg, att en emk induceras i en spole genom magnetfältets förändringar. Spolen får en viss polaritet och strömriktning, då fältet förstärkes, och motsatt polaritet och strömriktning, då detta försvagas. Ett magnetfält kan emellertid inte förstärkas hur mycket som helst. Skall spolen kunna lämna spänning och ström under en längre tid, måste detta ske genom att fältet växelvis förstärkes och försvagas. Men därigenom kommer spänningen och strömmen att kasta om riktning, och på så sätt uppstår en sorts växelström.

Vi tänka oss att vi ha en spole med exempelvis 5 lindningsvarv, i vilken fältflödet efter behag kan ökas, minskas eller hållas konstant, och vi studera förändringarna under sex på varandra följande tidsavsnitt. Fältet genomgår under de olika tidsavsnitten följande förlopp: *I* fältet ökas, *II* fältet är konstant, *III* fältet försvagas, *IV* fältet ökas men fältriktningen är omkastad, *V* fältet är konstant, *VI* fältet försvagas.

I fig. 1 a är vart och ett av dessa förlopp angivna, betecknade med *I* t. o. m. *VI*.

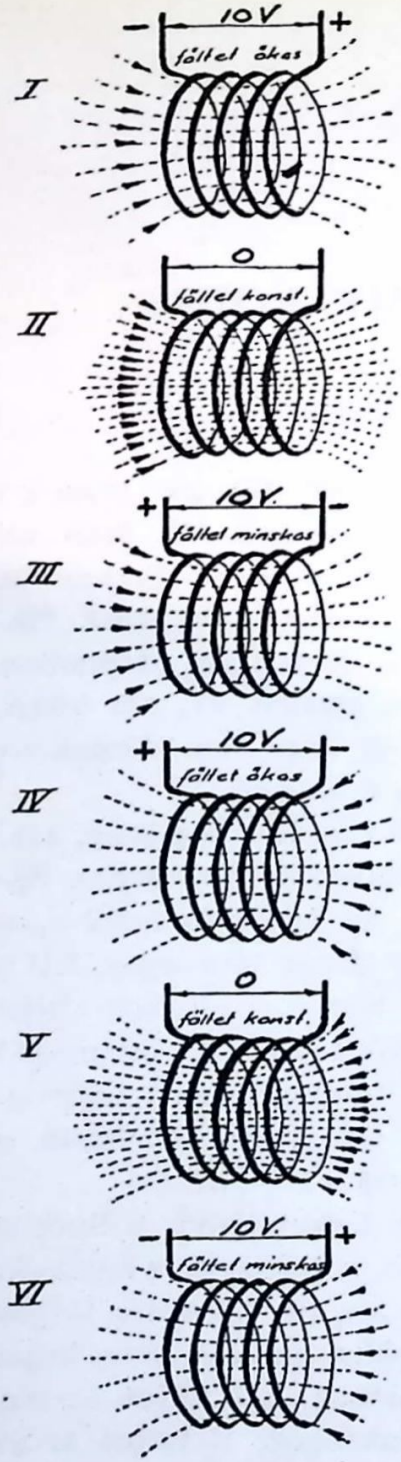

I
10 V
fältet ökas
II
0
fältet konst.
III
10 V.
fältet minskas
IV
10 V.
fältet ökas
V
0
fältet konst.
VI
10 V.
fältet minskas

Fig. 1 a.

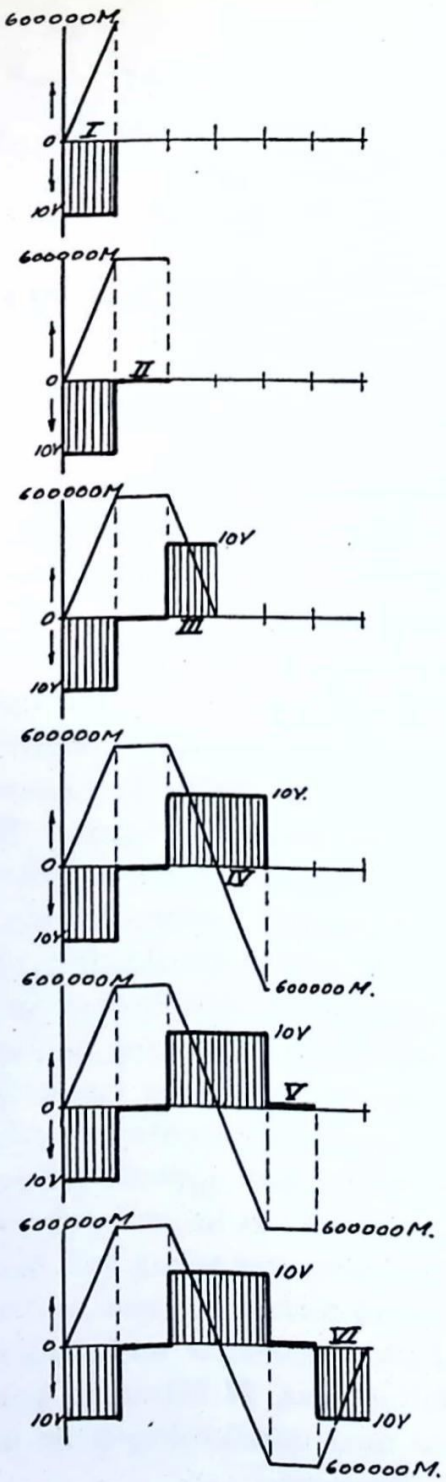

600000M
0
I
10V
600000M
0
II
10V
600000M
0
III
10V
10V
600000M
0
IV
10V.
600000M.
600000M
0
V
10V
600000M.
600000M
0
VI
10V
10V
600000M.

Fig. 1 b.

Under det 0,003 s långa tidsavsnittet *I* ökas fältet från 0 till 600 000 maxwell, då den inducerade spänningen enligt formeln 20

$$E = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) \cdot N}{100\,000\,000 \cdot t} \text{ volt}$$

blir

$$E = \frac{600\,000 \cdot 5}{100\,000\,000 \cdot 0{,}003} = 10 \text{ volt}$$

Hålles fältet konstant under nästa tidsavsnitt, så induceras inte någon spänning. Försvagas däremot fältet under tidsavsnittet *III* ända ned till noll, erhålles på nytt 10 volt, men den inducerade spänningen får här motsatt riktning mot i tidsavsnittet *I*. På grund av att fältet i tidsavsnittet *IV* dels ökar dels har motsatt riktning mot i *III*, så blir den inducerade spänningen oförändrad både till riktning och storlek.

Hurudan spänningen blir i de återstående tidsavsnitten, kommer ni lätt till klarhet om med ledning av det, som sagts här ovan. Fig. 1 b anger grafiskt både till storlek och riktning de fältförändringar och spänningar, som förekomma under hela perioden. Tillståndet vid periodens slut svarar mot utgångsläget, varför samma förlopp upprepas på nytt.

Emellertid är det inte endast växlingarna i riktning, som äro kännetecknande för växelströmsförloppet. För att erhålla en del fördelaktiga egenskaper hos växelströmmen, strävar man efter en viss regelbundenhet i förändringarna. Hur ett sådant växelströmsförlopp erhålles framgår av följande exempel:

Exempel: En spole innehåller 200 lindningsvarv och roterar i ett magnetiskt fält, där flödet är 500 000 maxwell. Tiden för ett varv är 0,036 sek. (motsvarande 1 666 2/3 varv pr minut). Spolens utgångsläge angives i fig. 2, och vi studerar förloppet under det

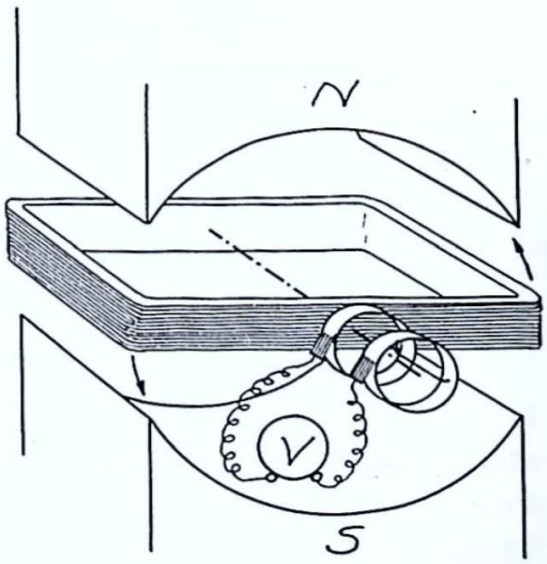


Fig. 2.

första 1/4-varvet. De kraftlinjeflöden, som omslutas av spolen vid dess olika lägen, dvs. för var 10:e grad, finnas införda i nedanstående tabell.

Spolens läge grader	Fältflöde i spolen maxwell	Medelvärdet av inducerad spänning volt
0	500 000	
10	492 000	16
20	479 000	44
30	433 000	74
40	383 000	100
50	321 000	124
60	250 000	142
70	171 000	158
80	87 000	168
90	0	174

Då tiden för *ett* varv är 0,036 sek., blir tiden för spolens vridning 10°

$$\frac{0{,}036}{360} \cdot 10 = 0{,}001 \text{ sek.}$$

Enligt formeln 20 är

$$E = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) \cdot N}{100\,000\,000 \cdot t} \text{ volt}$$

Den spänning, som erhålles av denna formel, blir en medelspänning under tiden t. Insättas de givna värdena, blir, då spolen vrider sig från 0 till 10°, den inducerade spänningen

$$E = \frac{(500\,000 - 492\,000) \cdot 200}{100\,000\,000 \cdot 0{,}001}; \qquad E = 16 \text{ volt.}$$

På samma sätt erhålles de andra i tabellen införda värdena på spänningen. Dessa värden i fig. 3 visa på ett mera åskådligt sätt fältets förändring och dess inverkan på den inducerade spänningens storlek under spolens rotation ett kvarts varv. Det trappstegsformade spänningsförloppet motsvaras i verkligheten av den streckade medelkurvan, som erhålles, då beräkningarna utföras för mycket mindre tidsskillnader än 0,001 sek.

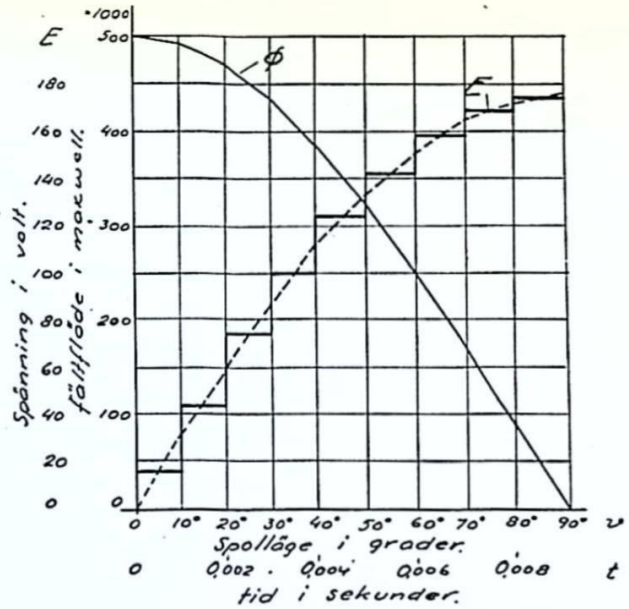


Fig. 3.

Växelströmmens frekvens.

Med ledning av kurvorna i fig. 3 kan ni lätt bestämma förloppet för spolens rotation *ett helt varv*. Detta förlopp är återgivet i fig. 4. Därvid har man inte nöjt sig med att angiva storleken av spänningsvärdena utan har även tagit hänsyn till riktningen. Under första halva varvet är den ena borsten i fig. 2 en pluspol men under den andra hälften av varvet däremot en minuspol. Polaritetens växlingar angives i fig: 4 på så sätt, att den första hälften av spänningskurvan i fig. 4 befinner sig över och andra hälften under den s. k. nollinjen. Förloppet omfattar *en hel period* och antalet sådana förlopp, som fullbordas på *en* sekund, kallar man växelströmmens *periodtal* eller *frekvens*. Under *en* period inträffar *två* växlingar av emk, vilket blir en för varje pol. För en 4-polig maskin blir det alltså 4 växlingar pr varv och för en p-polig maskin p växlingar pr varv. För en maskin, som gör n varv pr minut (vilket är n/60 varv pr sek.), blir växlingarnas antal $\frac{n \cdot p}{60}$.

Då det ingår två växlingar pr period, kan ni beräkna frekvensen f av formeln

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \quad \text{..... Formeln 25.}$$

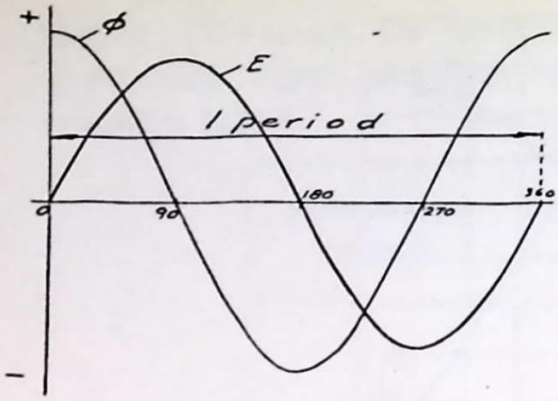


Fig. 4.

Enheten för frekvensen är *perioder pr sekund* (p/s) eller *Hertz* (Hz).

Enligt formeln 25 är periodtalet hos växelströmmen beroende på såväl antalet poler som på hastigheten.

För de mera allmänt förekommande frekvenserna 25 resp. 50 p/s visas sambandet mellan polantal och hastighet i nedanstående uppställning.

25 *pr/sek.*

Antal poler	2	4	6	8	10	12	14
Varv/minut	1 500	750	500	375	300	250	214

50 *pr/sek.*

Antal poler	2	4	6	8	10	12	14
Varv/minut	3 000	1 500	1 000	750	600	500	428

Maximi- och effektivvärden.

Av fig. 4 ser ni, att de båda kurvorna ligga förskjutna i sidoled. Då emk är noll, har fältet sitt största värde, vilket emk erhåller 1/4-period eller 90° senare. Ni inser sålunda, att *den inducerade emk ligger 90° (1/4-period) efter magnetfältet.*

Givetvis måste strömstyrkan enligt ohms lag bliva beroende av spänningen och motståndet. När motståndet är konstant, så måste följaktligen strömstyrkan helt följa spänningen i dess förändringar. För ett ögonblicksvärde, vilket som helst, erhåller ni

$$i = \frac{e}{R} \text{ lika väl som } I_o = \frac{E_o}{R}$$

Dessutom är strömstyrkan noll i det ögonblick, spänningen är noll. Man säger, att spänning och strömstyrka, när de på detta sätt

följas åt, *ligga i fas*. Spänningens och strömstyrkans förlopp under en period visas i fig. 5. Dessa kurvor, som representera ett idealförlopp, vilket man i praktiken strävar att erhålla på växelströmmen, benämnas *sinuskurvor*.

Av alla de ögonblicksvärden på spänning och strömstyrka, som erhållas under en period, äro maximivärdet E_0 resp. I_0 samt effektivvärdena E och I, av särskild betydelse. När spänningen angives till 220 volt eller strömstyrkan till 5 ampere, så är det just effektivvärdena, som avses. Dessa äro nämligen så valda, att en *växelström* på 5 ampere vid 220 volt ger exakt samma effekt som en *likström* på 5 ampere vid 220 volt. Effektivvärdenas exakta storlek kunna på matematisk väg bestämmas, men ett tillräckligt noggrant värde kan ni erhålla ur följande exempel.

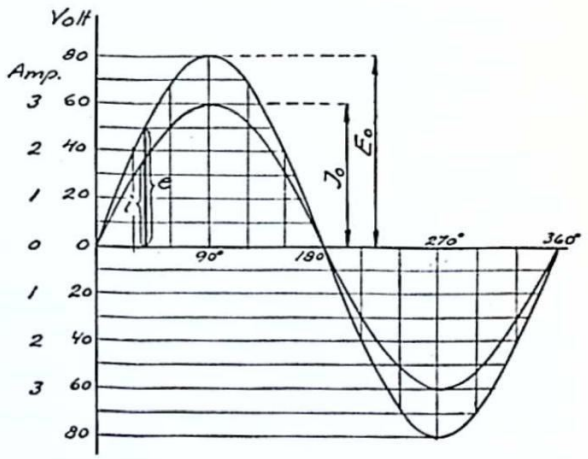


Fig. 5.

Exempel: Genom ett motstånd på 20 ohm går en växelström, vars maximivärde är 10 ampere. Tiden för 1/4-period är 0,009 sek. I nedanstående tabell och i fig. 6 äro angivna de uppgifter, som höra till växelströmsförloppet.

Tid i sekunder	Strömstyrka i ampere
0	0
0,0015	2,6
0,0030	5,0
0,0045	7,1
0,0060	8,7
0,0075	9,7
0,0090	10,0

Ni inser utan vidare, att de delar av den i fig. 6 inritade trappformiga ytan, som skjuter utanför växelströmskurvan, helt ersätter

de delar, som fattas innanför densamma, eller att den yta, som kurvan begränsar, är lika stor som den trappformade ytan. Då de båda förloppen representera lika energimängder, har ni på detta sätt förenklat beräkningen av energimängden. I motståndet 20 ohm utvecklas i de tre avsatserna energimängden

$$2{,}6^2 \cdot 20 \cdot 0{,}0030 + 7{,}1^2 \cdot 20 \cdot 0{,}0030 + 9{,}7^2 \cdot 20 \cdot 0{,}0030 = 20 \cdot 0{,}009 \cdot I^2$$

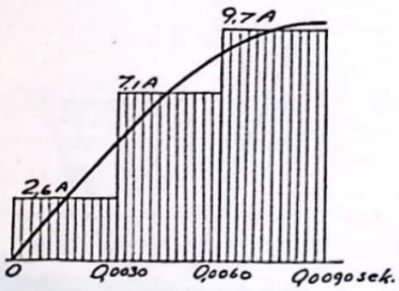


Fig. 6.

Härav erhålles

$$I = 7{,}1 \text{ ampere}$$

Det framgår alltså, att ett maximivärde på 10 ampere motsvaras av ett effektivvärde på 7,1 ampere. Noggrannare beräkningar ger till resultat, att effektivvärdena för spänning och strömstyrka äro

$$E = 0{,}707 \,.\, E_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formeln 26 a}$$

$$I = 0{,}707 \,.\, I_0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formeln 26 b}$$

Detta betyder, att vid växelström äger en spänning på 220 volt ett toppvärde på 220 : 0,707 = 311 volt. Denna ökade spänning, som visserligen förekommer under en mycket kort tid, gör, att 220 volt växelström är mera riskabel än en likström av samma spänning.

Övningsuppgift 1.

I en växelströmskrets är motståndet 16 ohm. Beräkna ögonblicksvärdena på strömstyrkan för de i nedanstående tabell angivna värdena på spänningen. Beräkna spänningens och strömmens effektivvärden. Upprita spännings- och strömkurvan för en hel period. Skala: 1 cm—30°; 1 cm—20 V; 1 cm—2,0 A.

Fasläge	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
Spänning	0,0	32,8	64,0	90,6	110,8	123,7	128,0	V
Strömstyrka								A

Vektordiagram.

En person, som går nedför en spiraltrappa, utför en sammansatt rörelse. Han går dels lodrätt nedåt dels i en cirkel med trappans axel som centrum. En punkt, som alltså går i en cirkel men samtidigt förflyttar sig i axiell riktning, beskriver en skruvlinje. Fig. 7 a visar en skruvlinje, sedd i en viss riktning. Ser ni skruvlinjen rakt från sidan (vinkelrätt mot axeln), så ser den ut som fig. 7 b, vilken kroklinje just är en sinuskurva. Iakttager ni däremot skruvlinjen från ändan, ser den ut som en cirkel enl. fig. 7 c. Det ligger därför nära till hands att åskådliggöra ett växelströmsförlopp antingen som en sinuskurva eller som en cirkel. En radie i denna cirkel kallar man vektor, och längden på vektorn motsvarar växelströmsstorhetens maximivärde. När vektorn roterar ett varv, så beskrives förloppet under *en* period, varför vektorns rotationshastighet eller varvantal blir lika med spolens varvantal i fig. 2. Vid varje läge hos spolen erhålles ett motsvarande ögonblicksvärde på spänningen. Huru stort detta värde är, framgår av fig. 8. Spolen passerar här läget v (ungefär 60°), och i detta ögonblick induceras spänningen e, som i vektordiagrammet är lika med det mot vinkeln v svarande ögonblicksvärdet. En vektor är i detta fall en rät linje, vars längd motsvarar växelströmsstorhetens maximivärde, vilken med konstant hastighet tänkes rotera omkring sin ändpunkt. I fig. 8 c visas spänningsvektorn i det fastillstånd, som motsvarar emks storlek, då slingan i fig. 8 a passerar det i figuren angivna läget, vilket fastillstånd även återfinnes i vågdiagrammet i fig. 8 b. På samma sätt kan man även få med vektorn för kraftlinjeflödet, som då måste ligga 90° före emk. Med ett vektordiagram kan man på enklare sätt åskådliggöra ett växelströmsförlopp än medelst vågdiagrammet.

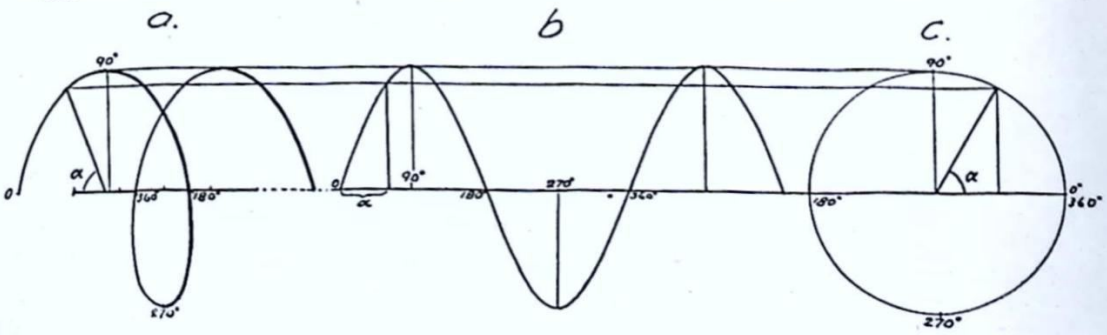


Fig. 7 a, b och c.

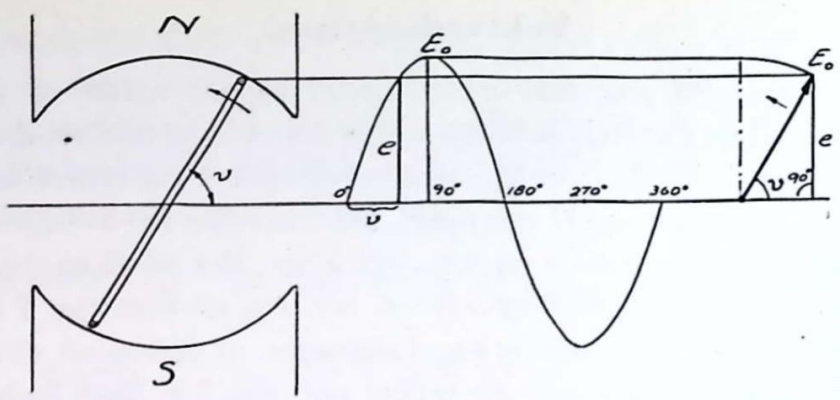


Fig. 8 a, b och c.

Om ni tänker er en spole, liknande den, som förekom i fig. 2, uppdelad i två något så när lika härvor, så induceras ungefär lika stora emk i de båda härvorna, då spolen roterar i magnetfältet. Dessutom ligger de båda spänningarna i fas, vilket ju betyder, att sinuskurvorna för dessa passera nollvärdena samtidigt och i samma riktning. I fig. 9 sammanfaller kurvorna därför nästan för de båda emk, liksom även för deras vektorer. Seriekopplas de båda härvorna (slutändan *s* i ena härvan förenas med början *b* i andra härvan), så adderas i varje läge ögonblicksvärdena av emk E_1 och E_2 hos härvorna,

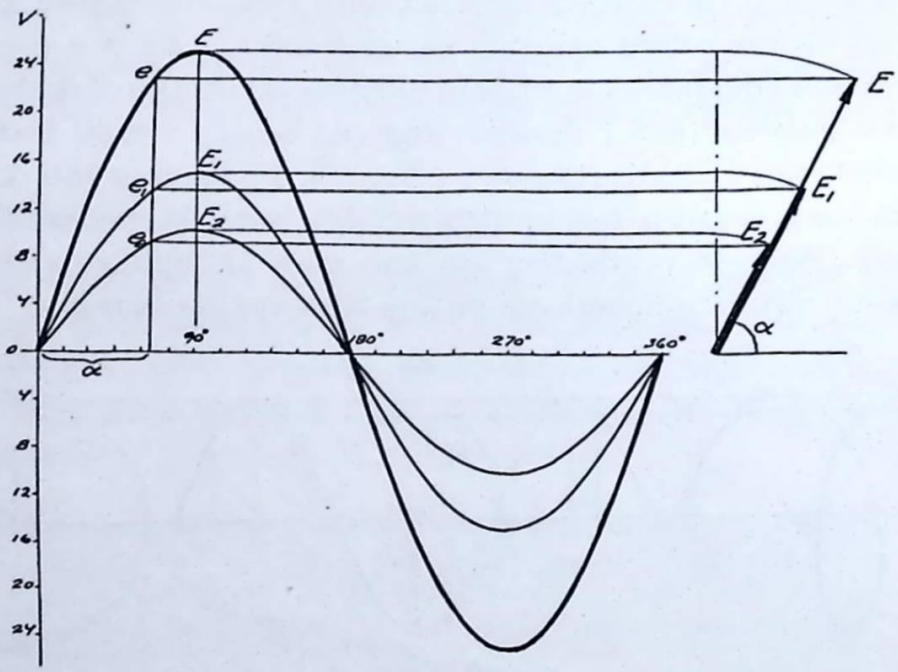


Fig. 9.

varvid man erhåller en sinuskurva E av det utseende, som visas i fig. 9. Likaså kan vektorerna E_1 och E_2 adderas, och summa-vektorn E överensstämmer då till storlek och fasläge med sinuskurvan E. Två växelspänningar, som har sina förlopp på detta sätt, sägas *ligga i fas*. Detta kännetecknas alltså av att de har sina nollvärden samtidigt och är riktade åt samma håll, dvs. alltid har samma polaritet.

Övningsuppgift 2 a.

Två härvor roterar i ett gemensamt fält och under första halvperioden induceras de i nedanstående tabell angivna spänningarna. Beräkna motsvarande ögonblicksvärden på spänningen E, då härvorna är seriekopplade. Upprita spänningskurvorna för en hel period. Skala: 1 cm—30°; 1 cm—10 V.

Fasläge	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	—
Spänning e_1	0	20	35	40	35	20	0	V
Spänning e_2	0	15	26	30	26	15	0	V
Spänning e								V

Emellertid kan de båda härvorna kopplas mot varandra, dvs. slutändan *s* i ena härvan förenas med slutändan *s* i den andra härvan. Detta verkar på samma sätt, som när två galv. element kopplas mot varandra. Den uttagna spänningen E blir alltså lika med *skill-*

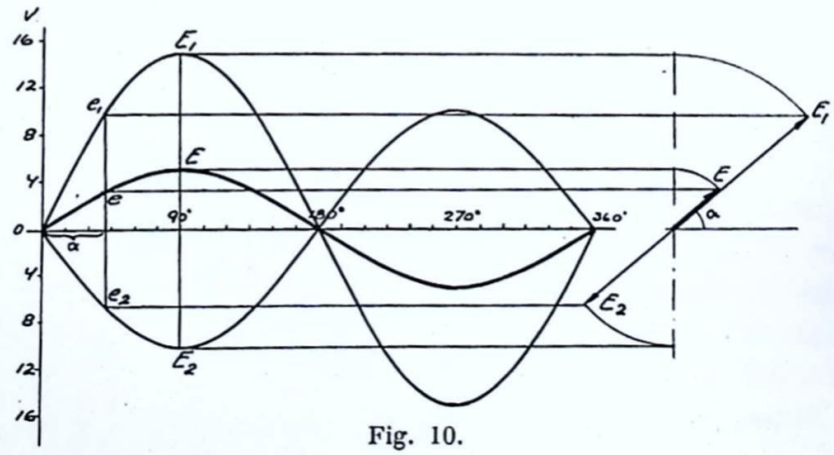


Fig. 10.

naden mellan E_1 och E_2. Är dessa nästan lika stora, så erhålles en helt obetydlig spänning ifrån spolen. Detta framgår också av våg- och vektordiagrammet i fig. 10, där E_1 och E_2 ligga åt rakt motsatta håll och sålunda till större delen upphäva varandra.

Övningsuppgift 2 b.

De båda härvorna i övningsuppgift 2 a är motkopplade, så att den inducerade spänningen e_2 är fasförskjuten 180°. Gör en tabell med de spänningsvärden, som finnes i övningsuppgift 2 a. Rita upp motsvarande spänningskurvor.

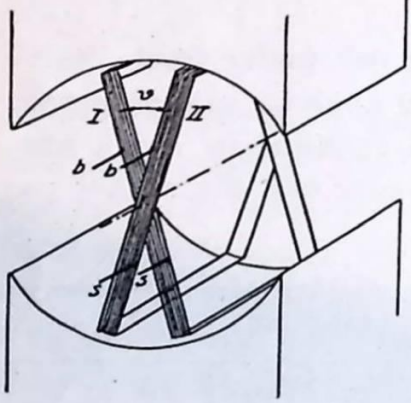


Fig. 11.

Ankarlindningen hos en generator består emellertid av flera härvor, fördelade runt hela omkretsen. Om två sådana härvor, vilka bildar en viss vinkel v med varandra, roterar i det gemensamma fältet enligt fig. 11, så induceras en emk i vardera härvan. Förenas uttagsändan s (slut) i härvan I med uttagsändan b (början) i härvan II, så finner man, att respektive spänningskurvor E_1 och E_2 i fig. 12 ligga förskjutna med en lika

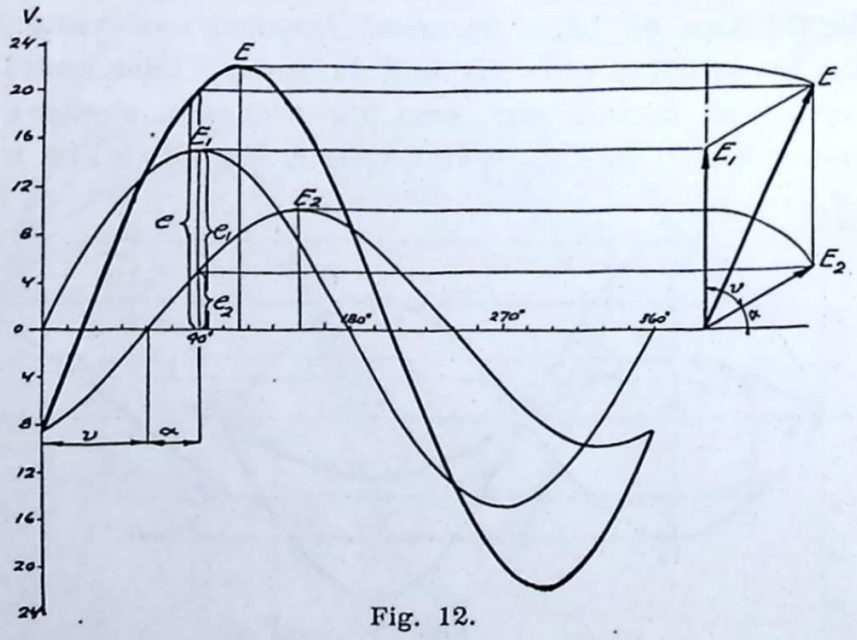


Fig. 12.

stor vinkel v, som den man hade mellan härvorna. Kurvan E, som visar den totala spänningen, erhålles genom addition av ögonblicksvärdena i varje läge. Denna kurva kommer inte upp till lika högt värde som i fig. 9, beroende på att spänningarna E_1 och E_2 nu äro fasförskjutna. Beakta detta då ni har utfört övningsuppgift 2 c.

Övningsuppgift 2 c.

De båda härvorna bilda 30° vinkel och är seriekopplade, så att de inducerade spänningarna erhålla de i tabellen angivna värdena. Bestäm värdena för den resulterande spänningen och rita upp motsvarande spänningskurvor.

Rita vektordiagram för spänningarna E_1, E_2 och E.

Fasläge	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	—
Spänning e_1	0	20	35	40	35	20	0	V
Spänning e_2	15	26	30	26	15	0	—15	V
Spänning e								V

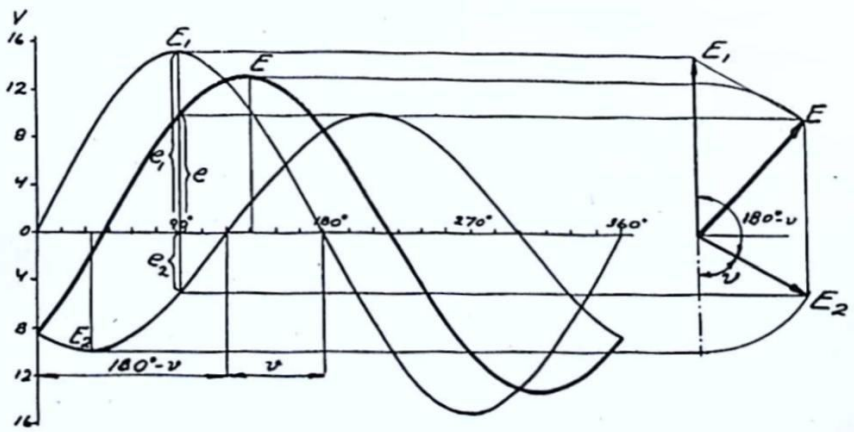


Fig. 13.

Förenas uttagsändan s i härvan I med ändan s i härvan II, (fig. 11) så kommer spänningskurvan E_2 att få ett helt motsatt läge. De båda spänningarna E_1 och E_2, vilka till större delen motverkar varandra, ger, som synes av fig. 13, en mycket låg resulterande spänning E, vilken dock är större än den, som erhölls i fig. 10. Detta framgår även, när ni behandlat följande övningsuppgift.

Övningsuppgift 2 d.

Utför samma beräkningar som i övningsuppgift 2 c, då härvorna är motkopplade. Spänningen e_1 blir fasförskjuten 180°—30° = 150° i förhållande till e_2. Undersök om maximivärdet för kurvan e överensstämmer med det värde, som erhålles av vektordiagrammet.

I en ankarlindning sammankopplas spolarna enligt det förstnämnda sättet, som ju närmast är att likna vid en seriekoppling av strömkällor.

Innehåller en sådan ankarlindning 6 st. spolar enl. fig. 14 a, så framgår av fig. 14 b, hur man på ett något förenklat sätt erhåller den totala spänningen.

Eftersom det induceras en växelspänning i varje spole, erhålles 6 st. sådana spänningar, var och en med 30° fasförskjutning, räknad för spänningar från två närliggande spolar. Induceras i en spole en växelspänning med 80 volts toppvärde, så finner ni av övningsuppgift 3, att den resulterande spänningen blir 310 volt. En växelströmsgenerator med en sådan ankarlindning lämnar sålunda en spänning, vars maximivärde är 310 volt, vilket motsvaras av effektivvärdet 219 volt.

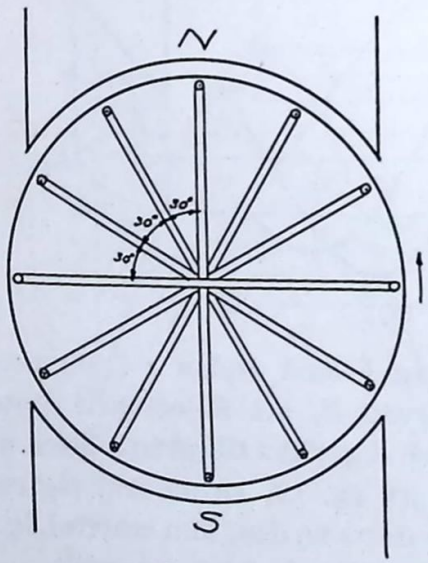


Fig. 14 a.

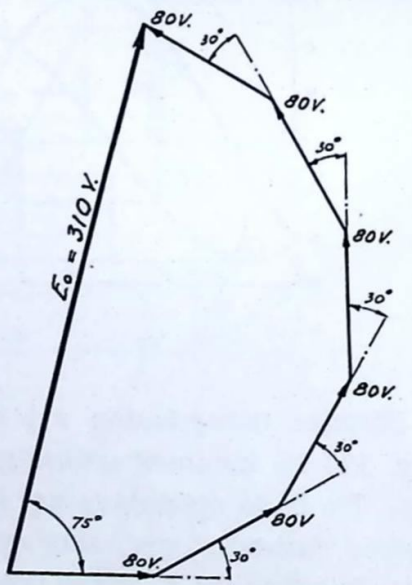


Fig. 14 b.

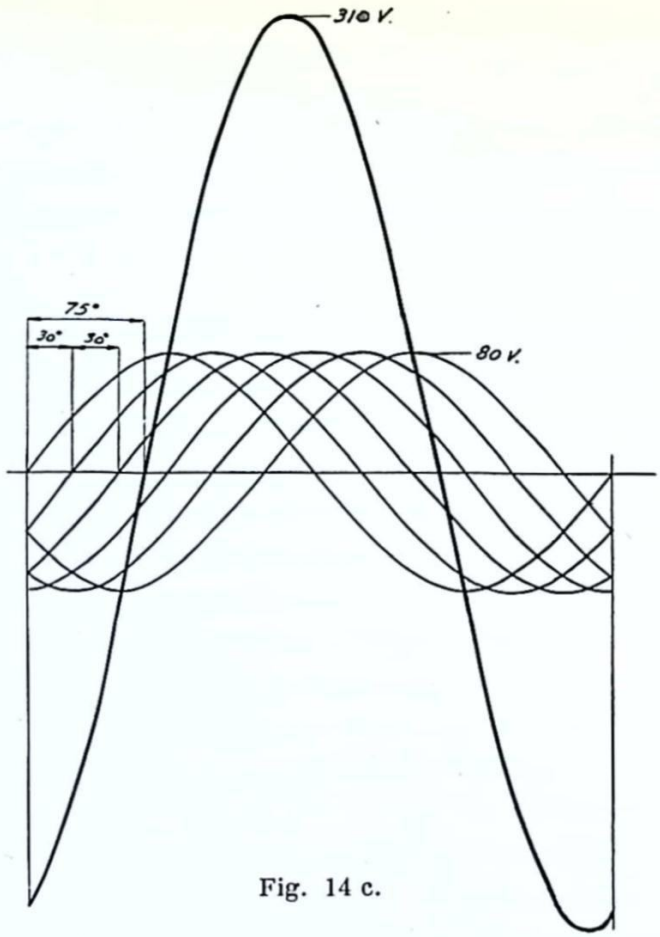


Fig. 14 c.

Övningsuppgift 3 a.

En ankarlindning enl. fig. 14 består av 6 stycken seriekopplade härvor, jämnt fördelade på ankaret. Vinkeln mellan härvorna blir 30° och deras ögonblicksvärden under en kvarts period är angivna i nedanstående tabell. Beräkna motsvarande ögonblicksvärden för ankarspänningen.

Fasläge	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
Spänning e_1	0	21	40	57	69	77	80	V
Spänning e_2	40	57	69	77	80	77	69	V
Spänning e_3	69	77	80	77	69	57	40	V
Spänning e_4	80	77	69	57	40	21	0	V
Spänning e_5	69	57	40	21	0	—21	—40	V
Spänning e_6	40	21	0	—21	—40	—57	—69	V
Spänning e								V

Övningsuppgift 3 b.

Om ankaret har en kollektor, så blir samtliga ögonblicksvärden positiva. Vilket blir det högsta och det lägsta värdet på den pulserande likströmmen, då antalet lameller är lika med antalet härvor?

Självinduktion i växelströmkrets.

Självinduktion uppstår, då fältet i en spole undergår förändring. De strömmar, som självinduktions-emk orsakar, strävar ju, i enlighet med Lenz lag, att motsätta sig fältförändringarna. Självinduktionens verkningar kan jämföras med mekaniska trögheten hos stora massor. Ett svänghjul kan endast så småningom komma upp till fullt varvtal, men kan också endast långsamt bringas att stanna. Ett stort och tungt svänghjul besitter en stor tröghet. Man säger att en kraftig elektromagnet, som ju innehåller ett starkt fält, äger en stor *induktivitet*. Denna har på växelströmskretsen en mycket stor inverkan. På vad sätt självinduktionen utövar sina verkningar, redogöres i det följande.

Först har vi det ohmska spänningsfallet e_r, som är produkten av strömstyrka och motstånd ($i \cdot R$), och kurvan för denna måste ligga i fas med strömmen i. Denna kurva motsvarar den spänning, som skulle behövas för att driva fram en viss ström i strömkretsen, *om ingen självinduktion finnes*. Alstrar strömmen också ett magnetfält, så ökas detta fält i samma mån som strömmen ökas, samt minskas när strömmen minskas. Fältets förlopp ligger alltså i fas med strömmen, som alstrar fältet. För en spole utan järnkärna beräknas magnetflödet Φ med hjälp av formeln: 16.

$$\Phi = \frac{1{,}26 \cdot I \cdot N}{l} \cdot A \text{ maxwell}$$

Då antalet lindningsvarv N, spolarean A och spollängden l för en viss spole har bestämda värden, så blir

$$\Phi = \text{konstant} \cdot i$$

För att ni skall få ett begrepp om hur självinduktionen verkar i en växelströmskrets, tänker vi oss en spole, som är 20 cm lång och har 50 cm² flödesarea, lindad med 0,35 mm² koppartråd i 3 200 varv, för vilken lindning åtgått 1 000 m tråd. Vi vill veta hur hög spän-

ning, som erfordras för att få en växelström på maximum 1,5 A (effektivvärdet 1,06 A), genom spolen.

$$\text{Spolens motstånd } R = \frac{0{,}0175 \cdot 1\,000}{0{,}35} = 50 \text{ ohm}$$

$$\text{Fältflödet } \Phi = \frac{1{,}26 \cdot 3\,200 \cdot 50}{20} \cdot i = 10\,000 \cdot i \text{ maxwell.}$$

I nedanstående tabell är för en halvperiod angivet de värden, som ligger till grund för beräkningen. Självinduktionens emk beräknas på samma sätt, som inducerad spänning i allmänhet och alltså på det sätt vi tillämpade i ex. på sid. 10. Maximivärdet på självinduktions-emk erhålles, där fältförändringen är störst. Detta inträffar vid tiden 0 till 0,0010 sek., då fältet ökar från 0 till 2 620 maxwell.

$$E_o = \frac{(2\,620 - 0)}{100\,000\,000} \cdot \frac{3\,200}{0{,}0010} = 84 \text{ volt}$$

Tid i sek.	Ström-styrka i ampère	Fältflöde Φ maxwell	Spänning för att övervinna		Erforderlig klämspänning E volt
			ohmskt sp.fall E_r volt	självinduktion E_s volt	
0,0000	0,00	0	0	84	84
0,0010	0,26	2 620	13	83	96
0,0020	0,51	5 100	26	79	105
0,0030	0,75	7 500	38	73	111
0,0040	0,96	9 600	48	64	112
0,0050	1,15	11 500	57	54	111
0,0060	1,30	13 000	65	42	107
0,0070	1,41	14 100	71	29	100
0,0080	1,48	14 800	74	15	89
0,0090	1,50	15 000	75	0	75
0,0100	1,48	14 800	74	—15	59
0,0110	1,41	14 100	71	—29	42
0,0120	1,30	13 000	65	—42	23
0,0130	1,15	11 500	57	—54	3
0,0140	0,96	9 600	48	—64	—16
0,0150	0,75	7 500	38	—73	—35
0,0160	0,51	5 100	26	—79	—53
0,0170	0,26	2 620	13	—83	—70
0,0180	0,00	0	0	—84	—84

Övriga värden på e_s erhålles på samma sätt och dessa är de spänningar, som erfordras för att driva fram strömmen i, om *inget motstånd finnes i kretsen.* Då kretsen har ett visst motstånd åtgår även en del av spänningen för att driva fram strömmen genom detta. Denna del är $e_r = i\,R$. Återstoden av e skall vara tillräcklig för att övervinna självinduktions-emk i kretsen.

I fig. 15 finns samtliga kurvor inritade för en hel period. Självinduktions-emk erhåller samma fasläge, som den inducerade emk erhåller i en spole dvs. *90° efter fältet.* Den del av klämspänningen, som skall kompensera självinduktions-emk, måste vara helt motriktad denna (vilket ju är detsamma som 180° fasförskjutning).

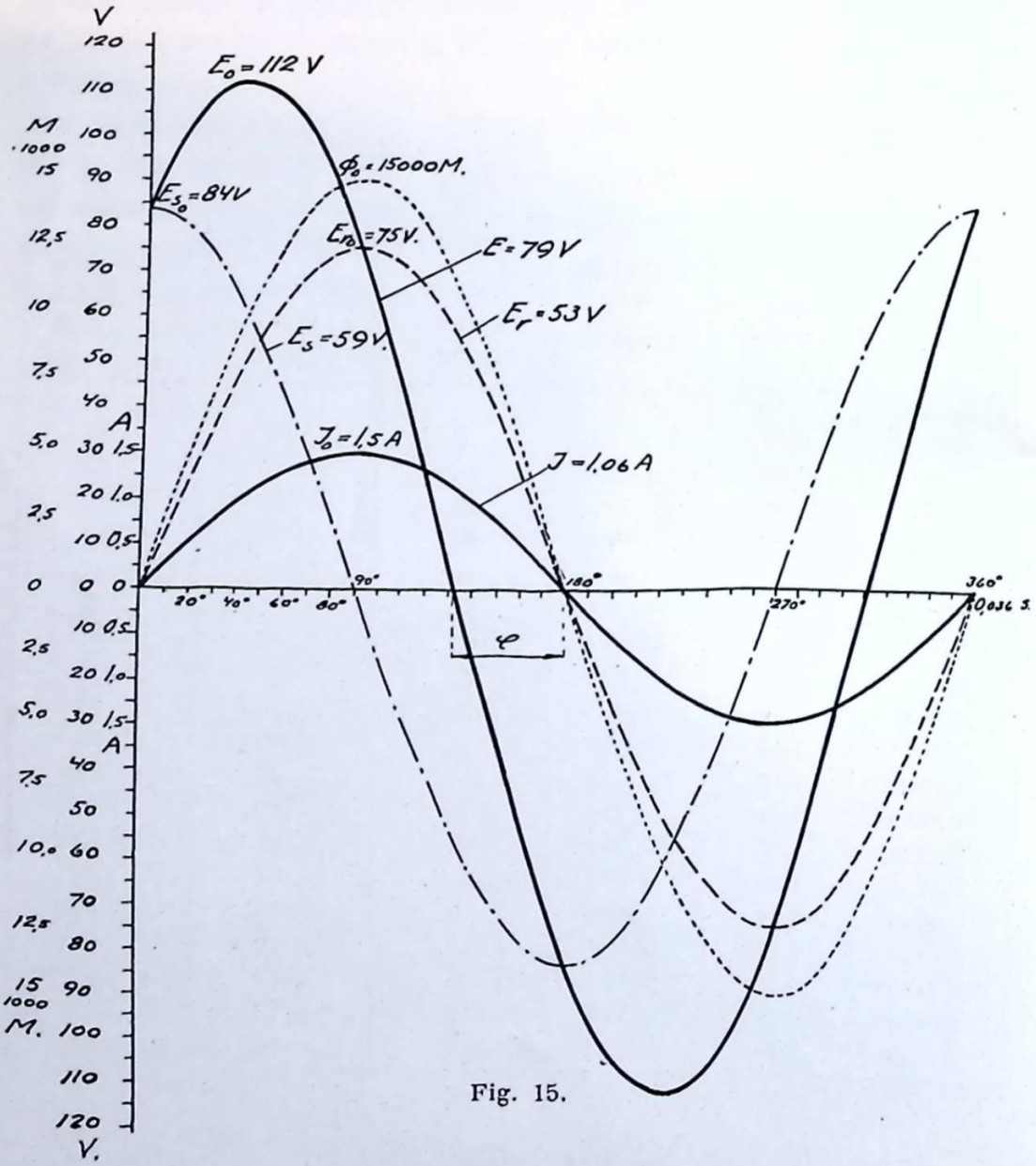


Fig. 15.

Den spänning, som erfordras för att driva strömmen med effektivvärdet 1,06 ampère genom spolen, måste ha effektivvärdet 79 volt (maximivärdet 112 volt).

Av kurvorna i fig. 15 framgår, att självinduktionens inverkan är:

1. att en avsevärt högre spänning kräves för att driva en viss ström genom magnetspolen. (Hade spolen varit induktionsfri, skulle spänningen endast erfordras för att driva strömmen genom motståndet.)

2. att spänning och strömstyrka inte längre ligga i fas med varandra utan är förskjutna en viss vinkel φ (s. k. fasförskjutningsvinkel). Strömmen kommer *efter* spänningen, vilket brukar benämnas *positiv fasförskjutning*. Av fig. 15 framgår att fasförskjutningsvinkeln φ är nära 50°.

De värden på spänning och strömstyrka, som hör samman med förloppet i fig. 15 är sammanförda i nedanstående tabell:

Effektivvärdet är 70,7 % av resp. maximivärden.

	Maximivärde	Effektivvärde
Strömstyrka	1,50 amp.	1,06 amp.
Ohmskt spänningsfall	75 volt	53 volt
Spänning för att övervinna självinduktions-emk.	84 volt	59 volt
Erforderlig klämspänning	112 volt	79 volt

Kurvorna i fig. 15 motsvaras av vektorerna i fig. 16, där de olika spänningsvektorerna har erhållit sina rätta faslägen. I allmänhet har man mera nytta av effektiv- än av maximivärdena, varför man brukar använda effektivvärdena i vektordiagrammen. Fasförskjutningsvinkeln φ är den vinkel, som spänningsvektorn E bildar med strömvektorn I. Lätt inses, att

$$\cos \varphi = \frac{E_r}{E} = \frac{53}{79} = 0{,}67$$

och motsvarande vinkel erhålles ur tabell

$$\varphi = 48°$$

Spänningen E är alltså resultanten (vilken även benämnes geometriska summan) av E_s och E_r.

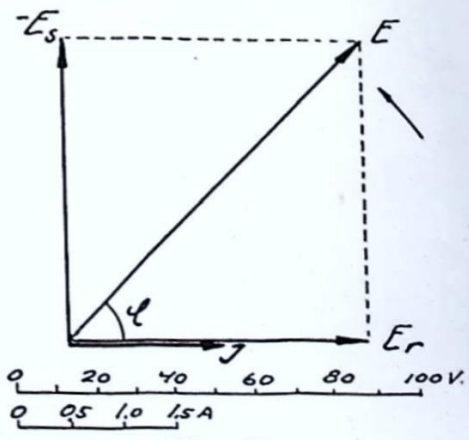


Fig. 16.

Växelströmsmotstånd.

Motståndets storlek erhålles, om ni dividerar spänning med strömstyrka. Divideras spänningarna E, E_s och E_r med strömstyrkan I, erhålles tre olika motstånd

a) $Z = \frac{E}{I}$; b) $X = \frac{E_s}{I}$; c) $R = \frac{E_r}{I}$ ..... Formel 27 a, b, c.

Z betecknar växelströmsmotståndet och benämnes *impedans*, X svarar mot ett rent induktivt motstånd, *reaktans*, och R är det ohmska motståndet, *resistans*. Samtliga motstånd angivas i enheten *ohm*.

En vanlig induktiv strömkrets kan tänkas sammansatt av ett induktivt och ett ohmskt motstånd, *kopplade i serie* enl. fig. 17.

Exempel. För den strömkrets, vi behandlade i samband med självinduktionen, är E 79 volt, E_s 59 volt och E_r 53 volt samt strömstyrkan I 1,06 ampère. Motsvarande motstånd blir då

$$Z = \frac{79}{1{,}06} = 75 \text{ ohm}; \quad X = \frac{59}{1{,}06} = 56 \text{ ohm}; \quad R = \frac{53}{1{,}06} = 50 \text{ ohm}.$$

Uppritas en triangel med motstånden Z, X och R som sidor (fig. 18), så blir triangeln rätvinklig och likformig med spänningstriangeln i fig. 16. Då triangeln är rätvinklig, erhålles

$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ ohm}} \quad \text{..... Formel 28 a.}$$

samt $$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{..... Formel 28 b.}$$

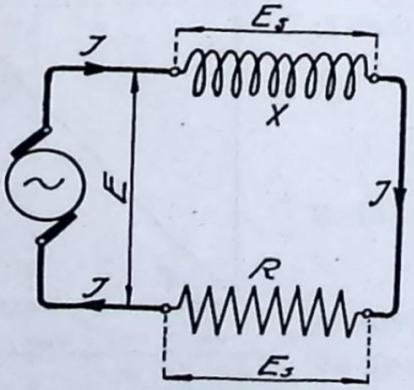


Fig. 17.

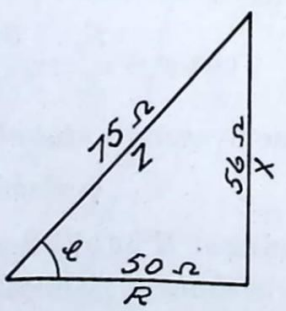


Fig. 18.

Genom försök kan det lätt konstateras, att reaktansen X är beroende av växelströmmens periodtal f och induktiviteten L på så sätt, att

$$X_L = 2\,\pi \cdot f \cdot L \text{ ohm} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 29 a.}$$

$2\,\pi f$ motsvarar *vinkelhastigheten*, som betecknas med ω. För frekvensen 50 p/s blir $\omega = 314$ rad/s. Formeln 29 a blir i stället

$$X = \omega \cdot L \text{ ohm} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 29 b.}$$

Det induktiva spänningsfallet eller självinduktions-emk blir då

$$E_s = \omega \cdot L \cdot I \text{ volt} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 29 c.}$$

Formel 28 a kan då skrivas om till

$$Z = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}} \text{ ohm.}$$

För en induktiv strömkrets erhåller ohms lag följande utseende:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}} \text{ ampere} \ldots\ldots \text{ Formel 30.}$$

Induktiviteten L angives i *henry* (H). Denna är konstant för spolar utan järnkärna och kan beräknas av formeln

$$L = \frac{4\,\pi \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot 10^{-9} \text{ henry} \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 31 a.}$$

Härvid betecknar

N — antalet lindningsvarv
A — spolens inre area för fältflödet i cm²
l — spolens längd i cm.

Exempel. Huru hög är induktiviteten i den spole vi hade för beräkning av självinduktions-emk?

Givet: $N = 3\,200$ varv. $A = 50$ cm². $l = 20$ cm.

$$L = \frac{4\,\pi \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot 10^{-9} = \frac{4\,\pi \cdot 3\,200^2 \cdot 50}{20} \cdot 10^{-9} = 0{,}32$$

Svar: *Induktiviteten 0,32 henry.*

Exempel. Huru hög är frekvensen, då reaktansen är 56 ohm?

Givet: $X = 56$ ohm. $L = 0{,}32$ henry

$$X = 2\,\pi \cdot f \cdot L, \qquad 56 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 0{,}32$$

$$f = \frac{56}{2\,\pi \cdot 0{,}32} = 28$$

Svar: *Frekvensen 28 p/s.*

Enligt tabellen är tiden för en halv period 0,018 sekunder, vilket motsvarar 0,5 : 0,018 = 28 p/s.

Förses spolen med järnkärna, så blir induktiviteten även beroende på permeabiliteten μ. Formeln för induktiviteten blir då

$$L = \frac{4\,\pi \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot \mu \cdot 10^{-9} \text{ henry} \ldots\ldots \text{ Formel 31 b.}$$

A betecknar järnkärnans area i cm² och l medelkraftlinjens längd i cm.

Som synes av formeln för induktiviteten är denna beroende av *kvadraten på lindningsvarvantalet* samt av *järnkärnans sektionsarea.*

En spole med järnkärna, s. k. drosselspole, erhåller vid växelström ett motstånd, som vanligen är många gånger större än det ohmska motståndet. Vid mycket höga frekvenser kan t. o. m. en spole med få lindningsvarv utöva ett mycket stort motstånd. Av denna anledning insättes s. k. *induktionsspiraler* som hinder för att högfrekventa överspänningar skall kunna åstadkomma skador på maskiner och apparater.

Kapacitet i en växelströmskrets.

Utom självinduktion uppträder i växelströmskretsen en annan återverkan, som är beroende på kapaciteten i kretsen. Självinduktionsfenomenet är, som förut beskrivits, beroende på förändringar i magnetiska fält; kapacitetsverkningarna orsakas i stället av förändringarna i isolationsskiktets *elektriska fält.* Strömkretsen genomflytes av en laddningsström, som laddar upp kondensatorn till samma spänning som den strömkällan har (fig. 19).

Den uppladdade kondensatorn besitter sålunda en mot-emk mot strömkällans spänning.

Enl. formeln 21 är laddningen

$$Q = C \cdot E$$

Eftersom kapaciteten C är en konstant, kommer laddningen Q att ligga i fas med spänningen E.

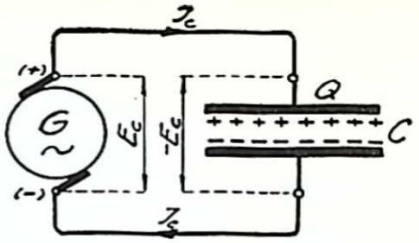


Fig. 19.

Då spänningen E är en sinuskurva, kommer laddningen Q att bliva en sinuskurva enl. fig. 20. Härav framgår, att när kondensatorn skall uppladdas, så erhåller laddningsströmmen samma riktning som spänningen hos strömkällan; när kondensatorn urladdas blir strömmen motsatt riktad mot spänningen. När kondensatorn är uppladdad, kan ingen ytterligare laddningsström passera fram ($i_c = 0$). Av kurvan för laddningen Q framgår, att denna i början blir hastigt uppladdad — laddningsströmmen i_c måste därför vara förhållandevis stor. Laddningsströmmen i_c får därför det förlopp som visas i fig. 20, varav framgår, att *laddningsströmmen i_c går 90° före den spänning E som alstrar strömmen.*

Liksom självinduktionen orsakade ett induktivt motstånd i växelströmkretsen, utövar kapaciteten ett laddningsmotstånd (*kapacitiv reaktans*), vilket beräknas ur formeln.

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \text{ ohm} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 32 a.}$$

Den spänning E_c som erfordras för att driva fram laddningsströmmen I_c blir då

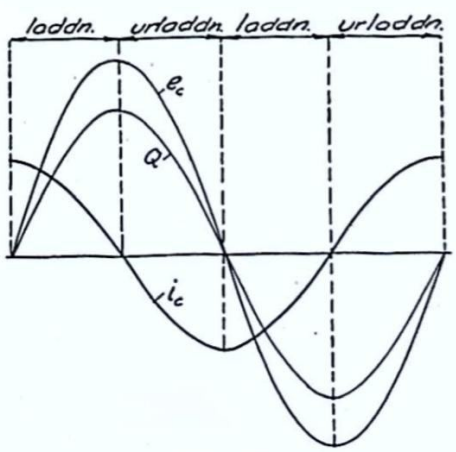


Fig. 20.

$$E_c = \frac{I_c}{\omega \cdot C} \text{ volt} \quad \ldots\ldots \text{ Formel 32 b.}$$

Den kapacitiva reaktansen $\frac{1}{\omega \cdot C}$ är vid låga frekvenser stor men minskar i samma mån som frekvensen ökas. Översvängningar vilka har hög frekvens, passerar därför igenom en kondensator mera obehindrat än grundvågen.

Vid en strömkrets med ohmskt

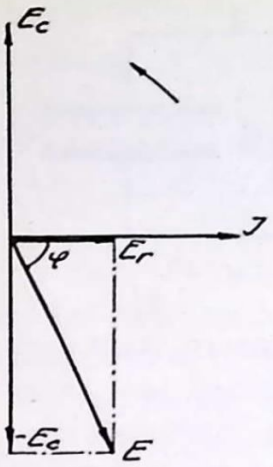


Fig. 21.

motstånd och kapacitet kopplade i serie måste den påtryckta växelströmsspänningen i varje ögonblick övervinna såväl kapacitetsspänningen som det ohmska spänningsfallet, alltså

$$e = e_r + e_c.$$

I vektordiagrammet går man ut ifrån strömstyrkan I, och i fas med denna ligger vektorn för det ohmska spänningsfallet E_r. Kapacitetsspänningen E_c ligger 90° före strömvektorn. För att övervinna denna kräves en lika stor men motsatt riktad spänning ($-E_c$), vilken sammansatt med E_r giver den erforderliga klämspänningen E enl. fig. 21.

Det framgår av diagrammet i fig. 21, att *strömmen I ligger φ grader före spänningen E.*

Vidare framgår att

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_c^2}$$

Då $E_r = I \cdot R$ och $E_c = \dfrac{I}{\omega \cdot C}$ får man att

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{ ampere} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 32 c.}$$

Finnes såväl ohmskt motstånd, självinduktion som kapacitet i serie såsom i fig. 22, måste klämspänningen E övervinna ohmska spänningsfallet E_r samt hålla jämvikt mot självinduktionsspänningen E_s och kondensatorspänningen E_c.

I vektordiagrammet fig. 23, ligger E_r i fas med strömmen I, den del av klämspänningen, som skall övervinna självinduktionsspänningen E_s, ligger 90° före, och den för kondensatorspänningen E_c, 90° efter strömmen I.

Om E_s är större än E_c, så blir kretsen av induktiv art och fasförskjutningen *positiv.*

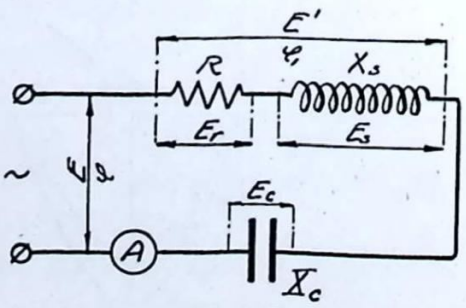


Fig. 22.

$$E = \sqrt{E_r^2 + (E_s - E_c)^2}$$

Ohms lag för växelström får följande utseende:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{ ampere} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{Formel 33.}$$

Denna formel är allmängiltig. Finnes ingen kapacitet så bortfaller motståndet $\frac{1}{\omega \cdot C}$ och vi erhåller formeln 30. Har kretsen ingen induktivitet så försvinner termen ωL och formeln 33 överensstämmer med formeln 32 c. Och av fig. 23 framgår att

$$\cos \varphi = \frac{E_r}{E}$$

I en växelströmskrets förekommer som ni har märkt olika slag av motstånd. Vi har *resistans* (R), *reaktans*, *induktiv* (X_s) och *kapacitiv* (X_c), samt en sammansättning av resistans och reaktans som kallas *impedans* (Z). Resistans och reaktans kunna vara seriekopplade eller parallellkopplade. Hur de olika kombinationerna skall behandlas framgår av följande beräknade kombinationer.

Exempel. På 120 V växelspänning kan följande motstånd inkopplas:

Ett induktionsfritt motstånd med resistansen 30 ohm.

Ett rent induktivt motstånd med reaktansen 24 ohm.

Ett kapacitivt motstånd med reaktansen 40 ohm.

För de i fig. 24 a—l angivna kombinationerna visas hur strömstyrkan beräknas. Under resp. figurer äro motsvarande vektordiagram angivna som visar strömmarnas och spänningarnas fasläger i varje särskilt fall.

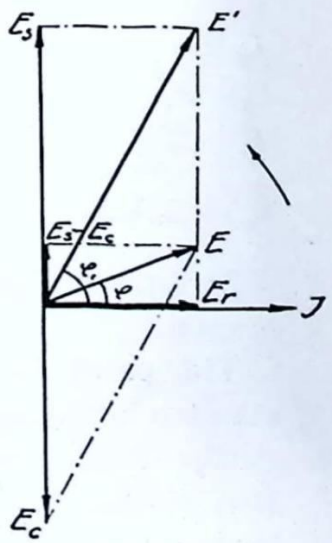


Fig. 23.

Exempel a. Induktionsfritt motstånd i växelströmskretsen.

$$I_r = \frac{E}{R}$$

$$I_r = \frac{120}{30} = 4{,}0$$

$I_r = 4{,}0$ *amp.*

Ström och spänning ligga *i fas.*

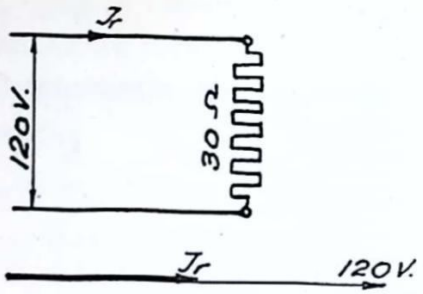


Fig. 24 a.

Exempel b. Rent induktivt motstånd i växelströmskretsen.

$$I_s = \frac{E}{X_s}$$

$$I_s = \frac{120}{24} = 5{,}0$$

$I_s = 5{,}0$ *amp.*

Strömmen ligger 90° *efter* spänningen.

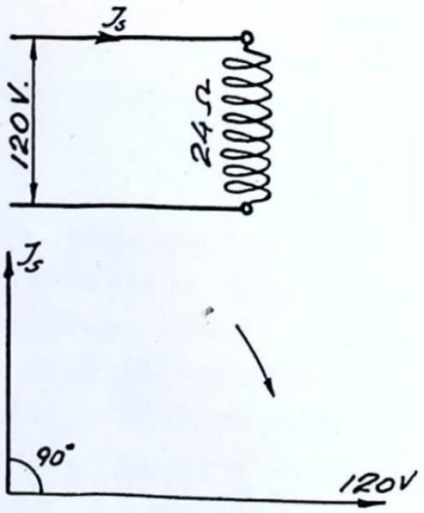


Fig. 24 b.

Exempel c. Kapacitivt motstånd i växelströmskretsen.

$$I_c = \frac{E}{X_c}$$

$$I_c = \frac{120}{40} = 3{,}0$$

$I_c = 3{,}0$ *amp.*

Strömmen ligger 90° *före* spänningen.

Vid parallellkoppling av motstånden blir spänningen gemensam varför denna väljes som *riktfas.* Den totala strömmen blir resultanten till de grenströmmar som beräknades i ex. a, b och c.

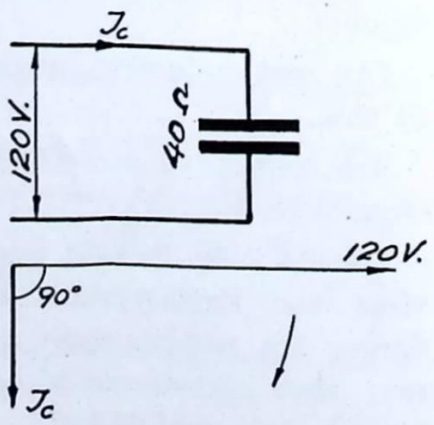


Fig. 24 c.

Exempel d. Växelströmskrets i vilken resistans och induktiv reaktans äro parallellkopplade.

$$I = \sqrt{I_r^2 + I_s^2}$$
$$I = \sqrt{4{,}0^2 + 5{,}0^2} = 6{,}4$$
$$I = 6{,}4 \text{ } amp.$$

Strömmen ligger $\varphi°$ *efter* spänningen

$$\cos \varphi = \frac{I_r}{I}$$

$$\cos \varphi = \frac{4{,}0}{6{,}4} = 0{,}625$$
$$\varphi = 51{,}3°$$

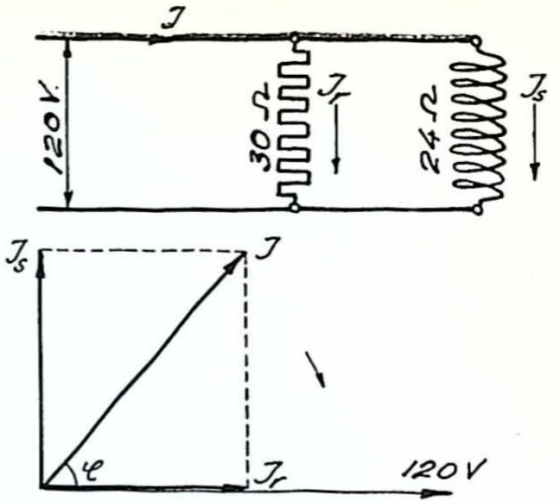


Fig. 24 d.

Exempel e. Växelströmskrets i vilken resistans och kapacitiv reaktans äro parallellkopplade.

$$I = \sqrt{I_r^2 + I_c^2}$$
$$I = \sqrt{4{,}0^2 + 3{,}0^2} = 5{,}0$$
$$I = 5{,}0 \text{ } amp.$$

Strömmen I ligger $\varphi°$ *före* spänningen.

$$\cos \varphi = \frac{I_r}{I} = \frac{4{,}0}{5{,}0} = 0{,}80$$
$$\varphi = 36{,}9°$$

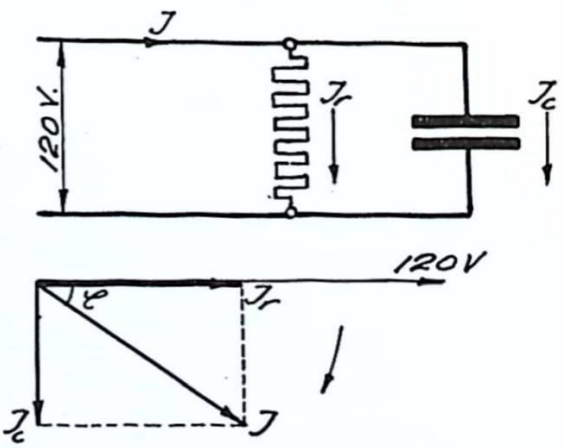


Fig. 24 e.

Exempel f. Växelströmskrets i vilken induktiv och kapacitiv reaktans äro parallellkopplade.

$$I = I_s - I_c$$
$$I = 5{,}0 - 3{,}0 = 2{,}0$$
$$I = 2{,}0 \text{ } amp.$$

Då I_s är större än I_c blir strömkretsen av induktiv art. Strömmen ligger då 90° *efter* spänningen.

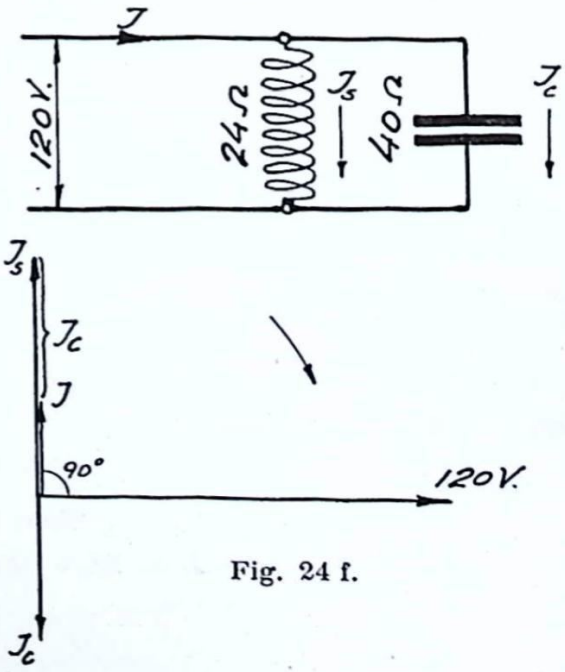


Fig. 24 f.

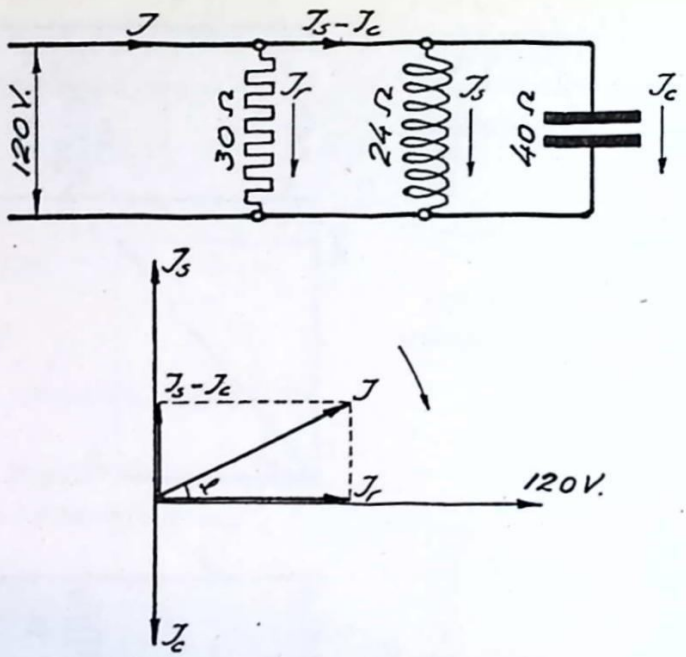


Fig. 24 g.

Exempel g. Växelströmskrets i vilken resistans, induktiv och kapacitiv reaktans äro parallellkopplade.

$$I = \sqrt{I_r^2 + (I_s - I_c)^2}$$
$$I = \sqrt{4{,}0^2 + (5{,}0 - 3.0)^2} = 4{,}5$$
$$I = 4{,}5 \text{ } amp.$$

Strömmen I ligger $\varphi°$ *efter* spänningen. (Strömkretsen är *induktiv.*)

$$\cos \varphi = \frac{I_r}{I} = \frac{4{,}0}{4{,}5} = 0{,}89$$
$$\varphi = 27{,}1°$$

Om motstånden kopplas i serie så blir resultanten av spänningsfallen lika med nätspänningen. Då samma ström går genom motstånden får strömmen bliva riktfas. I samtliga fall beräknas först kretsens impedans.

Exempel h. Växelströmskrets med resistans och induktiv reaktans i serie. Impedansen.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_s^2}$$
$$Z = \sqrt{30^2 + 24^2} = 38{,}4$$
$$Z = 38{,}4 \text{ } ohm.$$

$$I = \frac{E}{Z}$$

$$I = \frac{120}{38{,}4} = 3{,}13$$

$$I = 3{,}1 \ amp.$$

$$E_r = I \cdot R \qquad E_s = I \cdot X_s$$

$$E_r = 3{,}13 \cdot 30 = 94 \qquad E_r = 94 \ volt$$

$$E_s = 3{,}13 \cdot 24 = 74 \qquad E_s = 74 \ volt$$

Som kontroll har man att

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_s^2} = \sqrt{94^2 + 74^2} = 120 \text{ volt}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{30}{38{,}4} = 0{,}78$$

$$\varphi = 38{,}6°$$

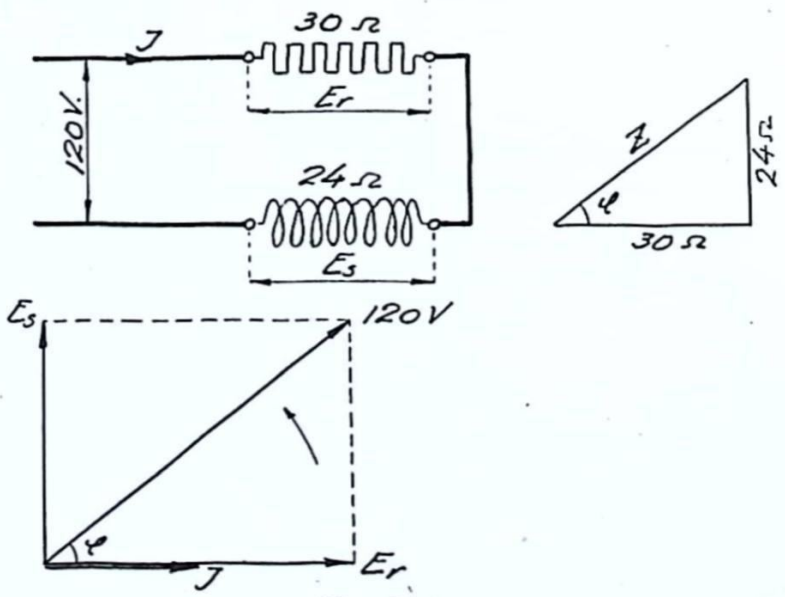


Fig. 24 h.

Exempel i. Växelströmskrets med resistans och kapacitiv reaktans i serie.

Impedansen.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$Z = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50{,}0$$

$$Z = 50{,}0 \ \Omega$$

$$I = \frac{120}{50} = 2{,}4$$

$I = 2{,}4$ *amp.*

$E_r = I \cdot R \qquad E_c = I \cdot X_c$

$E_r = 2{,}4 \cdot 30 = 72 \qquad E_r = 72$ *volt*

$E_c = 2{,}4 \cdot 40 = 96 \qquad E_c = 96$ *volt*

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{30}{50} = 0{,}6 \text{ (neg.)}$$

$\varphi = 53{,}1°$

Kontroll:

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_c^2} = \sqrt{72^2 + 96^2} = 120 \text{ volt.}$$

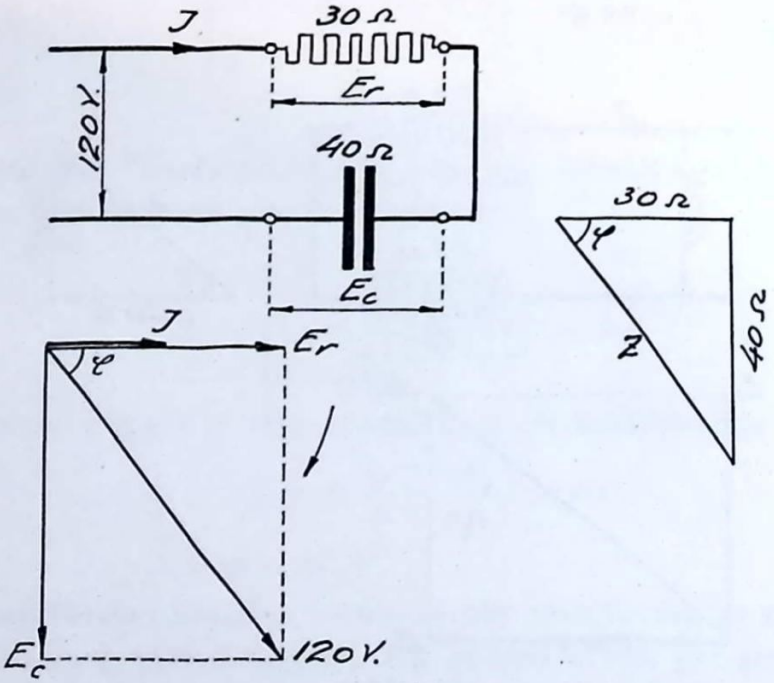


Fig. 24 i.

Exempel j. Växelströmskrets med induktiv och kapacitiv reaktans i serie.

$Z = 40 — 24 = 16$

$Z = 16$ *ohm*

$$I = \frac{120}{16} = 7{,}5$$

$I = 7{,}5$ *amp.*

$E_s = I \cdot X_s \qquad E_c = I \cdot X_c$

$E_s = 7{,}5 \cdot 24 = 180 \qquad E_s = 180$ *volt*

$E_c = 7{,}5 \cdot 40 = 300 \qquad E_c = 300$ *volt*

$Cos\ \varphi = 0$

$\varphi = 90°$ *(neg.)*

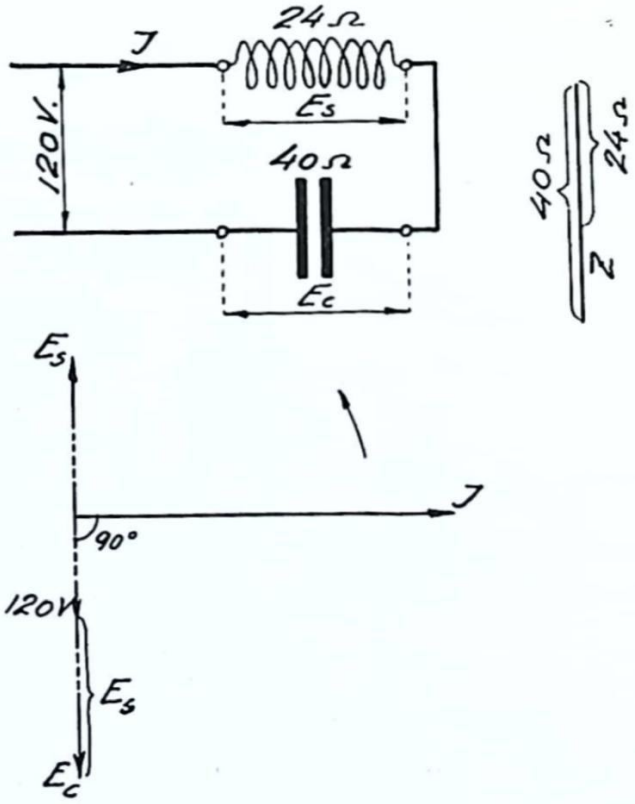


Fig. 24 j.

Exempel k. Växelströmskrets med resistans, induktiv och kapacitiv reaktans i serie.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_s - X_c)^2}$$

$$Z = \sqrt{30^2 + (24 - 40)^2} = 34$$

$$Z = 34{,}0\ \Omega$$

$$I = \frac{120}{34} = 3{,}52$$

$$I = 3{,}5\ \text{A}$$

$$E_r = I \cdot R \qquad E_s = I \cdot X_s$$
$$E_c = I \cdot X_c$$
$$E_r = 3{,}5 \cdot 30 = 105 \qquad E_r = 105 \text{ } volt$$
$$E_s = 3{,}5 \cdot 23 = 81 \qquad E_s = 81 \text{ } volt$$
$$E_c = 3{,}5 \cdot 40 = 140 \qquad E_c = 140 \text{ } volt$$
$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{30}{34} = 0{,}88 \text{ (neg.)}$$
$$\varphi = -28{,}0°$$

Kontroll:

$$E = \sqrt{E_r^2 + (E_c - E_s)^2} = \sqrt{105^2 + (140 - 81)^2} = 120 \text{ volt.}$$

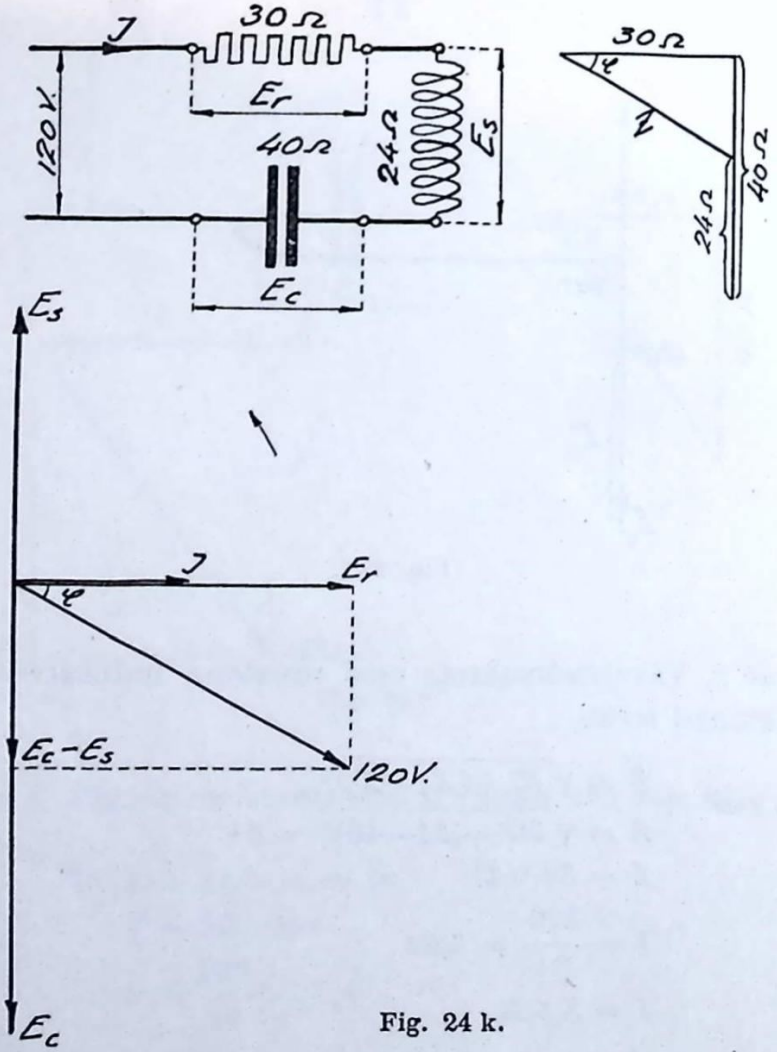


Fig. 24 k.

Exempel l. Växelströmskrets med resistans och induktiv reaktans i serie parallellkopplad med kapacitiv reaktans.

Sammansätt uppgift h med c.

$$I_s = 3{,}1 \text{ amp. (enl. uppg. h)}$$
$$I_c = 3{,}0 \quad » \quad (\ » \quad » \quad c)$$

Ur uppgift h erhålles $\cos \varphi' = \frac{30}{38{,}3}$ $\sin \varphi' = \frac{24}{38{,}3}$

$$I_s \cdot \cos \varphi' = 3{,}1 \cdot \frac{30}{38{,}3} = 2{,}42$$

$$I_s \cdot \sin \varphi' = 3{,}1 \cdot \frac{24}{38{,}3} = 1{,}94$$

$$I_c - I_s \cdot \sin \varphi' = 3{,}0 - 1{,}94 = 1{,}06$$

$$I = \sqrt{(I_s \cdot \cos \varphi')^2 + (I_c - I_s \cdot \sin \varphi')^2} = \sqrt{2{,}42^2 + 1{,}06^2} = 2{,}64$$

$I = 2{,}64$ *amp.*

$$\cos \varphi = \frac{I_s \cdot \cos \varphi'}{I} = \frac{2{,}42}{2{,}64} = 0{,}913$$

$\cos \varphi = 0{,}91$ (*neg.*)

$\varphi = -4{,}1°$

Kondensatorn upphäver den induktiva fasförskjutningen φ' men på grund av att kondensatorns reaktans är så liten som 40 ohm blir den totala strömmen kapacitiv.

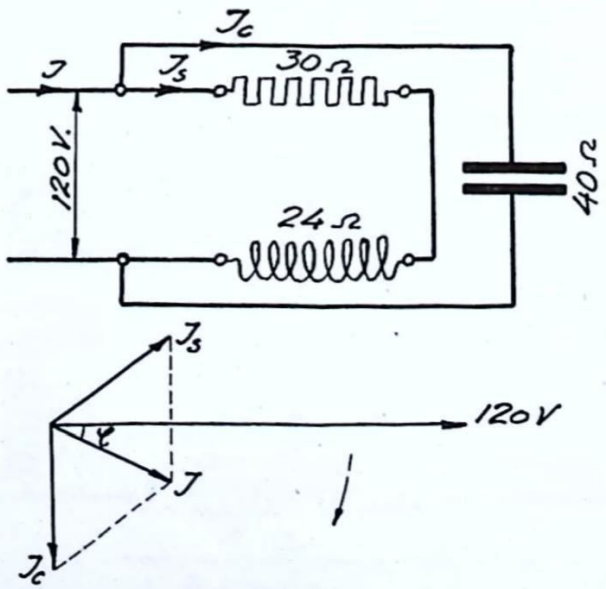


Fig. 24 l.

Seriekoppling av växelströmsmotstånd.

Ligger exempelvis tre motstånd i serie, så genomflytes de av en gemensam ström I, men i varje motstånd kan mellan ström och spänning uppträda olika fasförskjutningar, vilka på visst sätt påverkar fasförskjutningen för hela kretsen enligt fig. 25. Då samma ström passerar samtliga motstånd, får denna bestämma fasläget för spänningsvektorerna dvs. vara riktfas i diagrammet, fig. 26 b. Den matematiska behandlingen av uppgiften går så till, att man adderar de seriekopplade resistanserna för sig och reaktanserna för sig. Hela kretsens resistans blir alltså enligt fig. 26 a

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

och reaktans

$$X = X_1 + X_2 + X_3$$

Strömstyrkan blir då

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X^2}} \text{ ampère}$$

Denna ström går genom vart och ett av motstånden och den påtryckta spänningen E uppdelas i spänningsfallen E_1, E_2 och E_3 enligt fig. 26 b. Dessa kunna beräknas på vanligt sätt.

$$E_1 = I \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2} \text{ volt}$$

$$E_2 = I \cdot \sqrt{R_2^2 + X_2^2} \text{ volt}$$

$$E_3 = I \cdot \sqrt{R_3^2 + X_3^2} \text{ volt.}$$

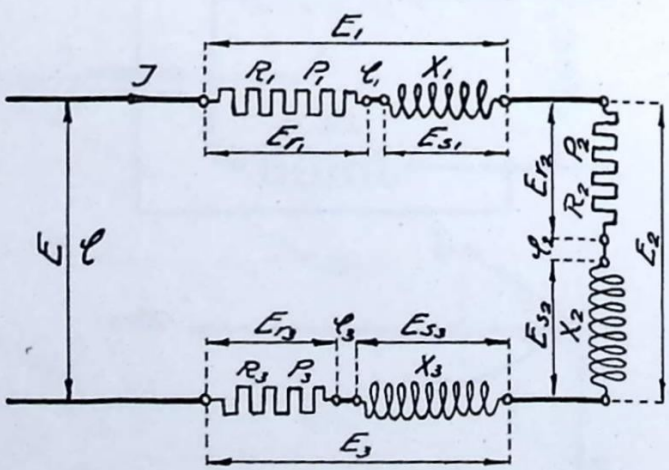


Fig. 25.

Då spänningsfallen sinsemellan i regel är fasförskjutna så är det deras geometriska summa som blir lika med den totala spänningen.

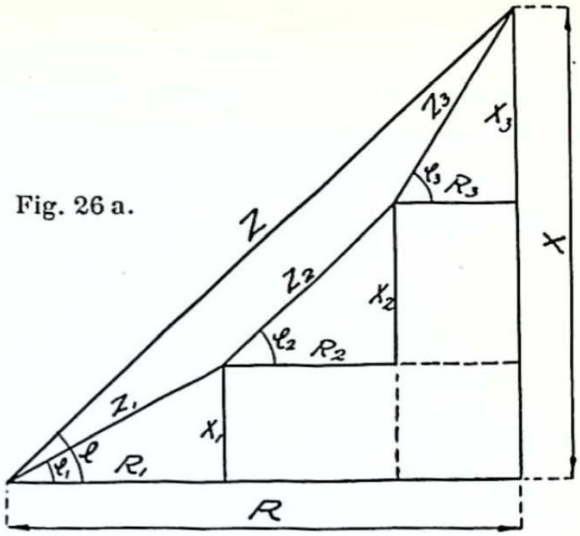


Fig. 26 a.

Effekten. $P = P_1 + P_2 + P_3 = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot I^2 = E \cdot I \cdot \cos\varphi$ watt.

Effektfaktorn $\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{P}{E \cdot I}$

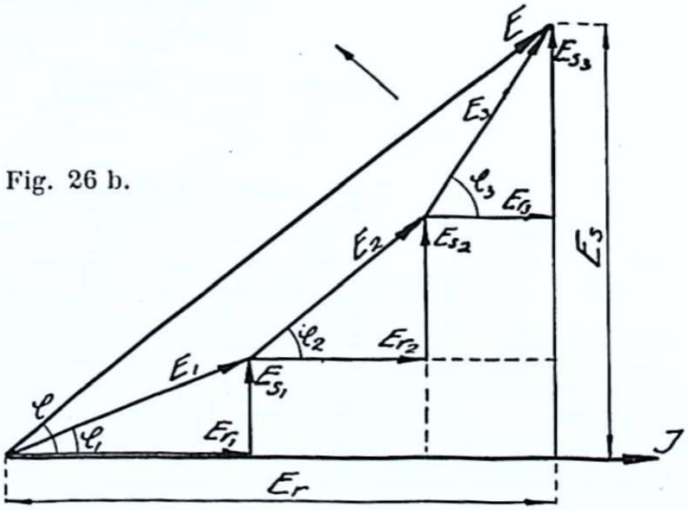


Fig. 26 b.

Parallellkoppling av växelströmsmotstånd.

Vid parallellkoppling av flera växelströmsmotstånd erhåller dessa samma klämspänning E, men strömmarna i de olika grenarna erhåller olika fasförskjutningar, fig. 27. Totalströmmen I erhålles därför vid geometrisk addition av grenströmmarna med spänningen E som riktfas enligt fig. 28. De obekanta strömstyrkorna I_1 och I_2 erhållas av följande uttryck

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}} \qquad X_1 = \omega L_1$$

$$I_2 = \frac{E}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \qquad X_2 = \omega L_2$$

Grenströmmarna I_1 och I_2 tänkas uppdelade i en wattkomponent $I_1 \cdot \cos \varphi_1$ resp. $I_2 \cdot \cos \varphi_2$, som ligger i fas med spänningen E och en wattlös komponent, $I_1 \sin \varphi_1$ resp. $I_2 \sin \varphi_2$ som är riktad vinkelrätt mot spänningen.

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2+X_1^2}} \qquad \sin \varphi_1 = \frac{X_1}{\sqrt{R_1^2+X_1^2}}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+X_2^2}} \qquad \sin \varphi_2 = \frac{X_2}{\sqrt{R_2^2+X_2^2}}$$

Den ogrenade strömmens wattkomponent

$$I_r = I_1 \cos \varphi_1 + I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

Den ogrenade strömmens wattlösa komponent

$$I_x = I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \cdot \sin \varphi_2$$

Den ogrenade strömmen erhålles då av formeln

$$I = \sqrt{I_r^2+I_x^2}$$

Effekten $P = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 = E \cdot I \cos \varphi$

Effektfaktorn $\cos \varphi = \frac{I_r}{I} = \frac{P}{E \cdot I}$

Kirchhoffs lag kommer alltså, när giltigheten skall utsträckas till växelström, att få följande lydelse:

I varje förgreningspunkt är den geometriska summan av alla strömmarna lika med noll.

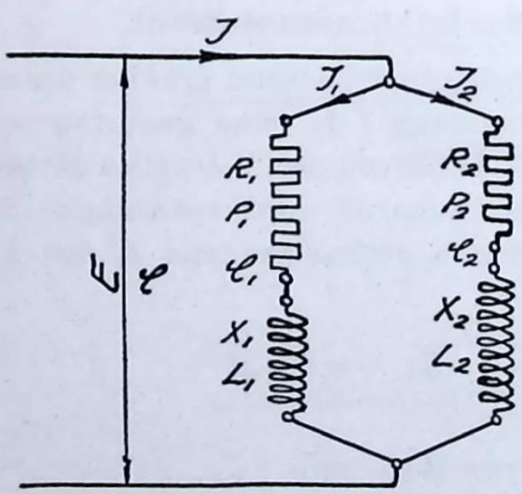


Fig. 27.

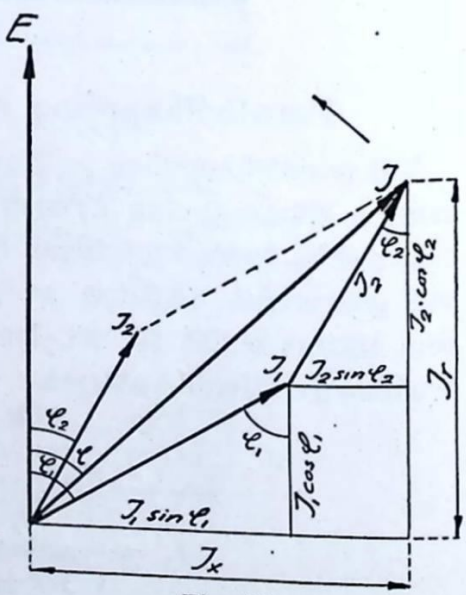


Fig. 28.

Exempel. En spole, som har resistansen 32 ohm och reaktansen 24 ohm, är seriekopplad med en annan spole, som har resistansen 10 ohm och reaktansen 24 ohm. Spolarna är anslutna på spänningen 260 V. Hur stor blir strömstyrkan och hur hög blir effekten och effektfaktorn för hela belastningen? Beräkna spänningsfallen i spolarna.

Givet:

$R_1 = 32\ \Omega \quad X_1 = 24\ \Omega;\ R_2 = 10\ \Omega;\ X_2 = 24\ \Omega:\ E = 260$ V.

Strömkretsens totala resistans
$$\begin{cases} R = R_1 + R_2 \\ R = 32 + 10 = 42 \text{ ohm} \end{cases}$$

Strömkretsens totala reaktans
$$\begin{cases} X = X_1 + X_2 \\ X = 24 + 24 = 48 \text{ ohm} \end{cases}$$

Strömstyrkan .....
$$\begin{cases} I = \dfrac{E}{\sqrt{R^2 + X_2^2}} \\ I = \dfrac{260}{\sqrt{42^2 + 48^2}} = \dfrac{260}{64} = 4{,}1\ amp. \end{cases}$$

Effekten .....
$$\begin{cases} P = (R_1 + R_2) \cdot I^2 \\ P = (32 + 10) \cdot 4{,}1^2 = 700 \text{ watt} \end{cases}$$

Effektfaktorn .....
$$\cos \varphi = \frac{42}{\sqrt{42^2 + 48^2}} = \frac{42}{64} = 0{,}66$$

Spolarnas spänningsfall

$E_1 = I \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$

$E_1 = 4{,}1 \cdot \sqrt{32^2 + 24^2} = 4{,}1 \cdot 40 = 164$ volt

$E_2 = I \cdot \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$

$E_2 = 4{,}1 \sqrt{10^2 + 24^2} = 4{,}1 \cdot 26 = 106$ volt.

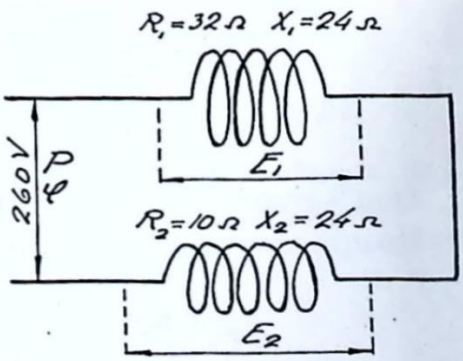


Fig. 29.

Svar:
Strömstyrkan 4,1 ampère
Effekten 700 watt
Effektfaktorn 0,66
Spänningsfallen 164 och 106 volt.

Exempel. En spole, som har resistansen 32 ohm och reaktansen 24 ohm, är parallellkopplad med en annan spole, som har resistansen 10 ohm och reaktansen 24 ohm. Spolarna är anslutna på spänningen

260 V. Huru stor blir den ogrenade strömmen och strömmen genom vardera spolen samt effekten och effektfaktorn för hela belastningen?

Grenströmmarna I_1 och I_2

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{R_1^2+X_1^2}}$$

$$I_1 = \frac{260}{\sqrt{32^2+24^2}} = \frac{260}{40} = 6{,}5 \text{ amp.}$$

$$I_2 = \frac{E}{\sqrt{R_2^2+X_2^2}}$$

$$I_2 = \frac{260}{\sqrt{10^2+24^2}} = \frac{260}{26} = 10{,}0 \text{ amp.}$$

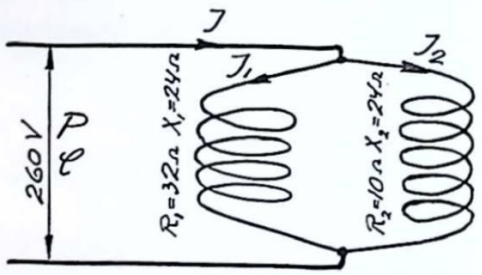


Fig. 30.

För att kunna beräkna strömmarnas watt- och wattlösa komponent måste vi först beräkna cos φ_1 och cos φ_2, resp. sin φ_1 och sin φ_2.

$$\cos\varphi_1 = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2+X_1^2}} = \frac{32}{\sqrt{32^2+24^2}} = \frac{32}{40}; \quad \sin\varphi_1 = \frac{X_1}{\sqrt{R_1^2+X^2_1}}$$

$$\sin\varphi_1 = \frac{24}{\sqrt{32^2+24^2}} = \frac{24}{40}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+X_2^2}}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{10}{\sqrt{10^2+24^2}} = \frac{10}{26}$$

$$\sin\varphi_2 = \frac{X_2}{\sqrt{R_2^2+X_2^2}} = \frac{24}{\sqrt{10^2+24^2}} = \frac{24}{26}$$

Den ogrenade strömmens wattkomponent

$$I_r = I_1 \cdot \cos\varphi_1 + I_2 \cdot \cos\varphi_2$$

$$I_r = 6{,}5 \cdot \frac{32}{40} + 10 \cdot \frac{10}{26} = 5{,}2 + 3{,}8 = 9{,}0$$

Den ogrenade strömmens wattlösa komponent

$$I_q = I_1 \cdot \sin\varphi_1 + I_2 \cdot \sin\varphi_2$$

$$I_q = 6{,}5 \cdot \frac{24}{40} + 10 \cdot \frac{24}{26} = 3{,}9 + 9{,}2 = 13{,}1$$

Den ogrenade strömmen blir då

$$I = \sqrt{I_r^2 + I_q^2}$$

$$I = \sqrt{9{,}0^2 + 13{,}1^2} = 15{,}9 \text{ ampère}$$

Totala effekten

$$P = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$$

$$P = 6{,}5^2 \cdot 32 + 10^2 \cdot 10 = 1\,350 + 1\,000 = 2\,350 \text{ watt}$$

Effektfaktorn

$$\cos \varphi = \frac{I_r}{I} = \frac{9{,}0}{15{,}9} = 0{,}57$$

Svar:
Strömstyrkan 15,9 ampère
Grenströmmarna 6,5 och 10,0 ampère
Effekten 2 350 watt
Effektfaktorn 0,57.

Spänningsresonans.

I en strömkrets, där självinduktion och kapacitet finnes, kan det förhållandet uppstå, att induktions- och kapacitetsverkningarna upphäva varandra. Detta inträffar, då

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Denna företeelse kallas *elektrisk resonans.*

Då ωL ökar och $\frac{1}{\omega C}$ avtar med stigande frekvens, finnes för strömkretsen ett *kritiskt periodtal,* då elektrisk resonans uppstår. Resonans uppstår då

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L\,C}} \text{ eller } f = \frac{1}{2\,\pi\sqrt{L\,C}}$$

När induktions- och kapacitetsverkningarna upphäva varandra vid seriekoppling, bli deras reaktiva spänningar lika stora, alltså

$$E_s = E_c$$

Denna art av resonans kallas *spänningsresonans*. Strömkretsen förhåller sig då, som om den bara innehöll resistans, varvid klämspänningen blir lika med resistansspänningsfallet enligt fig. 31.

$$E = E_r$$

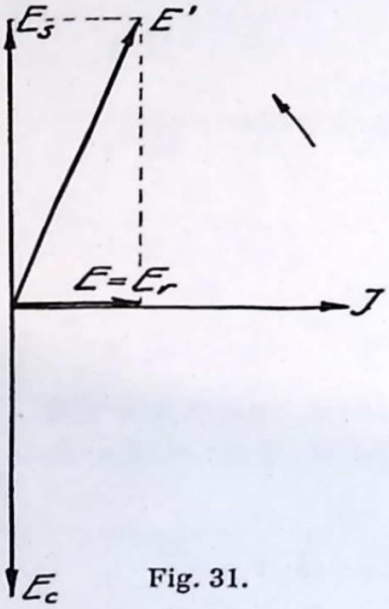


Fig. 31.

Vid konstant klämspänning erhåller strömstyrkan sitt största värde just vid resonans, vilket har till följd, att de reaktiva spänningarna $E_s = I\omega L$ och $E_c = \frac{I}{\omega C}$ även innehåller sina högsta värden. Dessa spänningar blir många gånger högre än klämspänningen E.

Vid högspänningsanläggningar medför spänningsresonans överspänningar, som kan orsaka genomomslag både i maskiner och apparater liksom uti kabelledningar.

Exempel. En strömkrets innehåller resistansen $R = 1{,}0$ ohm, induktivitet $L = 0{,}1\ H$ och kapacitet $C = 40\ \mu F$ i serie. Driftsspänningen $E = 100$ volt. Bestäm strömstyrkan för nedan angivna vinkelhastigheter.

Resonans inträder för

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}1 \cdot 0{,}000040}} = 500\ rad/s.$$

motsvarande en frekvens

$$f = \frac{500}{2 \cdot 3{,}14} = 79{,}6 = \sim 80\ p/s$$

Strömstyrkeberäkningarna för olika frekvenser (vinkelhastigheter) är sammanförda uti nedanstående tabell.

$\omega =$	400	450	500	550	600	rad/s.
$\omega L =$	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	ohm
$\frac{l}{\omega C} =$	62,5	55,6	50,0	45.4	41,6	ohm
$\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{l}{\omega C}\right)^2} =$	22,5	10,7	1,0	9,7	18,3	ohm.
$I =$	4,4	9,4	100,0	10,3	5,5	ampère

Utav den grafiska framställningen fig. 32 framgår, att strömstyrkan endast i närheten av resonans erhåller något avsevärt större värde, beroende på att skillnaden mellan den induktiva och kapacitiva reaktansen annars är väsentligt större än resistansen.

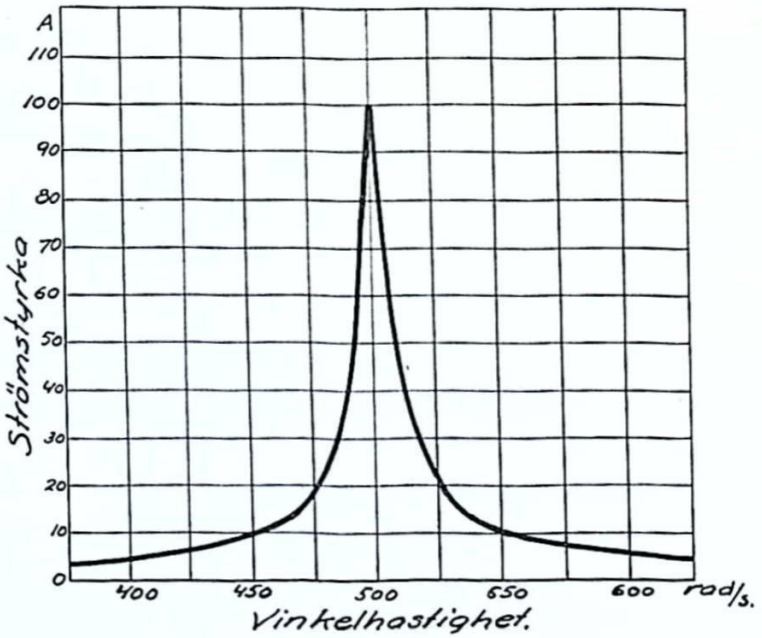


Fig. 32.

Hos drosselspolen förefinnes en spänning vid resonans.

$$E_s = I \cdot \omega L$$

$$E_s = 100 \cdot 50 = 5\,000$$

$$E_s = 5\,000 \text{ } volt.$$

Lika stor spänning uppträder hos kondensatorn, vilken alltså utsättes för en mångfaldigt högre spänning än driftsspänningen, varför man riskerar att det blir genomslag.

Parallellkoppling av drossel och kondensator. Strömresonans.

Totalströmmen I, fig. 33, som kan ligga mer eller mindre i fas med spänningen E, uppdelas uti grenströmmarna I_1 och I_2 med olika fasförskjutningar. Fasförskjutningen mellan I och E kan vara induktiv eller kapacitiv.

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}; \quad I_2 = \frac{1}{\omega C}$$

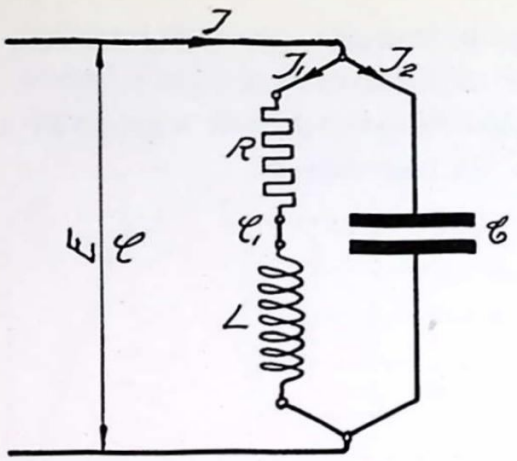


Fig. 33.

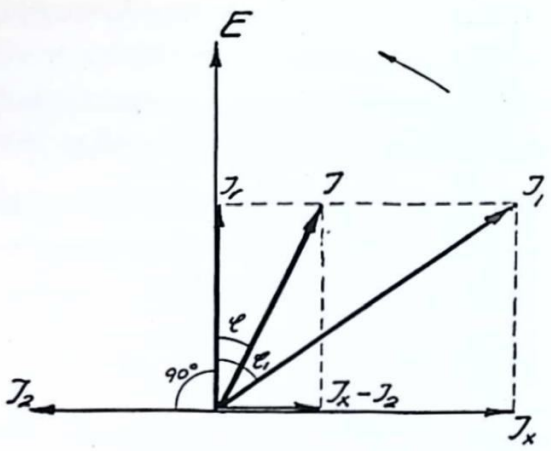


Fig. 34.

Strömmen I_1 kan upplösas uti en wattkomponent och en wattlös sådan enl. fig. 34, av vilka den sistnämnda helt eller delvis upphäves av kapacitetsströmmen I_2.

Man kan beräkna totalströmmen I ur formeln

$$I = E \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2 + \frac{R^2}{(\omega L)^4}} \text{ ampère .... Formel 34 a.}$$

Det skenbara motståndet

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2 + \frac{R^2}{(\omega L)^4}}} \text{ ohm ..... Formel 34 b.}$$

Det skenbara motståndet blir större ju mindre nämnaren är. Det erhåller vid resonans, då $\omega C = \frac{1}{\omega L}$, sitt största värde

$$Z = \frac{L^2\omega^2}{R}$$

Strömkretsen framsläpper vid resonans blott en ringa ström och kallas därför även en *spärrkrets*.

Under det att vid seriekoppling av drossel och kondensator uppträder *spänningsresonans*, i vilken de induktiva och kapacitiva spänningarna upphäver varandra, så uppstår vid parallellkoppling *strömresonans*, där självinduktionsströmmen upphäves utav kapacitetsströmmen.

Genom att koppla kondensatorer parallellt med förbrukningsapparater (induktionsmotorer bl. a.) kan således induktionsverkningarna i dessa helt eller delvis kompenseras. Samma verkan som kondensatorer har även övermagnetiserade synkronmotorer, i det de upptar förutilande wattlös ström (laddningsström). I praktiken användes även övermagnetiserade synkronmotorer till förbättring av anläggningens effektfaktor.

Exempel. En strömförgrening innehåller i den ena grenen resistans $= 1{,}0\ \Omega$ och induktivitet $L = 0{,}1$ H, i den andra grenen kapacitet $C = 40\ \mu$F. Driftsspänningen 100 V. Bestäm strömstyrkan som funktion av frekvensen.

Strömstyrkeberäkningen för olika vinkelhastigheter är sammanförda i nedanstående tabell:

$\omega =$	400	450	500	550	600	rad/s.
$\frac{1}{\omega L} =$	0,0250	0,0222	0,0200	0,0182	0,0167	—
$\omega C =$	0,0160	0,0180	0,0200	0,0220	0,0240	—
$\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) =$	0,0090	0,0042	0,0000	0,0038	0,0073	—
$\frac{R}{(\omega L)^2} =$	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	—
$\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2 + \frac{R^2}{(\omega L)^4}}} =$	111	236	2 500	262	137	ohm
$I =$	0,90	0,42	0,04	0,38	0,73	ampère

Fig. 35 visar den grafiska framställningen av förloppen vid strömresonans.

Övningsuppgift 4.

En kondensator med 20 ohms reaktans är seriekopplad med en spole, vars resistans är 7 ohm och reaktans 24 ohm, fig. 36. Genom kretsen flyter en växelström vars ögonblicksvärden under en halv period äro angivna i nedanstående tabell. Beräkna motsvarande ögonblicksvärden på resistansspänningen och på induktiva och kapacitiva reaktansspänningen samt på spänningen över spolen och den totala spänningen i kretsen.

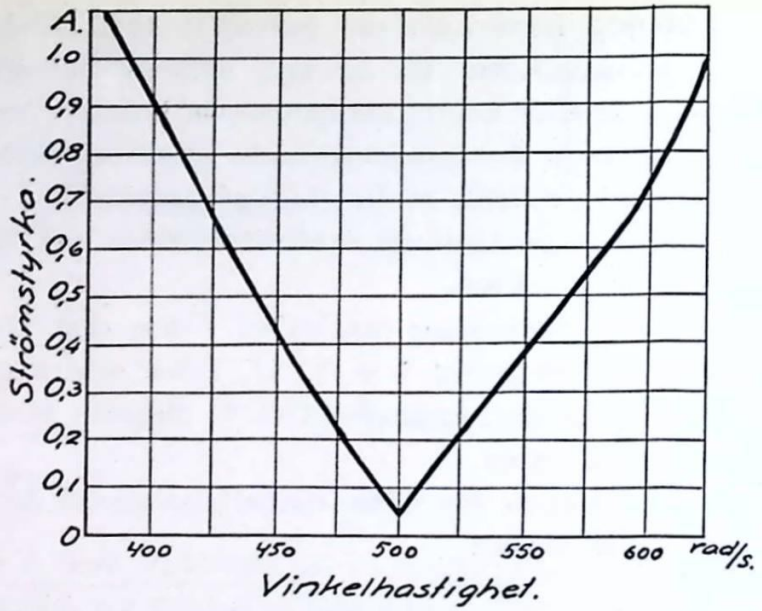


Fig. 35.

Märk: Den spänning som skall övervinna självinduktionen måste vara 90° före strömmen och den som skall övervinna kapacitetsspänningen 90° efter strömmen.

Fas-läge	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
i	0,0	2,6	5,0	7,1	8,7	9,7	10,0	9,7	8,7	7,1	5,0	2,6	0,0	A
e_r	0						+70						0	V
e_s	+240						0						—240	V
e'	+240						+70						—240	V
e_c	—200						0						+200	V
e	+ 40						+70						— 40	V

$E_{ro} = I_o \cdot R \qquad E_{so} = I_o \cdot X_s$

$E_{ro} = 10{,}0 \cdot 7 = 70$ volt. $\qquad E_{so} = 10{,}0 \cdot 24 = 240$ volt.

$E_{co} = I_o \cdot X_c$

$E_{co} = 10{,}0 \cdot 20 = 200$ volt

Upprita på rutat papper kurvorna för en hel period för i, e_r, e_s, e', e_c och e. Skala: 1 cm—20°; 1 cm—2 A; 1 cm—20 V.

Konstruera vektordiagram med växelströmsstorheternas effektivvärden då strömmen är riktfas med tillämpning av samma skala som för vågdiagrammet.

Uppgiften skall tydligt visa att de spänningar (E' och E_c), som uppstår i kretsen är betydligt högre än den påtryckta spänningen (E). Denna kan även beräknas med hjälp av formeln

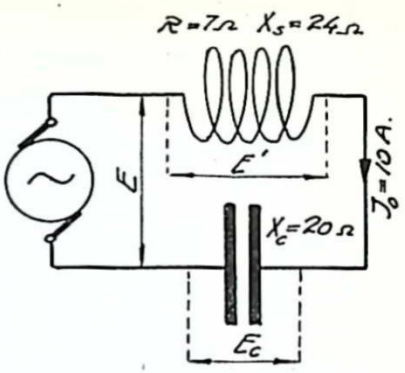


Fig. 36.

$$E = I \cdot \sqrt{R^2+(X_s-X_c)^2}$$

$I_0 = 10$ amp. och $I = 10 \cdot 0{,}707 = 7{,}07$ amp.

$$E = 7{,}07 \cdot \sqrt{7^2+(24-20)^2} = 7{,}07 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{65} = 57 \text{ volt}$$

Fasförskjutningen mellan E och I

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{7}{\sqrt{65}} = 0{,}87 \qquad \varphi = 29{,}5°$$

Emellan E_s och I är fasförskjutningen

$$\cos \varphi_s = \frac{R}{Z_s} = \frac{7}{\sqrt{17^2+24^2}} = \frac{7}{25} = 0{,}28 \qquad \varphi_s = 73{,}7°$$

Övningsuppgift 5.

En spole, vars resistans är 7 ohm och reaktans 24 ohm, är parallellkopplad med en kondensator vars reaktans är 30 ohm (fig. 37). Dessa äro inkopplade på en växelspänning med maximivärdet 250 volt. Beräkna ögonblicksvärdena för de i nedanstående tabell upptagna strömmarna för en halv period.

Ni har nog märkt att det är samma spole som ingår i övningsuppgift 4. Den maximispänning, som spolen erhöll i denna uppgift är just 250 volt varför samma värden på e och i_s erhålles. Strömmen genom kondensatorn skall gå 90° före spänningen.

Fasläge	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	190	—
e	+240						+70						—240	V
i_s	0,0						10,0						0,0	A
i_c	2,3						—8,0						—2,3	A
i	2,3						2,0						—2,3	A

$$i_c = \frac{70}{30} = 2{,}3 \text{ ampère (vid fasläget } 0°)$$

$$i_c = \frac{e}{X_c} \qquad i_c = \frac{-240}{30} = -8{,}0 \text{ ampère (vid fasläget } 90°)$$

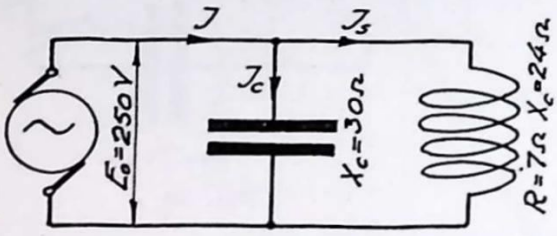


Fig. 37.

Upprita på rutat papper kurvorna för e, i_s, i_c och i för en hel period. Tillämpa samma skala som i föreg. uppgift. Konstruera vektordiagram för strömmarnas effektivvärden med spänningen som riktfas.

Resultatet av denna uppgift visar att grenströmmarna (I_s och I_c) kan bli avsevärt större än den ogrenade strömmen (I). Kondensatorströmmen motverkar till stor del strömmen genom spolen varigenom fasförskjutningen mellan E och I blir förminskad. Detta är alltså principen för faskompensering.

Beräkningen av strömmen I kan utföras på följande sätt.

$$I_s = 7{,}07 \text{ amp.} \quad \cos\varphi_s = 0{,}28 \quad \sin\varphi_s = \sqrt{1{,}0 - 0{,}28^2} = 0{,}96$$

$$I_s \cdot \cos\varphi_s = 7{,}07 \cdot 0{,}28 = 1{,}98 \quad I_{co} = \frac{250}{30} = 8{,}3 \text{ ampere}$$

$$I_s \cdot \sin\varphi_s = 7{,}07 \cdot 0{,}96 = 6{,}78 \quad I_c = 8{,}3 \cdot 0{,}707 = 5{,}88 \text{ ampere}$$

$$I_s \cdot \sin\varphi_s - I_c = 6{,}78 - 5{,}88 = 0{,}90$$

$$I = \sqrt{1{,}98^2 + 0{,}90^2} = \sqrt{4{,}73} = 2{,}18 \quad I = 2{,}18 \textit{ ampere}$$

$$\cos\varphi = \frac{I_s \cdot \cos\varphi_s}{I} = \frac{1{,}98}{2{,}18} = 0{,}91 \quad \varphi = 24{,}5°$$

Växelströmmens effekt.

Växelströmmens effekt erhålles för varje ögonblick av produkten av de momentanvärden på strömstyrka och spänning, som finnes vid varje tidsmoment. Följaktligen kommer växelströmseffekten i styrka och oftast även i riktning att förändra sig regelbundet, periodvis. Emellertid är det medelvärdet av de momentana effekterna, som har praktisk betydelse. Ett sådant medelvärde kan beräknas på matematisk väg eller med hjälp av en serie regelbundna avläs-

ningar under t. ex. en halvperiod. En sådan serie avläsningar har vi i tabellen på sid. 23 för en induktiv strömkrets.

I nedanstående tabell är värdena på momentaneffekten beräknade, dels med användande av formeln 13 a

$$p = e \cdot i$$

och dels medelst formeln 13 b

$$p = i^2 \cdot R$$

Avläsning	Strömstyrka i amp.	Spänning e volt	Momentaneffekt $i^2 \cdot R$ watt	Momentaneffekt $e \cdot i$ watt
1	0,00	84	0	0
2	0,26	96	3	25
3	0,51	105	13	53
4	0,75	111	28	83
5	0,96	112	46	107
6	1,15	111	66	128
7	1,30	107	85	139
8	1,41	100	99	141
9	1,48	89	110	132
10	1,50	75	113	112
11	1,48	59	110	87
12	1,41	42	99	59
13	1,30	23	85	30
14	1,15	3	66	3
15	0,96	— 16	46	— 15
16	0,75	— 35	28	— 26
17	0,51	— 53	13	— 27
18	0,26	— 70	3	— 18
		Summa	1 013	+1 099
				— 86
				Rest 1 013

$$\text{Medeleffekten } P = \frac{1\,013}{18} = 56$$

I fig. 38 är kurvorna, som representerar momentaneffekterna, inritade. Dessa blir, som synes även av sinusform. Kurvan representerande $i^2 \cdot R$, ligger helt och hållet ovan nollinjen, vilket betyder, att den i motståndet R utvecklade effekten helt upptages av mot-

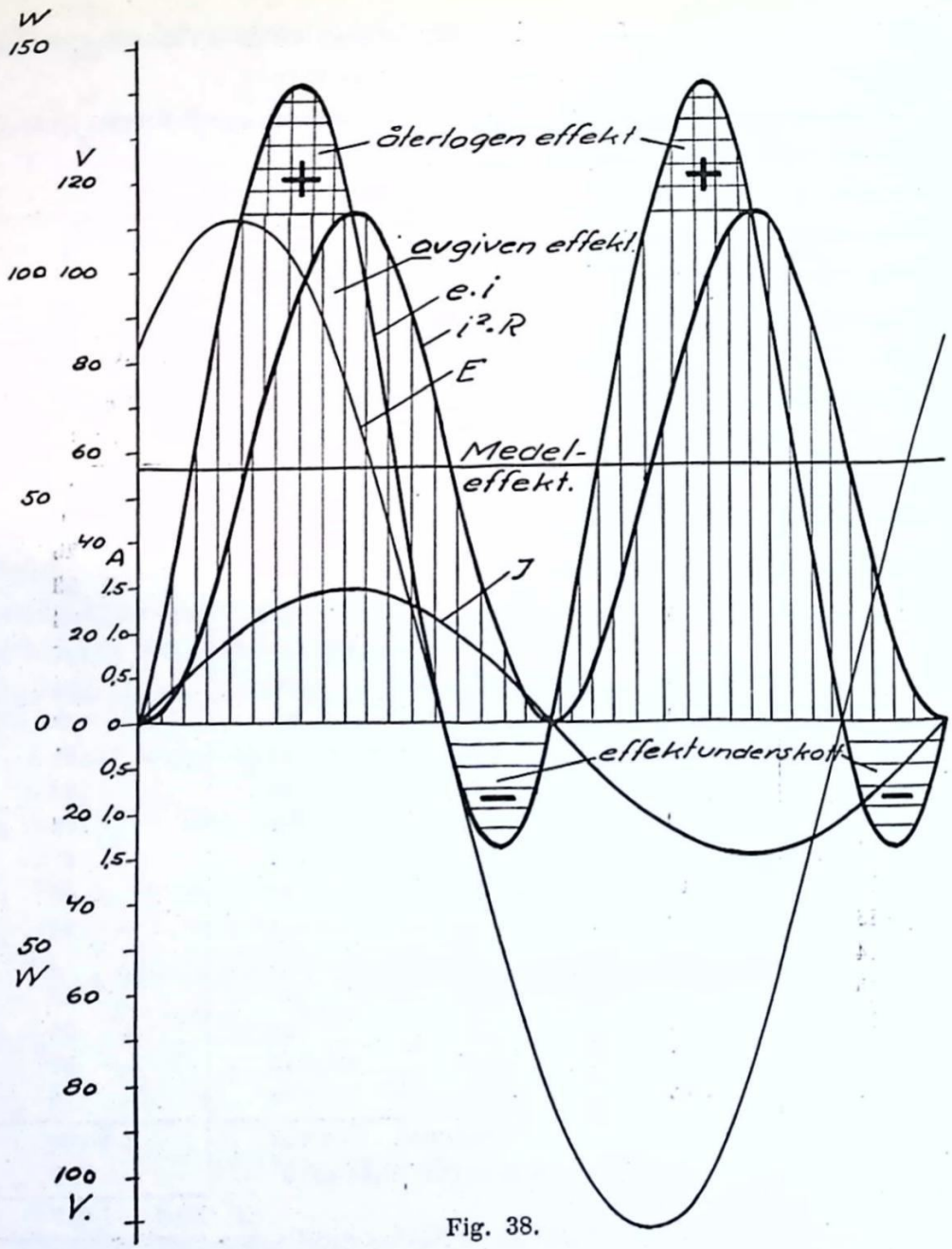


Fig. 38.

ståndet och omsättes till värme. Däremot delas kurvan, som erhålles av $e \cdot i$, i tvenne delar av nollinjen. Den övre positiva delen motsvaras av den effekt, som avlämnas till motståndet, men en del av denna effekt, lika med den under nollinjen befintliga negativa delen, återtages, varför den effekt, som kommer motståndet till godo, blir skillnaden mellan den positiva och negativa delen.

Effekten vid växelström kan beräknas på samma sätt som för likström, om ni tillämpar formeln

$$P = I^2 \cdot R \text{ watt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 35 a.}$$

Däremot ger inte, om strömkretsen är av induktiv art, produkten av strömstyrka och spänning den verkliga effekten i *watt*, utan en *skenbar effekt* P_s, som i stället angives i *voltampère* (VA).

$$P_s = I \cdot E \text{ voltampère} \quad \ldots\ldots \text{ Formel 35 b.}$$

För den strömkrets, som ligger till grund för kurvorna i fig. 38 ha vi värdena

$I = 1{,}06$ amp.
$E = 79$ volt
$R = 50$ ohm
$\cos \varphi = 0{,}67$

Den verkliga effekten är

$$P = 1{,}06^2 \cdot 50 = 56 \text{ watt}$$

Motsvarande skenbar effekt är

$$P_s = I \cdot E = 1{,}06 \cdot 79 = 84 \text{ voltampère}$$

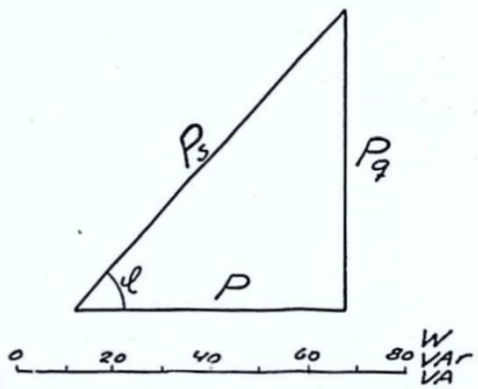


Fig. 39.

För att erhålla den verkliga effekten brukar man multiplicera den skenbara effekten med en s. k. *effektfaktor*, som i detta fall blir

$$\text{Effektfaktorn} = \frac{P}{P_s} = \frac{56}{84} = 0{,}67$$

Effektfaktorn blir, som synes detsamma som det på sid. 25 beräknade värdet av $\cos \varphi$. Den verkliga eller, som man också säger, *aktiva* effekten vid växelström kan alltså beräknas ur formeln

$$P = I \cdot E \cdot \cos \varphi \text{ watt} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 35 c}$$

Av fig. 16 framgår, att spänningarna E, E_r och E_s bildar en rätvinklig triangel. Ni erhåller av denna, att

$$E_r = E \cdot \cos \varphi$$

Multipliceras på båda sidor med strömstyrkan I, så erhålles

$$I \cdot E_r = I \cdot E \cos \varphi$$

Den aktiva effekten är alltså även produkten av strömstyrkan och ohmska spänningsfallet.

Av fig. 16 erhålles dessutom

$$E_s = E \cdot \sin \varphi$$

Efter multiplikation med strömstyrkan I erhålles

$$I \cdot E_s = I \cdot E \sin \varphi$$

Även här erhålles en sorts effekt, som benämnes *reaktiv* eller *wattlös*. Den reaktiva effekten (P_q) uppmätes i enheten *VAr* eller *kVAr* (utläses "var" eller "kilovar") och benämnes *reaktiva voltampere* resp. *reaktiva kilovoltampere*.

$$P_q = I \cdot E \cdot \sin \varphi \qquad VAr \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 35 d.}$$

Den reaktiva effekten erfordras för att framdriva det magnetiska kraftlinjeflödet, vilket alltså inte kräver någon verklig effekt.

Aktiv och reaktiv energi.

Aktiva resp. reaktiva effekten ger upphov till en motsvarande aktiv och reaktiv energimängd.

Den aktiva energiförbrukningen registreras i kilowattimmar (kWh) och den reaktiva energiförbrukningen i "vartimmar" (VArh) eller "kilovartimmar" (kVArh). Liksom vid beräkning av den aktiva energiförbrukningen genom formeln 14

$$A = P \cdot t$$

så beräknas den reaktiva energien av *reaktiva effekten gånger tiden* eller

$A_q = P_q \cdot t$ vartimmar ... Formel 36.

En sammanställning av de olika effektstorheterna ger oss en rätvinklig triangel (fig. 39), likformig med spänningstriangeln i fig. 16. Den skenbara effekten blir hypotenusan i triangeln och av denna erhålles aktiva effekten $P = P_s \cdot \cos \varphi$ och reaktiva effekten

$$P_q = P_s \cdot \sin \varphi$$

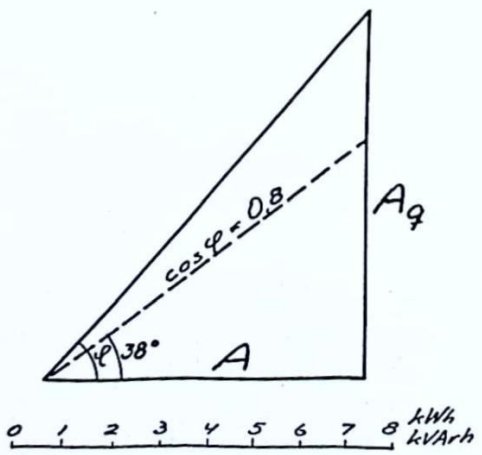


Fig. 40.

Givetvis kan en motsvarande triangel bildas av energistorheterna (fig. 40). Hypotenusan skulle här motsvara en skenbar energiförbrukning — angiven i voltampèretimmar — men en sådan enhet har inte fått någon praktisk användning. Ur fig. 40 kan man lätt få fram huru många VArh, som inbesparas, om man på något sätt kan förbättra effektfaktorn, t. ex. till värdet cos $\varphi = 0{,}8$.

Den reaktiva energiförbrukningen är en företeelse, som är begränsad till den elektriska delen av anläggningen.

Till skillnad från den aktiva energiförbrukningen belastar den reaktiva energiförbrukningen inte turbiner, ångmaskiner etc. hos kraftstationen. Emellertid erfordras en motsvarande högre strömstyrka för att vid en viss spänning kunna överföra en viss aktiv effekt, då effektfaktorn är låg.

Om 10 amp. erfordras, då cos φ är 0,8 kräves 20 amp., då cos φ är 0,4, om samma aktiva effekt skall överföras. Strömstyrkans ökning orsakar en motsvarande ökning av strömvärmeförlusterna hos generatorer, transformatorer, ledningar etc. För kraftleverantören är därför belastning med låg effektfaktor ofördelaktig, eftersom den reaktiva energien, bidrager till att fullbelasta den *elektriska* delen av anläggningen, under det att det endast är den aktiva energiförbrukningen, som ger inkomsterna. Numera söker kraftleverantören även för förbrukade kVArh erhålla en skälig inkomst.

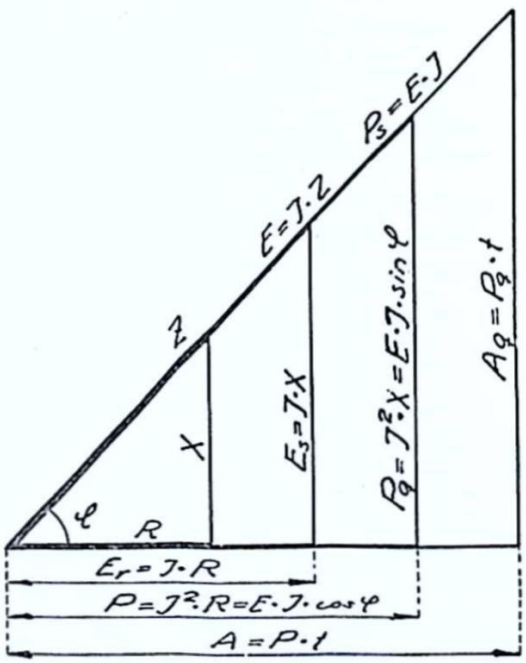


Fig. 41.

Ni har nog märkt att vissa växelströmsstorheter bildar rätvinkliga trianglar i vilka fasförskjutningsvinkeln φ ingår. Då trianglarna är likformiga kan man sammanföra dem på det sätt som visas i fig. 41.

Uppgifter.

1. Beräkna de uppgifter, som felas i nedanstående tabell.

	1	2	3	4	5	6	7	
Frekvens	15	$16\,^{2}/_{3}$		50	60		50	p/s
Poltal	2		6	10		14	18	st
Hastighet		250	500		600	420		r/m

2. Huru lång tid kräver ett förlopp av en period, då frekvensen är $16\,^{3}/_{3}$ p/s?
3. En växelströmsgenerator, som gör 10 varv på 3 sek. inducerar en 50-periodig växelström. Hur många poler har generatorn?
4. Enligt uppgift gör turbinerna i Vargöns kraftstation 46,9 varv pr min. Hur många poler har den på turbinaxeln direktkopplade generatorn då frekvensen är 50 p/s?
5. Vilken vinkelhastighet motsvarar frekvensen a) 40 p/s b) $16\,^{2}/_{3}$ p/s?
6. Huru hög är frekvensen då vinkelhastigheten är a) 157 b) 250 rad/s?
7. Huru lång tid erfordras för vektorn att vrida sig 108° då vinkelhastigheten är 100 rad/s?
8. Huru stor vinkel har strömvektorn vridits på 0,0011 sek. då vinkelhastigheten är 300 rad/s?
9. En sinusformad växelström har maximivärdet a) 17,4 amp. b) 26,2 amp. Huru stort är effektivvärdet?
10. Huru högt är maximivärdet, då effektivvärdet är a) 380 volt b) 500 volt?

11. I ett tvåpoligt magnetsystem roterar tvenne mot varandra vinkelräta spolar. Huru hög spänning erhålles, när spolarna hopkopplas, då den spänning, som erhålles ur vardera spolen, är 160 volt?

12 a. Två sinusformade spänningar E_1 och E_2 hava lika höga maximivärden. För den ena är ögonblicksvärdena för en 1/4-period följande

fasläge 0 15 30 45 60 75 90 grader
spänning 0 78 150 212 260 290 300 volt

a) Beräkna och upprita den resulterande spänningens E ögonblicksvärden för en 1/2-period då spänningen E_2 är förskjuten 60° före E_1.

b) Beräkna spänningarnas effektivvärden. Upprita deras vektordiagram.

12 b. Utför samma beräkningar fastän med spänningarna E_1 och E_2 motverkande varandra (= 120° fasförskjutning).

13. Beräkna och insätt felande uppgifter i nedanstående tabell.

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Z	41			12,5	17				ohm
X		60					21	22,0	ohm
R	9					6,0		2,1	ohm
I	5		3		12				amp.
E				200		218	232	221	volt
E_s		240	240		180	182			volt
E_r		44	117				160		volt
Cos φ				0,24					—

14. Genom en spole med resistansen 10 ohm går en växelström på 7,5 amp. Spolen är ansluten på 50 p/s växelström med 195 volts spänning.

Beräkna:

a) Självinduktions-emk.

b) Effektfaktor.

c) Spolens induktivitet.

15 a. I en strömkrets är resistansen 6 ohm, reaktansen 4,5 ohm, spänningen 180 volt och frekvensen 25 p/s.
Beräkna:
a) Strömstyrkan.
b) Självinduktions-emk.
c) Effektfaktorn.

15 b. Utför samma beräkningar, som i föregående exempel, då frekvensen är 50 p/s.

16. I en strömkrets är ohmska motståndet 15 ohm och självinduktions-koefficienten 0,12 henry. Huru stor är impedansen, då periodtalet är a) 25 p/s b) 50 p/s?

17. En magnetspole med ohmska motståndet 60 ohm och induktiviteten 0,6 henry är ansluten på 220 volt växelström med frekvensen 50 p/s.
Beräkna:
a) Impedansen.
b) Strömstyrkan.
c) Effektfaktorn.

18 a. En spole utan järnkärna anslutes på 120 volt likström och kräver då 15 amp. Då den inkopplas på 50 p/s växelström med samma spänning, blir strömstyrkan endast 4,5 amp. Beräkna resistans, reaktans och impedans.

18 b. Huru hög strömstyrka kommer spolen i ex. 18 a att upptaga, om den i stället inkopplas på 25 p/s växelström med spänningen 120 volt?

18 c. Huru stor är induktiviteten hos spolen i ex. 18 a?

19. Spänningsfallet i en spole är 80 volt, då 3,2 amp. likström passerar igenom spolen. En lika kraftig växelström orsakar ett spänningsfall pä 280 volt. Beräkna resistans, reaktans och impedans.

20. Vid vilken frekvens blir effektfaktorn 0,8 för en järnfri spole med resistansen 5,6 ohm och induktiviteten 0,01 henry?

21. En spole med 6 ohms resistans och induktiviteten 0,0255 henry anslutes till en spänning på 100 volt. Vid vilket periodtal kommer strömmen genom spolen att bliva 10 amp., och huru stor blir effektfaktorn och fasförskjutningsvinkeln?

22. Uppgifterna i nedanstående tabell gälla för en enkel växelströmskrets. Komplettera tabellen!

	1	2	3	4	5	6	7	8
E	220 V	120 V	125 V		225 V	130 V	1650 V	
I	1,4 A	15,6 A		0,8 A	3,6 A	4,8 A		40 mA
cos φ	0,65		0,52	0,35	0,72		0,90	0,75
P		1,4 kW	182 W	30,8 W		624 W	18,0 kW	0,15 kW

23. Beräkna och insätt de uppgifter som saknas i nedanstående tabell.

	1	2	3	4	5	6	7	8	
E	100			180		125			volt
I	4,0	3,0			1,2		20		amp.
R		20	24				15	20	ohm
cos φ	0,60	0,50	0,40		0,10				—
P			150	90		175		500	W
P_s				270	252				VA
P_q						600	6 000	500	VAr

24. Huru stor impedans har en spole, som vid en klämspänning av 110 volt upptar en effekt av 1 100 watt med en effektfaktor av 0,8?

25. Huru stor är effektfaktorn hos en spole, då den vid en klämspänning av 100 volt förbrukar 1 000 watt och spolen har resistansen av 6,4 ohm?

26. En spole med resistansen 20 ohm och induktiviteten 0,05 henry inkopplas på ett växelströmsnät med spänningen 220 volt och frekvensen 50 p/s. Beräkna skenbara, aktiva och reaktiva effekten samt effektfaktorn.

27. En enfasmotor för 220 volt kräver i tomgång 35 watt, då strömstyrkan är 0,55 ampère. Vid full belastning är effekten 310 watt och strömstyrkan 2,10 ampère. Beräkna effektfaktorn vid tomgång och full belastning.

28. Ett ledningsnät har en belysningsbelastning på 2,4 kW och en motorbelastning på 4,5 kVA med en effektfaktor av 0,6. Beräkna den aktiva, reaktiva och skenbara effekt, varmed nätet är belastat.

29. En enfasmotor kräver från nätet en effekt på 3,0 kW. Då effektfaktorn hos motorn vid denna belastning endast var 0,3 lät man byta ut motorn mot en lämpligare, som med samma belastning hade effektfaktorn 0,8. Huru många reaktiva kilovoltampère inbesparades härigenom? Huru stor är strömstyrkan hos resp. motorer, då spänningen är 225 volt?

30. En växelströmsmotor upptar vid 230 volt 10,1 ampere, då $\cos \varphi$ är 0,78 och verkningsgraden 0,82. Huru många hästkrafter avger motorn?

31. En dubbelledare har resistansen 0,42 ohm. Huru stort spänningsfall uppstår av en belastning på 3,6 kW vid 225 volt, om i ena fallet $\cos \varphi = 1$ och i ett annat fall $\cos \varphi = 0{,}6$?

32. En motoranläggning har under 2 700 timmar en medelbelastning av 350 kW vid en effektfaktor av 0,6. Energien betalas med 7 öre pr kWh och 0,5 öre pr kVArh. Huru mycket skall betalas i energiavgifter?

33. En växelströmsgenerator är fullbelastad då den uttagna effekten är 250 kVA. Huru många fler kilowattimmar kan generatorn leverera pr år (6 000 timmar) om $\cos \varphi = 0{,}9$ mot om $\cos \varphi = 0{,}5$?

34. En abonnent förbrukade under ett kvartal 42 000 kWh och 56 000 kVArh. Huru många kVArh inbesparas, om han förbättrar belastningens effektfaktor till 0,8?

35. En abonnent, som äger rätt att uttaga reaktiv energi till ett belopp motsvarande effektfaktorn 0,8, uttager blott så mycket som motsvarar effektfaktorn 0,92. Han erhåller därför som

rabatt 2 öre för varje inom abonnemanggränsen ej uttagna kVArh. Huru mycket skall denna abonnent betala efter 8 öre pr kWh, då han uttagit 11 500 kWh?

36. En generator är fullbelastad då strömstyrkan är 120 amp. Huru mycket kan antalet producerade kWh hos generatorn ökas vid full belastning av generatorn under 2 500 timmar vid $\cos \varphi = 1{,}0$, mot när $\cos \varphi$ är 0,4? Spänningen 600 volt.

37. En drosselspole med resistansen 4,4 ohm och självinduktionskoefficienten 0,2 henry är seriekopplad med en kondensator med kapaciteten 45 mikrofarad och inkopplad på 220 volt. a) Vid vilken frekvens uppstår resonans? b) Huru stor blir strömstyrkan? c) Vilken spänning erhålles på kondensatorn (resp. drosselspolen)?

Trefassystem

Stjärn- och triangelkoppling.

Inom elektrotekniken har *trefassystemet* fått stor betydelse. Ett sådant system erhålles, om ankaret i fig. 2 förses med tre spolar, vilka sinsemellan är 120° förskjutna. (Detta gäller vid ett tvåpoligt fält, vilket är förhållandet i fig. 2. Vid ett fyrpoligt fält blir vinkeln mellan spolarna 60°, men de tre växelströmmarna blir i alla fall förskjutna 1/3 period.) Fig. 42 visar ett ankare med tre enkla spolar eller fashärvor i ett tvåpoligt fält. De spänningar, som induceras i dessa tre härvor visas i fig. 43. Dessa är, som synes, även förskjutna 120° eller 1/3 period. De tre fashärvorna förenas med varandra, så att man erhåller ett sammankopplat trefassystem. Denna sammankoppling kan utföras på två i princip olika sätt. För detta ändamål måste fashärvornas uttagsändar vara märkta med "b" (början) och "s" (slut) under förutsättning att härvorna är lindade åt samma håll. De sätt, på vilka de tre faserna kunna hopkopplas, är *stjärn-* eller Y-*koppling* och *triangel-* eller Δ-(delta)-*koppling*.

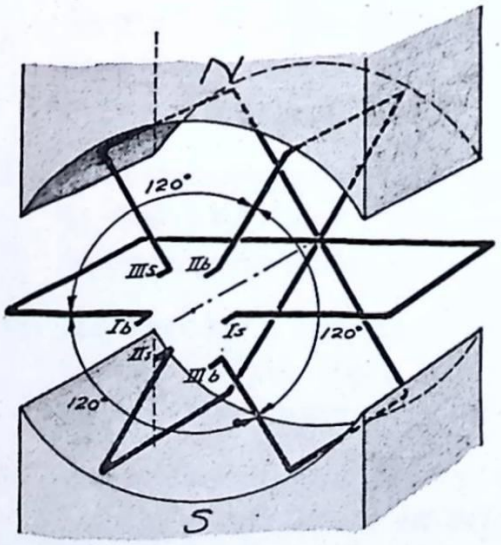


Fig. 42.

Fig. 44 visar stjärnkoppling av fashärvorna, där deras slutändar (b) är hopkopplade till en punkt (nollpunkten). Den utgående ledningen från denna punkt kallas *nolledning* och är i normala fall spänningslös, emedan den i regel är förbunden med jorden. De från fashärvornas fria ändar utgående ledningarna är spänningsförande och benämnas *fasledningar* (förk. *faser*).

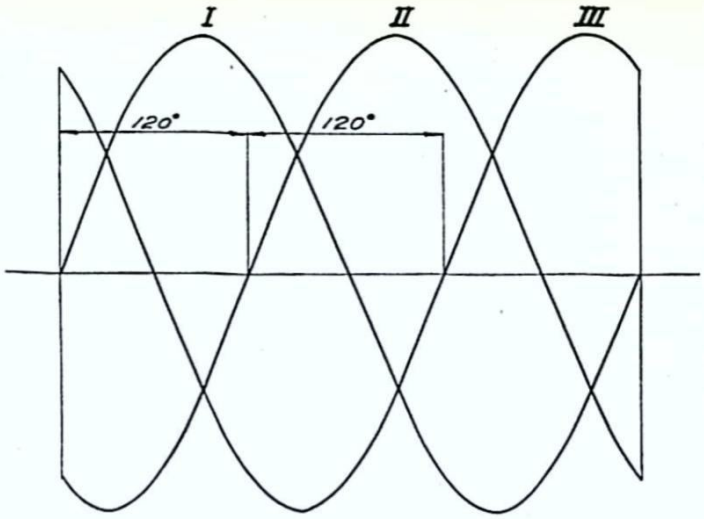


Fig. 43.

Spänningen mellan en fas och nolledningen kallas fasspänning (E_f) och mellan två faser *huvudspänning* (E). Fashärvorna kopplas mot varandra (s förenas med s), varför huvudspänning blir geometriska skillnaden mellan två fasspänningar (eller geometriska summan av $+ E_f$ och $- E_f$.) Fig. 45 visar, hur huvudspänningen kan erhållas av fasspänningarna och av figuren erhålles lätt, att huvudspänningen är

$$E = 1{,}73 \cdot E_f \text{ volt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Formel 37 a.}$$

De inom elektrotekniken vanligast förekommande fas- och huvudspänningarna är införda i nedanstående tabell.

Fasspänning	110 V	127 V	220 V
Huvudspänning	190 V	220 V	380 V

Av fig. 45 framgår, att huvudspänningen är fasförskjuten 30° efter fasspänningen.

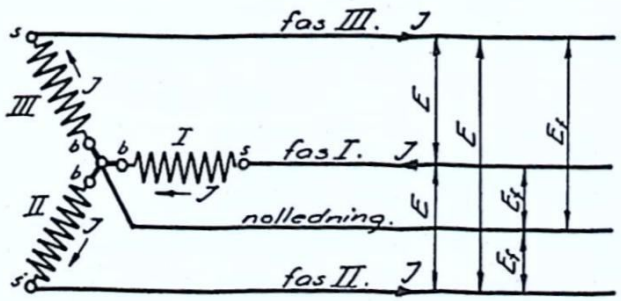


Fig. 44.

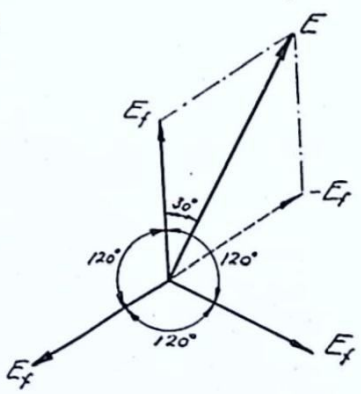


Fig. 45.

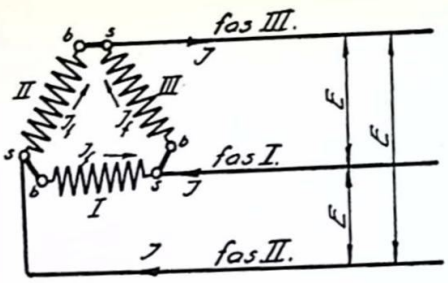


Fig. 46.

Vid *triangelkoppling* (fig. 46) förenas b i en fashärva med s i en annan fashärva. De tre fashärvorna bildar alltså en sluten krets. På grund av att den spänning, som erhålles från två av fashärvorna, är lika stor men motriktad spänningen i den tredje fashärvan, uppstår inga utjämningsströmmar mellan fashärvorna.

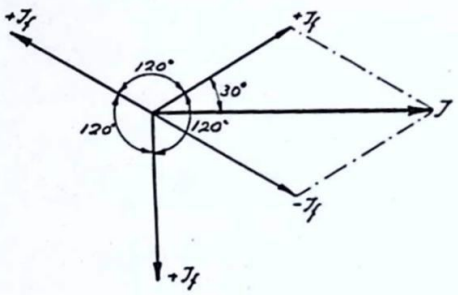


Fig. 47.

Spänningen mellan två faser blir vid triangelkoppling lika hög som spänningen i en fashärva. Däremot blir vid belastning den utgående linjeströmmen I 1,73 gånger större än strömmen I_f i fashärvorna. (Fig. 47.) Alltså:

$I = 1{,}73 \cdot I_f$ ampere.. Formel 37 b.

Exempel. De tre fasspänningarnas förlopp under en halv period angives i nedanstående tabell:

Fasläge	0	15	30	45	60	75	90
fas I e_f	0	3,9	7,5	10,6	13,0	14,5	15,0
fas II e_f	13,0	10,6	7,5	3,9	0	— 3,9	— 7.5
fas III e_f	—13,0	—14,5	—15,0	—14,5	—13,0	—10,6	— 7,5
Fasläge	105	120	135	150	165	180	grader
fas I e_f	14,5	13,0	10,6	7,5	3.9	0	volt
fas II e_f	—10,6	—13,0	—14,5	15,0	—14,5	—13,0	volt
fas III e_f	— 3,9	0	3,9	7,5	10,6	13,0	volt

Av värdena på fasspänningarna i de olika faserna ser ni att summan av ögonblicksvärdena i två av faserna blir lika stor men med ombytt tecken mot i tredje fasen dvs. summan av spänningarna i varje ögonblick är *noll*. Är spänningen i fas I 3,9 volt så är spänningen 10,6 resp. —14,5 volt i de båda andra faserna (+3,9+10,6 = 14,5 volt, i tredje fasen —14,5 volt). 14,5—14,5 = 0. Detta samband är en nödvändig förutsättning för att de tre faserna skola kunna triangelkopplas. Höll inte de olika spänningarna varandra i jämvikt så skulle strömmar cirkulera i faslindningarna utan att generatorn (el. transformatorn) hade någon belastning som motiverade dessa strömmar.

Kurvan för huvudspänningen vid stjärnkoppling erhålles då ögonblicksvärdena i fas I sammanställas med motsvarande värden i fas II varvid ni har att taga hänsyn till att den ena av fasspänningarna skall hava ombytt tecken. (Ni sammansätter E_f i fas I med $-E_f$ i fas II.) I nedanstående tabell är taget en del av förloppet (från 60° till 180°) av en period.

Fas I ..	e_f	13,0	14,5	15,0	14,5	13,0	10,6	7,5	3,9	0
Fas II ..	e_f	0	+ 3,9	+ 7,5	+10,6	+13,0	+14,5	+15,0	+14,5	+13,0
	e_h	13,0	18,4	22,5	25,1	26,0	25,1	22,5	18,4	13,0

Maximivärdet för huvudspänningen är 26,0 volt och för fasspänningen 15,0. Huvudspänningen är 26,0 : 15,0 = 1,73 gånger högre än fasspänningen.

Effekten vid trefassystem.

Effekten vid trefassystem är lika med summan av effekterna i de tre faserna. Är dessa *lika* belastade, så blir trefaseffekten tre gånger så stor som effekten i en fas.

Effekten i en fas är

$$P_f = E_f \,.\, I \,.\, \cos\varphi \text{ vid } Y\text{-koppling}$$
$$P_f = E \cdot I_f \cdot \cos\varphi \text{ vid } \Delta\text{-koppling}$$

och i alla tre faserna

$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot E_f \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ vid } Y\text{-koppling}$$
$$P = 3 \cdot P_f = 3 \cdot E \cdot I_f \cdot \cos\varphi \text{ vid } \Delta\text{-koppling}$$

Vid stjärnkoppling är huvudspänningen

$$E = 1{,}73 \cdot E_f$$

och vid triangelkoppling är linjeströmmen

$$I = 1{,}73 \cdot I_f$$

Trefaseffekten vid *lika* belastade faser blir om E_f resp. I_f ersättes av E och I sålunda

$$P = 1{,}73 \cdot E \,.\, I \cdot \cos\varphi \text{ watt} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formel 38.}$$

Denna formel gäller alltså för såväl stjärn- som triangelkoppling, då E betecknar spänningen mellan två faser och I strömstyrkan i ledningen.

Uppmätning av trefaseffekt.

När faserna är lika belastade, behöver man endast *en* wattmeter för uppmätning av trefaseffekten. Denna wattmeter uppmäter effekten i *en* fas, varför trefaseffekten blir tre gånger större.

Om man låter linjeströmmen passera genom wattmeterns strömspole, så måste spänningsspolen inkopplas på fasspänningen. I en del fall saknas nolledning, t. ex. vid triangelkoppling, varför en konstgjord nollpunkt måste anordnas genom hopkoppling av motstånd.

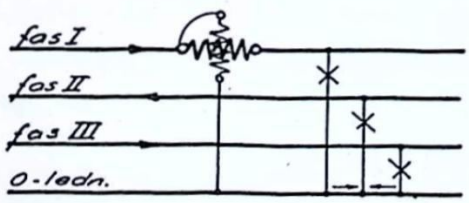


Fig. 48 a.

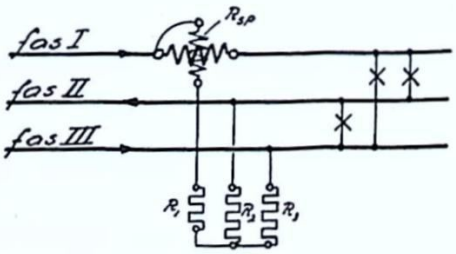


Fig. 48 b.

Fig. 48 a visar wattmeterns inkoppling, när nolledning finnes, och om denna saknas anordnar man, enl. fig. 48 b en konstgjord nollpunkt. Spänningsspolen är i serie med ett av nollpunktsmotstånden R_1, vilket tjänstgör som förkopplingsmotstånd.

Äro faserna olika belastade, så erfordras tre wattmetrar, kopplade enl. fig. 49. Finnes nolledning, så anslutes wattmetrarnas spänningsspolar mellan den egna fasen och nolledningen. Saknas noll-

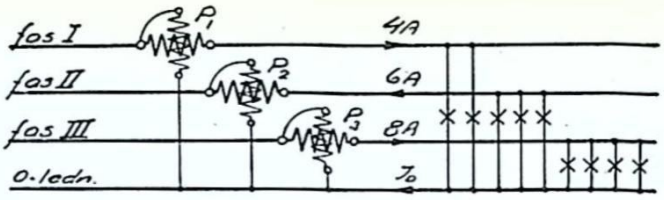


Fig. 49.

ledning, så bildar de sammankopplade spänningsspolarna, event. med deras förkopplingsmotstånd, en konstgjord nollpunkt. De i fasledningarna gående strömmarna äro helt oberoende av varandra, om belastningen är kopplad mellan fas- och nolledning. Strömstyrkan i nolledningen bestämmes enklast på grafisk väg. Om de i fig. 50 angivna strömstyrkorna tänkas motsvara induktionsfria belastningar, anslutna på fasspänningen, så bestämmes strömstyrkan i nolledningen på det i fig. 50 angivna sättet, som geometriska summan av strömmarna i de tre faserna.

Har trefassystemet ingen nolledning, så kan en av fasledningarna betraktas som återgångsledning till de båda andra fasledningarna (geometriska summan av linjeströmmarna måste i varje ögonblick vara lika med noll).

För bestämning av trefaseffekten erfordras i sådant fall endast två wattmetrar, kopplade enligt *tvåwattmetermetoden* (fig. 51). De båda wattmetrarnas spänningsspolar kopplas mellan sina respektive faser och den återstående fasen. Är wattmetrarnas utslag P_1 och P_2 watt så blir trefaseffekten

$$P = P_1 \overset{+}{(-)} P_2 \text{ watt}$$

Om fasförskjutningen är mycket stor (över 60°), så visar den ena wattmetern en negativ effekt, varför trefaseffekten blir lika med skillnaden av wattmeterutslagen. Om det är den i fas I inkopplade

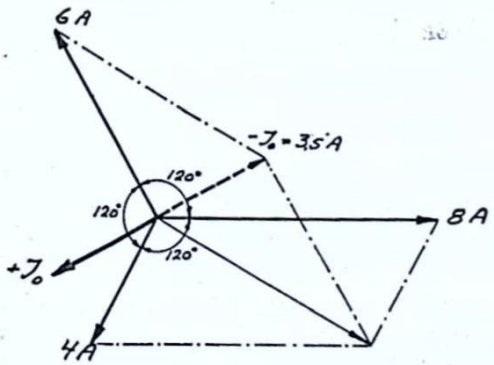


Fig. 50.

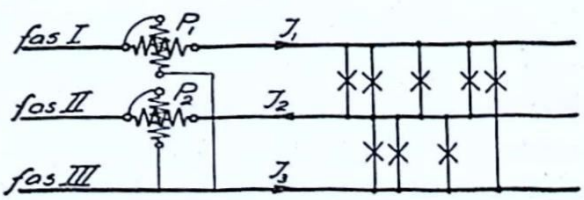


Fig. 51.

wattmetern, som visar den minsta effekten, så kan man undersöka, om denna effekt skall räknas positivt eller negativt på följande sätt. Spänningsspolen, som är inkopplad mellan fas I och fas II, kopplas i stället mellan fas I och fas III. Förblir wattmeterns utslag åt samma håll, skall effekterna adderas; blir utslaget åt motsatt håll, skall de subtraheras.

Effektfaktorn beräknas av formeln (då P_2 är positiv)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_1 \underset{(+)}{-} P_2}{P_1 \underset{(-)}{+} P_2} \cdot \sqrt{3}$$

Om effekten P_2 är negativ, gäller de inom ( ) befintliga tecknen.

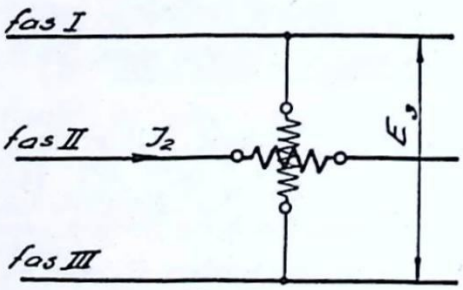


Fig. 52.

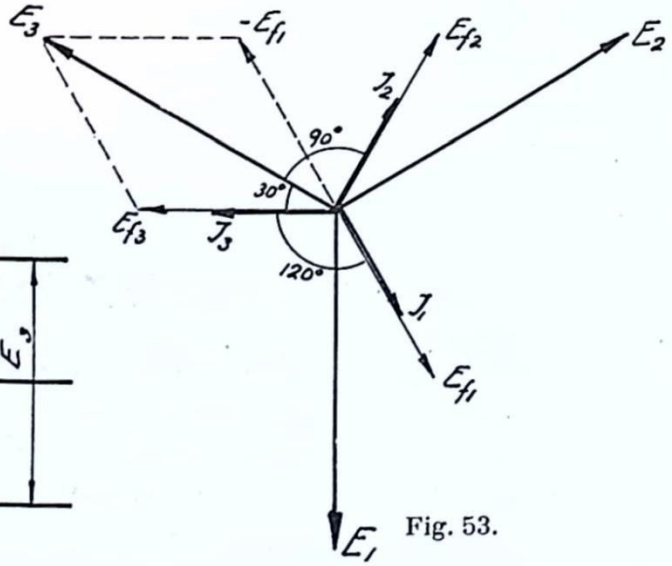


Fig. 53.

Reeffektmeter. Inkoppling av reeffektmetern på ett trefasnät är som synes av fig. 52 mycket enkel.

Av fig. 53 framgår, att fasspänningen E_{f2} ligger 90° efter huvudspänningen E_3. Om strömmen I_2 ligger i fas med E_{f2}, så ligger I_2 även 90° efter huvudspänningen E_3. Den reaktiva effekten blir i sådant fall lika med noll. Om I_2 är 90° fasförskjuten till E_{f2}, ligger I_2 i stället i fas med E_3. Den reaktiva effekten får då sitt största värde. Är faserna lika belastade, erfordras endast ett instrument. Den reaktiva effekten för alla tre faserna blir då 1,73 gånger större än vad instrumentet visar. Per fas blir dock reaktiva effekten instrumentutslaget dividerat med 1,73.

Reaktiva trefaseffekten beräknas ur formeln

$$P_q = 1{,}73 \cdot E \cdot I \cdot \sin \varphi \text{ (VAr)}$$

Växelströmsmätare.

För uppmätning av arbetet i växelströmsanläggningar (för såväl enfas- som trefassystem) användes vanligen *induktionsmätare*, vilka i princip är utförda såsom fig. 54 visar.

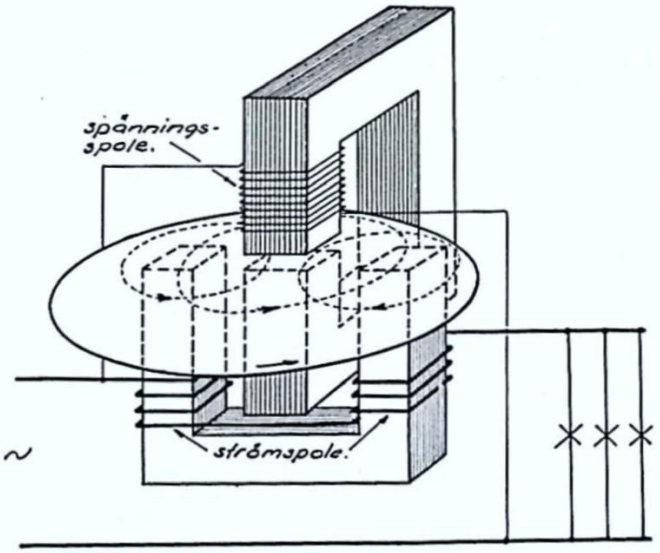


Fig. 54.

Induktionsmätaren består av tvenne växelströmsmagneter; den ena utgör strömspolen, den andra spänningsspolen. De växelflöden, som passerar genom aluminiumskivan, inducerar virvelströmmar i skivan på sådant sätt, att virvelströmmarna från spänningsspolen kommer att ligga under strömspolens fält och virvelströmmarna från strömspolen att ligga under spänningsspolens fält. Dessa strömmar söker enligt "vänstra handregeln" att föra motsvarande del av skivan ur fältet. Därigenom kommer skivan att rotera, och hastigheten blir beroende på strömstyrkan i såväl ström- som spänningsspolen. För att induktionsmätaren skall registrera riktigt, inte blott då belastningen är induktionsfri, utan även då belastningen är induktiv kräves att spänningsspolens fält är 90° förskjutet i förhållande till strömspolens fält, då $\varphi = 0$. Förefinnes en viss fasförskjutning φ mellan spänning och ström, så kommer strömspolens fält att vara fasförskjutet $90° + \varphi$ jämfört med spänningsspolens fält. När fasvinkeln φ är 90°, ligger de båda fälten 180° förskjutna. Något vridmoment uppstår inte, emedan virvelströmmarna i ankarskivan

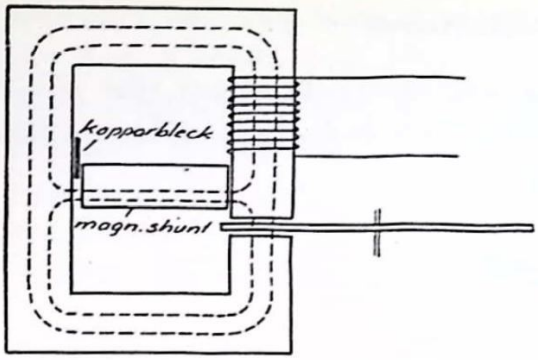


Fig. 55.

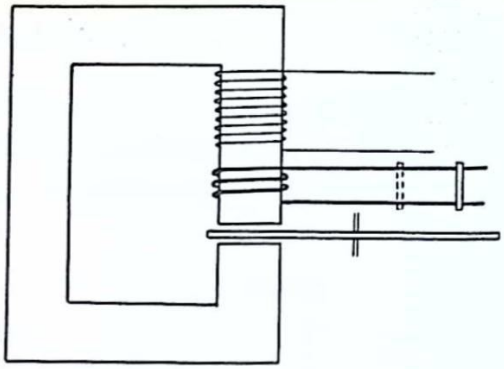


Fig. 56.

kastar om riktning, just då det verksamma fältet har sitt maximum. Vridmomenten före och efter detta maximum är lika stora men verkar i motsatta riktningar. Vid 90° fasvinkel är energien wattlös, varför det är riktigt, att mätaren står still. Man kan erhålla 90° fasförskjutning mellan spänningsspolens och strömspolens fält, då belastningen är induktionsfri, om en s. k. magnetisk shunt (fig. 55) insättes, så att endast en mindre del av kraftlinjeflödet går genom ankarskivan. I magnetiska shunten uppstår induktionsströmmar, vilka alstrar ett motriktat magnetflöde, som passerar genom ankarskivan. Regleringen av flödet genom den magnetiska shunten erhålles med ett kopparbleck, som till större eller mindre grad avskärmar magnetflödet.

En noggrannare inställning av fältflödets fasläge erhålles av en drosselspole genom lämplig avpassning av yttre motståndet (fig. 56).

I de moderna induktionsmätarna utnyttjas båda dessa sätt till reglering av fasläget mellan de båda fälten. Genom att dessa mätare saknar kollektor och borstar, blir friktionen avsevärt mindre än för likströms-motormätarna. En förbättring av startmomentet kan ske genom att man avskärmar en del av spänningsflödet (fig. 57 a) eller

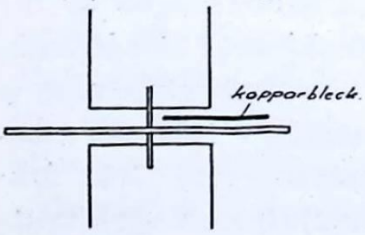


Fig. 57 a.

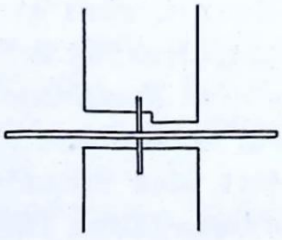


Fig. 57 b.

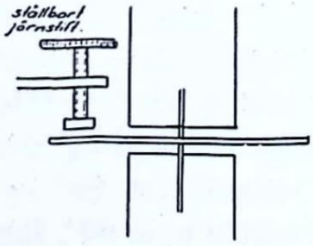


Fig. 57 c.

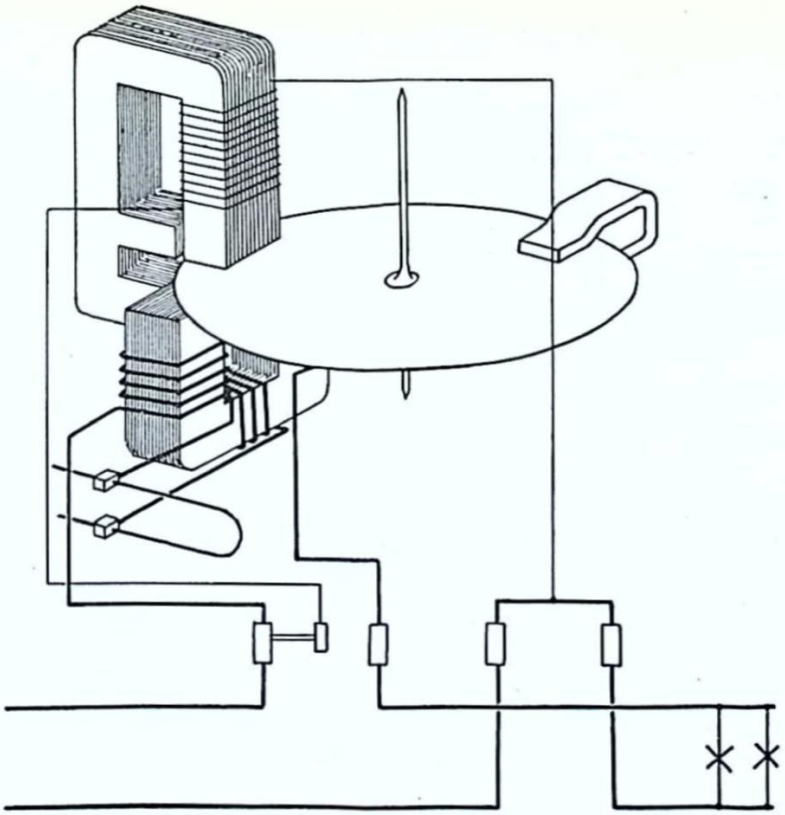


Fig. 58 a.

genom att olika luftspalt orsakar en ojämn fördelning av fältflödet genom ankarskivan (fig. 57 b). En osymmetrisk fältfördelning kan även erhållas av en vid sidan om spänningsspolen anordnad ställskruv av järn (fig. 57 c).

Fig. 58 a visar mera detaljerat, hur en induktionsmätare är utförd, och fig. 59 b visar kopplingsschemat för mätarens inkoppling.

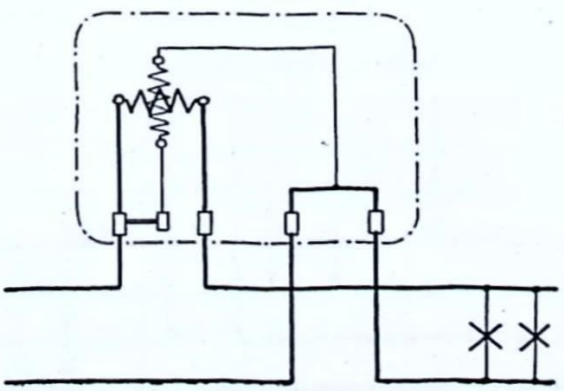


Fig. 58 b.

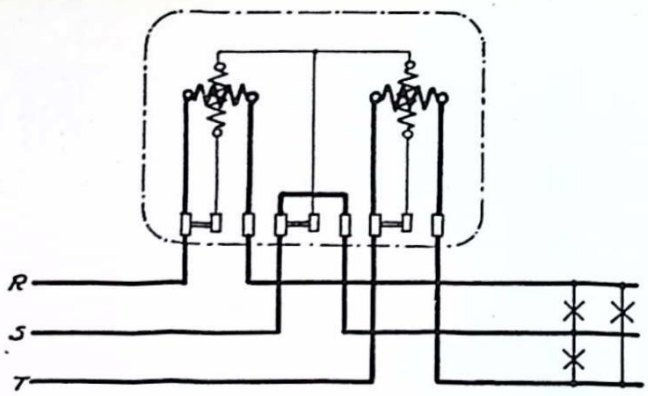


Fig. 59.

För uppmätning av trefasenergi kan man, liksom för uppmätning av trefaseffekt, inbygga två eller tre mätorgan, verkande på samma axel. Vanligen låter man två mätorgan driva samma ankarskiva. Fig. 59 visar schematiskt inkopplingen av en trefasmätare enligt liknande förutsättningar, som gäller för tvåwattmetermetoden. Finnes strömförande nolledning, måste mätaren vara försedd med tre mätorgan och kopplas schematiskt som fig. 60 visar. Givetvis kräves vid inkoppling av trefasmätare, att ledningarna kommer in i rätt ordning. En felaktig inkoppling kan konstateras, om mätaren belastas en fas i sänder. Går mätaren baklänges vid belastning på en av faserna, skall ledningarna givetvis kopplas om i mätaren. Som regel gäller, att ankarskivan skall rotera åt *höger*. Ändring av rörelseriktning erhålles genom omkastning av strömriktningen i strömspolen.

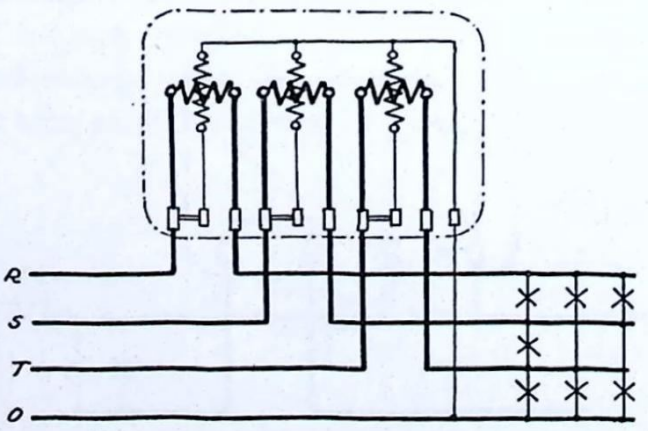
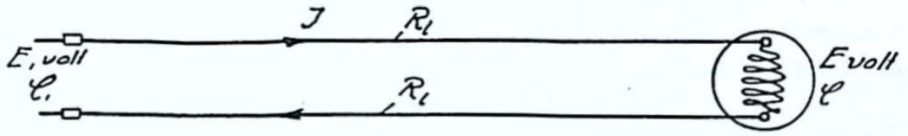


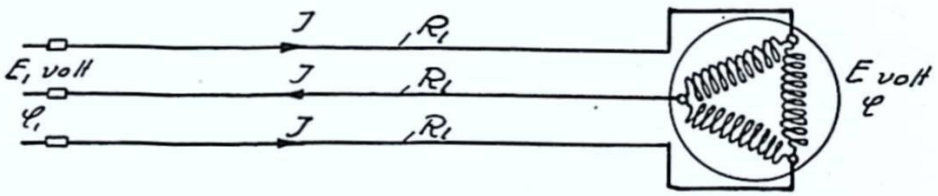
Fig. 60.

Växelströmsledningar.

Ledningar för växelström beräknas på liknande sätt som likströmsledningar. Ni utgår alltså ifrån ett visst spänningsfall vid en given belastning och bestämmer huru grov ledningsarea, som er-



Enfasledning.



Trefasledning.

Fig. 61.

fordras. För växelströmsledningar (fig. 61) är det lämpligt att utföra beräkningen för *en* ledning eller fas, då samma metod kan tilllämpas för enfas- resp. trefasledningar.

Vid växelström är belastningen ofta induktiv, vilket har till följd att skillnaden mellan spänningarna i ledningens början och slut inte är lika stort som spänningsfallet. Om själva ledningen är induktionsfri, vilket man kan anse, att den är för lågspänningsledningar så kommer spänningsfallet att ligga i fas med belastningsströmmen och sammansätter sig med spänningarna på det sätt, som visas i vektordiagrammet fig. 62.

Med tillräcklig noggrannhet kan man sätta att

$$E_1 - E = e \cdot \cos \varphi$$

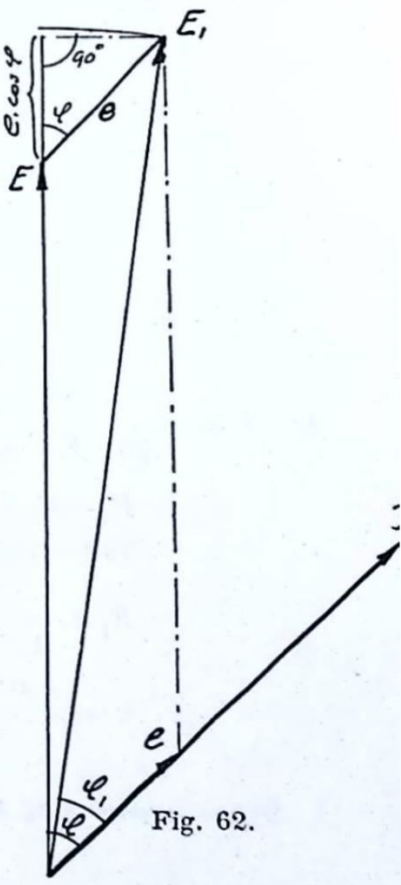


Fig. 62.

Om R_l betecknar motståndet i en ledning eller fas, så blir

$$E_1—E = 2 \cdot I \cdot R_l \cdot \cos \varphi \text{ volt (enfasledning)}$$

$$E_1—E = 1{,}73 \cdot I \cdot R_l \cdot \cos \varphi \text{ volt (trefasledning)}$$

Övningsexempel.

En 2 500 m lång ledning skall överföra en belastning på 3,0 kW med en effektfaktor av 0,7. Spänningen vid ledningens början är 530 volt, vid belastningspunkten 500 volt. Huru stor kopparare a erfordras, om det vore a) enfasledning b) trefasledning?

a) $P = 3{,}0$ kilowatt $I = \dfrac{P}{E \cdot \cos \varphi} = \dfrac{3\,000}{500 \cdot 0{,}7} = 8{,}57$ amp.

$E = 500$ volt, $E_1 = 530$ volt

$E_1—E = 2 \cdot I \cdot R_l \cdot \cos \varphi$

$\cos \varphi = 0{,}7$

$l = 2\,500$ met. $530—500 = 2 \cdot 8{,}57 \cdot R_l \cdot 0{,}7$

$\varphi = 0{,}0175$

$$R_l = \frac{30}{2 \cdot 8{,}57 \cdot 0{,}7} = 2{,}5 \text{ ohm}$$

$$a = \frac{\varrho \cdot l}{R} \qquad a = \frac{0{,}0175 \cdot 2\,500}{2{,}5} = 17{,}5$$

Svar: *arean 17,5 mm²*.

b) $I = \dfrac{P}{1{,}73 \cdot E \cdot \cos \varphi} = \dfrac{3\,000}{1{,}73 \cdot 500 \cdot 0{,}7} = 5{,}0$ amp.

$E_1—E = 1{,}73 \cdot l \cdot R_l \cdot \cos \varphi$

$530—500 = 1{,}73 \cdot 5{,}0 \cdot R_l \cdot 0{,}7$

$$R_l = \frac{30}{1{,}73 \cdot 5{,}0 \cdot 0{,}7} = 5{,}0 \text{ ohm}$$

$$a = \frac{0{,}0175 \cdot 2\,500}{5} = 8{,}75$$

Svar: *arean 8,75 mm²* (*standardarea 10 mm²*)

Kopparåtgången skulle alltså enligt detta exempel vid enfassystem, där sammanlagda koppararean är $2 \cdot 17{,}5 = 35$ mm², bliva 25 % större än vid trefassystem, där motsvarande koppararea är $3 \cdot 8{,}75 = 26{,}25$ mm². Framdrages däremot utom de tre faserna en nolledning med samma area, så blir mängden koppar i båda fallen lika. Utom utgifterna för kopparledarna tillkommer kostnader för stolpar, isolatorer, krok m. m. samt för montage, varför totalkostnaden för trefasledningen kan bliva avsevärt högre än för enfasledningen.

Uppgifter.

38. Huru hög är spänningen mellan en fas och nolledningen, då spänningen mellan två faser är 3 000 volt?

39. Huru hög är spänningen mellan två faser vid stjärnkoppling, då spänningen pr fas är 288 volt?

40 a. Nedanstående tabell anger motsvarande ögonblicksvärden på ohmskt spänningsfall (e_r) och på den del av klämspänningen som motverkar självinduktionsemk (e_s) i en induktiv strömkrets.

e_r	66	60	53	45	37	volt
$-e_s$	150	161	170	179	186	volt

Beräkna effektivvärdet (E) på klämspänningen.

40 b. Visa medelst en figur huru stor fasförskjutningsvinkeln är i uppgiften 40 a då effektivvärdet av E_r är 71 volt och av $-E_s$ 141 volt. (Skala: 1 cm = 10 volt.)

41. I en triangelkopplad statorlindning är strömstyrkan 7,2 amp. i lindningen. Huru hög är strömstyrkan i utgående ledningar?

42 a. En statorlindning är vid stjärnkoppling fullbelastad då strömstyrkan är 46 amp. och spänningen 700 volt. Vad blir spänning och strömstyrka vid full belastning då statorlindningen är triangelkopplad?

42 b. Huru stor är effekten i föregående exempel om $\cos \varphi = 0{,}78$, då statorlindningen är a) stjärnkopplad, b) triangelkopplad?

43. I nedanstående tabell äro för olika trefasmotorer en del upp gifter införda. Beräkna de värden som saknas i tabellen.

Spänning	190	220	380	500		3 000	220	190	V
Strömstyrka ...	7,0	14,0	35,0		6,8	18,0		10,0	A
Effektfaktor ...	0,78	0,77		0,83	0,83	0,89	0,82		
Verkningsgrad ..	0,81		0,86	0,84	0,82	0,91	0,85	0,83	
Avgiven effekt..		5,0	25	10	4,0		15	3,0	hk

44. En trefasmotor på 18 hk har effektfaktorn 0,82. Vid 380 volt kräver motorn 27 amp. Vilken verkningsgrad har motorn?

45. Huru många hästkrafter avger en trefasmotor, som vid 500 volt kräver 3,90 amp., då $\cos \varphi = 0{,}82$ och verkningsgraden 0,80?

46. Vad blir strömstyrkan, då en trefasmotor på 15 hk med verkningsgraden 0,86 och effektfaktorn 0,84 anslutes på 380 volt?

47. En trefasmotor avger vid full belastning 12 hk. Härför kräver denna 19,5 ampère vid en effektfaktor av 0,82, då verkningsgraden är 0,84. Till vilken spänning är motorn ansluten?

48. I en fabrik har man på 380/220 volt trefasnät installerat

3 st. glödlampor à 500 watt
18 " " " 150 "
45 " " " 60 "

1 st. trefasmotor, vilken vid full belastning kräver 18,2 ampère med effektfaktorn 0,82.
1 st. trefasmotor 2,2 hk verkningsgrad 0,78, effektfaktor 0,72.
Huru stor är totala belastningen i kW? Huru hög blir strömstyrkan och effektfaktorn?

49. En motståndsugn är försedd med tre induktionsfria motstånd, vardera på 80 ohm, anslutna på 500 volt trefas. Huru stor effekt kräver ugnen, då motstånden äro kopplade i a) triangel, b) stjärna?

50. I en trefasugn äro värmestavarna kopplade i triangel. Då denna anslutes på 380 volt, kräver ugnen 1,5 kW. Huru stor är resistansen i en värmestav?

51. En trefasledning har i sin ändpunkt en belastning på 5,7 kW, bestående av glödlampor och värmeapparater jämnt fördelade på de tre faserna och spänningen 220 volt mellan faserna. Resistansen i en ledning 0,24 ohm. a) Huru högt är spänningsfallet i en fas? b) Huru hög är spänningen vid ledningens början, då spänningen vid belastningspunkten är 220 volt?

52. På instrumenttavlan i en trefasig anläggning, omfattande glödlampor och induktionsmotorer, avläses för de utgående ledningarna följande värden:

Ledning	kW	Amp.	Volt
1	90	23,0	3 000
2	65	12,5	3 000
3	50	16,0	3 000

Hur stor blir strömstyrkan och effektfaktorn hos den generator, som lämnar kraft till anläggningen?

53. Till ett trefasnät är det inkopplat glödlampor dels mellan fas I och III och dels mellan II och III. Under en halvperiod har man i fas I följande serie ögonblicksvärden:

0, 5,0, 8,7, 10,0, 8,7, 5,0, 0 ampere

I fas II har man under halvperioden nedanstående ögonblicksvärden:

0, 3,0, 5,2, 6,0, 5,2, 3,0, 0 ampere

Sök ögonblicksvärdena under en halvperiod för strömmen i fas III.

54. Effekten på ett trefasnät var jämnt fördelad och uppmättes enligt tvåwattmetermetoden varvid den mindre av de båda uppmätta effekterna var 730 watt. Huru stor var hela trefaseffekten, då fasförskjutningsvinkeln mellan spänning och ström var 45°?

55. En 360 meter lång trefasledning av 16 mm² koppar överför 25,0 kW till en induktionsfri värmeapparat. Spänningen vid apparaten är 380 volt. Huru hög är spänningen vid ledningens början?

56. I ledningen till en trefasmotor är spänningsskillnaden i varje fas 8,5 volt. Trefasmotorn kräver 12,0 kW med en effektfaktor av 0,73. Spänningen 380 volt. a) Huru stor är resistansen i en fasledning? b) Huru lång är ledningen, då den består av 10 mm² koppar?

57 a. I ett trefassystem med nolledning är belastningen induktionsfri men ojämnt fördelad. Strömstyrkorna i de tre faserna äro 6, 12 och 15 ampere. Bestäm på grafiskt sätt strömstyrkan i nolledningen. (Skala: 1 cm = 2 amp.)

57 b. Spänningen mellan faserna är i föregående exempel 220 volt. Bestäm a) trefaseffektens storlek b) Strömstyrkan i fasledarna, om belastningen hade varit jämnt fördelad.

58. Tre lika induktiva motståndselement äro kopplade i triangel på ett trefasnät med 3×220 volts spänning. Trefaseffekten uppmätes enligt tvåwattmetermetoden varvid den ena wattmetern visar 2,25 kW och den andra 0,75 kW; båda utslagen voro positiva. Beräkna strömstyrkan i trefasnätet, effektfaktorn och varje elements resistans.

59. Ett trefasnät har lika belastade faser och effekten beräknades enligt tvåwattmetermetoden varvid den ena wattmetern visade 1 365 watt och den andra 365 watt; båda utslagen positiva. Beräkna spänningen på trefasnätet då strömstyrkan är 5 amp.

60 a. I ett trefassystem är spänningen mellan faserna 450 volt. Mellan faserna äro inkopplade induktionsfria motstånd, så att mellan fas I och II är inkopplat 50 ohm, mellan fas II och III 75 ohm och mellan fas I och III en resistans på 90 ohm. Bestäm grafiskt de strömstyrkor, som passerar genom faserna I, II och III.

60 b. Beräkna den effekt, som resp. faser i föregående exempel överföra, med utnyttjande av de värden på strömstyrkan, som erhålles av den grafiska bestämningen.

61 a. En hantverkare har för drift av sina arbetsmaskiner en 10 hk trefasmotor. Denna har vid full belastning verkningsgraden 0,87 och effektfaktorn 0,85. Emellertid är denna motor alldeles

för stor och får endast avgiva 2,5 hk. Vid denna belastning är verkningsgraden 0,79 och effektfaktorn 0,56. Huru stor är strömstyrkan vid 1/1-belastning och 1/4-belastning?

61 b. Om motorn i föregående exempel ersättes med en trefasmotor, som vid full belastning avger 2,5 hk, så har denna verkningsgraden 0,83 och effektfaktorn 0,84. a) Huru stor är strömstyrkan vid full belastning? b) Huru många fler kWh förbrukar motorn i exempel 59 a, jämfört med ovannämnda motor vid 2,5 hk belastning efter 1 500 timmars drift?

62. På ett trefasnät med lika belastade faser uppmättes effekten enligt tvåwattmetermetoden. Den ena wattmetern visade 500 W, den andra 250 W, båda värdena positiva. Huru stor är strömstyrkan, då spänningen är 220 V?

63. Huru stor effekt kan anslutas i ändpunkten av en 400 m lång trefasledning med 10 mm² koppararea, då spänningen i ledningens början och slut äro 394 resp. 380 volt? Huru stor blir effektförlusten i ledningarna, då effektfaktorn antages vara 0,8?

64. En trefasmotor på 9,5 hk, 380 V, verkningsgrad 0,82, effektfaktor 0,84, är ansluten på en 820 m lång ledning med koppararean 3×16 mm². Huru hög spänning erfordras i ledningens början, om motorn skall erhålla spänningen 380 volt?

65. Huru grov koppararea erfordras för en 1,5 km lång trefasledning, till vilken är ansluten en tröskmotor på 12,5 hk, med verkningsgraden 0,84 och effektfaktorn 0,83, då spänningen vid transformatorn är 403 volt och motorn skall hava spänningen 380 volt?

Övningsuppgifter.

Frekvens, effektiv- och maximivärde, sammansättning av växelspänningar.

1. Huru många r/m är synkrona varvantalet hos en 8-pol. banmotor, då frekvensen är 16 2/3 p/s?
2. Vilket varvtal gör den växelströmsgenerator, som har 24 poler och alstrar 16 2/3 p/s växelström?
3. Huru många poler har den växelströmsgenerator, som gör 450 varv på 27 sek., då frekvensen på den inducerade växelströmmen är 50 p/s?
4. Huru lång tid erfordras, för att en av turbinerna i Krångede kraftstation skall göra ett helt varv, då den direktdrivna generatorn har 36 poler och inducerar en spänning med frekvensen 50 p/s?
5. Då frekvensen är 50 p/s är 200 r/m ett av de synkrona varvantalen. Vilket är det närmast lägre synkrona varvantalet?
6. Huru stor är vinkelhastigheten för den växelström som alstras av en 6-pol. generator, vilken gör 300 r/m?
7. Huru lång tid behöver spänningsvektorn för att vrida sig 150°, då frekvensen är 16 2/3 p/s?
8. Huru många varv gör en 20-polig växelströmsgenerator på 100 sekunder, då den inducerade växelströmmen har frekvensen 50 p/s?
9. Vilket periodtal motsvarar vinkelhastigheten 220 rad/s?
10. Huru lång tid behöver strömvektorn för att vrida sig 63°, då frekvensen är 50 p/s?

11. Huru många r/m skall en växelströmsgenerator göra i ett fyrpoligt fält, då man önskar erhålla 40-periodig växelström?

12. En 60-pol. växelströmsgenerator gör 60 r/m. Vilken frekvens erhålles?

13. Huru många poler har den generator, som, då den gör 15 varv på 7 sek., alstrar en växelström med frekvensen 15 p/s?

14. Effektivvärdet hos en växelström är 35 amp. Huru stort är maximivärdet?

15. En växelspänning har effektivvärdet 127 volt. Huru stort är maximivärdet?

16. En växelspänning har maximivärdet 180 volt. Huru stort är ögonblicksvärdet a) 30 ° b) 45 ° efter det spänningen passerat sitt nollvärde?

17 a. Två lika höga växelspänningar är fasförskjutna 45°. För en kvartsperiod har man följande ögonblicksvärden för en av spänningarna:

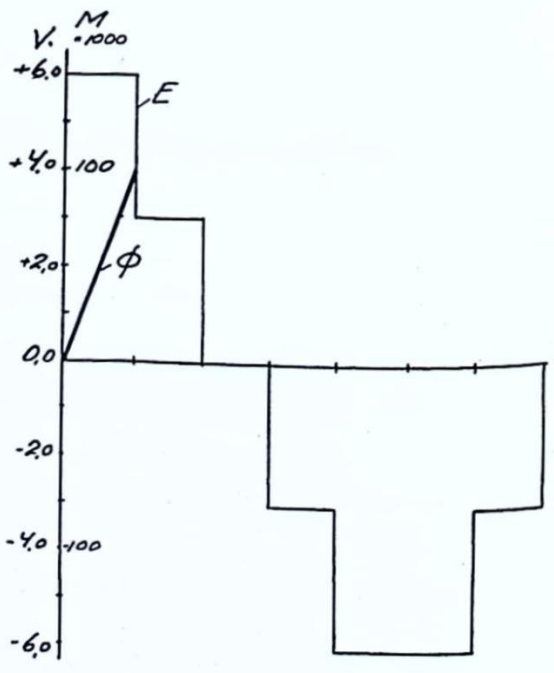
fasläge	0	15	30	45	60	75	90	grader
spänning	0	12,9	25,0	35,4	43,3	48,3	50,0	volt

Vilket är det högsta resp. lägsta toppvärde, som kan erhållas vid sammansättning av spänningarna?

17 b. Visa medelst vektorer, hur man erhåller de spänningar, som frågas efter i föregående uppgift.

18. Upprita ett vektordiagram, där spänningsvektorn är 50 volt och är i det läge, då denna efter att ha passerat sitt toppvärde har ögonblicksvärdet 30 volt.

19. Upprita fältflödets fortsatta förlopp för att den inducerade spänningen skall få det i figuren angivna utseendet.



Ex. 19.

20. Två härvor roterar i ett magnetfält. I vardera härvan induceras en effektiv spänning på 150 volt. Då härvorna hopkopplades, erhölls en spänning på 240 volt. Konstruera ett vektordiagram, som visar vinkeln mellan härvorna.

21. Två spolar, I och II rotera i ett tvåpoligt magnetfält. I vardera spolen induceras en spänning av 140 volt, och vinkeln mellan spolarna är 60°. Bestäm på grafisk väg den spänning, som erhålles, då spolarna hopkopplas. (Slututtaget i spolen I förenas med början i spolen II.) Skala 1 cm = 20 volt.

22. Ett motstånd är inkopplat på växelspänningen 125 volt (effektivvärde) och strömmens maximivärde är då 7,0 ampère. Huru många ohm är det i motståndet?

23. Två lika växelspänningar är förskjutna en vinkel, som är mindre än 90°. När den ena spänningen har sitt maximivärde, 60 volt, är den andra spänningen 30 volt. Rita ett vektordiagram och angiv, huru stor vinkeln är mellan spänningarna.

24 a. En växelströmsrotor har fyra lika härvor, vilka är jämnt fördelade över hela rotorn. Angiv ögonblicksvärdena för generatorspänningen under en halv period, då i en härva induceras följande spänningar:

fasläge	0	22,5	45	67,5	90	grader
spänning	0	7,7	14,1	18,5	20,0	volt

24 b. Bestäm generatorspänningens storlek i föregående uppgift med användande av vektorer.

25. Två spolar är seriekopplade och anslutna på 260 V. Spänningsfallet i den ena spolen, som är induktionsfri, är 185 V och i den andra 125 V. Beräkna fasförskjutningsvinkeln mellan spänning och ström i den senare spolen.

Resistans, reaktans och impedans.

26. En växelström, med maximivärdet 2,5 amp. passerar igenom ett värmeelement, som har resistansen 70 ohm. Huru hög spänning visar en voltmeter, då denna anslutes till värmeelementets klämmor?

27. I en järnfri spole blev vid en klämspänning av 220 volt strömstyrkan 10 amp. och effektfaktorn 0,8. Huru stor är spolens resistans?

28. En järnfri spole med resistansen 11 ohm inkopplades på 50 p/s växelström, då effektfaktorn blev 0,352. Huru stor blir effektfaktorn, om spolen inkopplas på 25 p/s växelström?

29. Två spolar, den ena med 200 lindningsvarv och den andra med 100 lindningsvarv, är i övrigt exakt lika. Huru stor är reaktansen i den förstnämnda spolen, jämfört med reaktansen i den andra spolen?

30. Huru stor strömstyrka kräver en spole vid 220 volt växelström, då resistansen är 13,2 ohm och effektfaktorn 0,6?

31. En spole har självinduktionskoefficienten 0,05 henry och resistansen 15,7 ohm. Vid vilken spänning blir strömstyrkan 12 amp., då frekvensen är 50 p/s?

32 a. En spole inkopplades på växelspänningen 65 volt varvid strömstyrkan blev 2,5 ampère. Huru hög är självinduktions-emk då resistansen är 10 ohm?

32 b. Huru hög blir effektfaktorn i föregående uppgift?

33. I en spole är resistansen 10 ohm. Under en halv period hade strömmen och spänningen följande ögonblicksvärden:

fasläge	0	30	60	90	120	150	180 grader
strömstyrkan	0	5,0	8,65	10,0	8,65	5,0	0 ampère
spänningen	173	200	173	100	0	—100	—173 volt

33 a. Huru stor är impedansen och reaktansen?

33 b. Huru hög är effektfaktorn och huru stor är fasförskjutningsvinkeln mellan ström och spänning i uppgift 33 a?

33 c. Angiv ögonblicksvärdena för den del av spänningen i uppgift 33 a, som kräves för att övervinna självinduktions-emk.

33 d. Beräkna effektivvärdena för ström och spänning i uppgift 33 a.

33 e. Upprita vektordiagram för spänningarna E_r, $-E_s$ och E i uppgift 33 a.

33 f. Om växelströmmen i uppgift 33 a har frekvensen 50 p/s, huru hög är då självinduktionskoefficienten?

40. Om reaktansen är 16 ohm, då frekvensen är 40 p/s, vid vilket periodtal är då reaktansen 9 ohm?

41. Reaktansen i en spole är 60 ohm vid 50 p/s. Huru stor är reaktansen, då frekvensen är 15 p/s?

42. Huru hög är effektfaktorn, då reaktansen är 12,8 ohm och resistansen 9,6 ohm?

43 a. Beräkna resistansen för en spole, som, då den inkopplas på 130 volt, kräver 10,4 amp. när effektfaktorn är 0,8.

43 b. Huru hög är självinduktionskoefficienten för spolen i uppgift 43 a, då uppgifterna där gälla vid 25 p/s?

43 c. Huru högt är maximivärdet på självinduktions-emk hos spolen i uppgift 43 a?

44. Genom två seriekopplade spolar flyter en 50-periodig växelström på 0,8 amp. Resistansen i den första spolen är 70 ohm och självinduktionskoefficienten 0,2 henry; i den andra spolen är resistansen 100 ohm och självinduktionskoefficienten 0,15 henry. Sök klämspänningen.

45. I en växelströmskrets är resistansen 20 ohm och det rent induktiva motståndet 21 ohm. Strömstyrkan 8 ampère. På vilken spänning är motståndet inkopplat?

46. Vilken inverkan på reaktansen i en järnfri spole har en fördubbling av periodtalet?

47. Då en spole inkopplades på 25-per. växelström blev effektfaktorn 0,8. Vilken effektfaktor erhålles, om samma spole inkopplas på 50-per. växelström?

48. Ett induktionsfritt och ett induktivt motstånd är kopplade i serie och anslutna på spänningen 130 volt. I vardera motståndet är spänningsfallet 75 volt. Huru hög är effektfaktorn för hela belastningen?

49. En spole har resistansen 40 ohm, och vid frekvensen 25 p/s är impedansen 85 ohm. Vid vilken frekvens är impedansen 104 ohm?

50. Två spolar med resistansen 16 och 56 ohm är parallellkopplade och anslutna på spänningen 84,5 volt. Huru stor strömstyrka kräver spolarna gemensamt från nätet, då strömmarna är 1,30 ampere i vardera spolen?

51. Resistansen i en spole är 7 ohm. Då spolen inkopplas på 150 volt växelström, blev strömstyrkan 6 ampère. Huru stort induktionsfritt motstånd skall kopplas i serie med spolen, för att strömstyrkan skall gå ned till 5 ampère?

Kapacitet.

52. Huru stor blir strömstyrkan, då en kondensator på 16 μF inkopplas på spänningen 220 volt, när frekvensen är 50 p/s?

53. En resistans på 12 ohm och en kondensator på 625 μF är kopplade i serie. Vid en frekvens av 51 p/s blev strömstyrkan 10 amp. På vilken spänning var de anslutna och huru hög spänning erhåller kondensatorn?

53. Huru kraftig ström passerar genom en kondensator på 4 mikrofarad, då den är kopplad i serie med ett induktionsfritt motstånd på 200 ohm? Spänningen är 6 000 volt och frekvensen 50 p/s.

54. En kondensator skall, då den parallellkopplas, förbättra effektfaktorn från 0,6 till 1,0 i en växelströmskrets, där spänningen är 500 volt och strömstyrkan 20 amp. Frekvensen 50 p/s. Huru stor kapacitet skall kondensatorn äga?

55. En kondensator på 5 mikrofarad är parallellkopplad med ett induktionsfritt motstånd på 200 ohm och inkopplas på 1 000 volt, 50 p/s. Huru stor blir strömstyrkan?

56. En kondensator på 10 mikrofarad seriekopplas med en drosselspole, som har resistansen 100 ohm och induktansen 0,5 henry. Huru hög spänning erhåller kondensatorn, då klämspänningen är 1 000 volt och frekvensen 50 p/s?

57 a. En spole har resistansen 2,5 ohm och induktansen 0,49 henry. Denna spole kopplades i serie med en kondensator, varvid resonans uppstod vid periodtalet 50 p/s. Huru stor kapacitet har kondensatorn?

57 b. Huru stor blev strömstyrkan vid resonanstillfället, då spänningen är 130 volt?

57 c. Vilken spänning erhöll kondensatorn i föregående uppgift?

58. En spole är seriekopplad med en kondensator, vars kapacitet är 15 μF. Huru stor är spolens induktans, om strömstyrkan blir oförändrad, fastän kondensatorn kortslutes? Frekvensen 50 p/s.

59. En spole har resistansen 39 ohm och impedansen 89 ohm. Hur stor kondensator skall kopplas i serie med spolen för att effektfaktorn skall bliva 0,6? Frekvensen 25 p/s.

60. En kondensator på 68,5 mikrofarad är parallellkopplad med en spole, som har resistansen 25 ohm och impedansen 65 ohm. Huru stor strömstyrka kräves från nätet och vad blir effektfaktorn, då spänningen är 130 volt och frekvensen 25 p/s?

61. En spole, som har resistansen 9,0 ohm och induktansen 4,5 henry, är kopplad i serie med en kondensator på 2 mikrofarad. a) Vid vilket periodtal uppstår resonans? b) Huru stor blir strömstyrkan, om spänningen är 135 volt?

Effekt och energi. Verkningsgrad.

62. Vidstående vektordiagram avser en växelströmskrets där frekvensen är 50 p/s

sin 67° = 0,92

cos 67° = 0,39

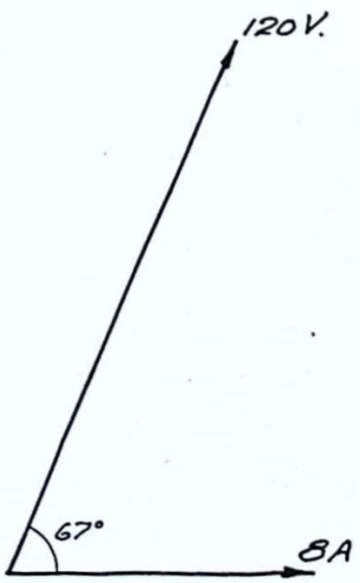
Beräkna:

a) Impedans, reaktans och resistans.

b) Självinduktions-emk och självinduktionskoefficient.

c) Skenbar, aktiv och reaktiv effekt.

d) Strömstyrkan, om spänningen är 120 volt men frekvensen 25 p/s.



Ex. 62.

63. En enfasmotor orsakade 45° fasförskjutning. Huru stor effekt i watt kräver motorn, då strömstyrkan är 14,1 ampère och spänningen 120 volt?

64. På ett enfasnät var anslutet 7,0 kW induktionsfri och 5,0 kW induktiv belastning, vilken sistnämnda hade 45° fasförskjutning. Huru stor blev skenbara effekten och effektfaktorn?

65. I en drosselspole med järn blev strömstyrkan 3,25 amp. och effekten 31,5 watt. Lindningens resistans var 2,4 ohm. Huru stora äro järnförlusterna enbart?

66. I en växelströmskrets är en induktionsspole kopplad i serie med ett induktionsfritt motstånd med resistansen 10 ohm. Vid 5 amp. strömstyrka blev vid 25 p/s. totala spänningen 80 volt och effekten 280 watt. Huru stor blir totala spänningen vid samma strömstyrka, då periodtalet är 50 p/s?

67. I ett induktionsfritt motstånd på 40 ohm utvecklas av en sinusformad växelström en effekt av 1,0 kilowatt. Huru stor är strömstyrkans maximivärde?

68. En 220 volts enfasmotor på 0,75 hk kräver vid full belastning 5,7 amp. Huru hög är motorns effektfaktor, då verkningsgraden är 0,69?

69. I en drosselspole blev strömvärmeförslusten 50,6 watt och järnförlusterna 12,4 watt, då lindningens resistans är 2,4 ohm. Huru stor är effektfaktorn, när spänningen är 130 volt?

70. Resistansspänningsfallet i en spole är 60 volt och resistansen är 12 ohm; huru hög är wattförbrukningen i spolen?

71. Belastningen i en enfasanläggning utgöres av tvenne parallellkopplade apparater. Den ena förbrukar 12 kW med effektfaktorn 0,5 och den andra 9 kW med effektfaktorn 0,8. Huru stor är totala strömstyrkan, då spänningen är 500 V?

72. I ett växelströmsmotstånd är resistansen 8 ohm, spänningsfallet 119 volt och effektförbrukningen 392 watt. Huru hög är effektfaktorn?

73. Växelströmsmotståndet i en krets är 65 ohm, spänningsfallet i motståndet 195 volt. Huru hög är effektförbrukningen, då resistansen är 33 ohm?

74. Skenbara effekten i en växelströmskrets är 1 600 voltampère, aktiva effekten 960 watt. Huru stor är den reaktiva effekten?

75. En ledning har en resistans på 0,55 ohm. Huru hög är spänningen i ledningens början, då denna överför en effekt av 12 kW med en effektfaktor av 0,6? Spänningen 500 volt vid belastningspunkten.

76 a. I en spole är resistansen 10 ohm. Under en halv period hade strömmen och spänningen följande ögonblicksvärden:

fasläge	0	30	60	90	120	150	180	grader
strömstyrkan	0	5,0	8,65	10,0	8,65	5,0	0	ampère
spänningen	173	200	173	100	0	—100	—173	volt

Huru stora är motsvarande ögonblicksvärden på effekten under en halvperiod, beräknade med hjälp av a) strömstyrka och resistans och b) strömstyrka och spänning?

76 b. Huru stort är medelvärdet på effekten beräknat enl. a) och b) i ex. 76 a. (Märk: värdena vid 180 höra till den andra halvperioden; alltså 6 ögonblicksvärden under första halvperioden).

76 c. Huru hög är den reaktiva och skenbara effekten i ex. 76 a?

77. Huru stor skenbar medeleffekt utvecklar en sinusformad växelström, då maximivärdena på spänning och ström är resp. 550 volt och 24 amp.?

78. Huru stor är induktansen, då en spole vid en 50 per. växelström av 240 volt kräver 1 080 watt och strömstyrkan 7,5 amp.?

79 a. Rotorn till en asynkronmotor har resistansen 2,0 ohm. Vid starten, då frekvensen är 50 p/s, blir impedansen 10,1 ohm. Huru stor är rotorlindningens reaktans och induktans?

79 b. Vid fullt varvantal är växelströmmens frekvens i rotorn avsevärt lägre, så att impedansen blir inte mer än 2,5 ohm, men resistansen är som förut (i ex. 79 a) 2,0 ohm. Vilken frekvens har växelströmmen i rotorn vid fullt varvantal?

79 c. Rotorspänningen (ex. 79 a och b) är vid starten 100 volt och vid fullt varvantal 15 volt. Huru stor är rotorströmmen vid starten och vid fullt varvantal?

79 d. Huru stor aktiv effekt kräver rotorn i starten och vid fullt varvantal i ex. 79 c?

79 e. Huru stor resistans bör kopplas i serie med rotorn i ex. 79 a, för att impedansen skall bliva 16,5 ohm vid starten?

80. En apparat förbrukade efter 2 000 timmars drift 440 kWh och 585 kVArh. Strömstyrkan 5,0 amp.

a) Huru hög är effektfaktorn?
b) Huru hög är skenbara, reaktiva och aktiva effekten?
c) Huru hög är klämspänningen och självinduktions-emk?
d) Huru stor är resistansen, reaktansen och impedansen?

81. En spole kräver 5,0 ampere och 175 watt, då den inkopplas på 50 per. växelström med spänningen 125 volt. Huru stor strömstyrka kräver spolen, om den inkopplas på 25 per. växelström med spänningen 125 volt?

82. På ett växelströmsnät är anslutet dels en induktiv belastning (bestående av småmotorer) på 61 kVA och dels för belysning 69 kW, varvid hela den anslutna effekten blev 100 kVA. Huru hög är effektfaktorn för hela anslutningen?

83. En induktiv belastning med 10 ohms impedans inkopplas på 50 p/s växelström, då effektfaktorn blev 0,6. Huru stor kondensator (angivet i mikrofarad) skall kopplas parallellt med ovannämnda belastning, för att effektfaktorn skall bliva 0,8 (fasförskjutningsvinkeln positiv)?

84. En enfasmotor kräver vid full belastning 15 kW med effektfaktorn 0,6. Huru stor kondensator skall parallellkopplas med motorn, för att man skall erhålla effektfaktorn 0,8? Spänningen är 600 V och frekvensen 50 p/s.

85. En enfasmotor driver en centrifugalpump, vilken förmår pumpa upp 225 liter vatten per minut 15 m högt. Pumpens verkningsgrad 0,69. Huru stor effekt i watt kräver enfasmotorn, då verkningsgraden för denna är 0,75?

86 a. En enfasmotor kräver i tomgång 50 W, strömstyrkan 1,0 A, då spänningen är 130 V. Vid full belastning kräves 400 W med effektfaktorn 0,8. En kondensator kopplades parallellt med motorn så att i tomgång blev effektfaktorn 1,0. Huru stor blev effektfaktorn vid full belastning?

86 b. Huru stor är kondensatorn i uppgift 86 a uttryckt i mikrofarad? Frekvensen 50 p/s.

87. En abonnent förbrukar 2,1 kW med en effektfaktor av 0,28. Genom att inkoppla en kondensator förbättrades effektfaktorn till 0,80. Huru många reaktiva kilovoltampère inbesparades härigenom?

88. Huru stor kondensator i mikrofarad erfordras för att, då den anslutes på 500 volt, 50 p/s, skall kräva 5,0 kVAr?

89. Ett industriföretag förbrukade under ett år 480 000 kWh och 640 000 kVArh. Genom att koppla in en kondensator beräknar företaget att få upp effektfaktorn till 0,8. Huru många kVArh inbesparas då per år?

90. En abonnent uttog under ett år 31 400 kWh och 39 750 kVArh. Huru mycket skall han erlägga i energiavgifter, då priset pr kWh är 8 öre och pr kVArh 1,5 öre? Härvid har han att betala endast för de kVArh, som överstiga det antal, som svarar mot effektfaktorn 0,8.

91. Ett El-verks industritaxa består av

1. Fast avgift:
   2 000 kr. per år.
2. Effektavgifter:
   Aktiv effekt 45 kr. pr kW och år.
   Reaktiv effekt 10 kr. pr kVAr och år för de kVAr, som överstiger 0,4 gånger kW-talet.
3. Energiavgifter:
   2 öre pr kWh upp till 2 500 · kW-talet och 1,5 öre pr kWh för överskjutande antal kWh.

Huru mycket skall en abonnent betala, då han under ett år utnyttjat 400 kW vid $\cos \varphi = 0{,}6$ och förbrukat 1,6 milj. kWh?

92. Hos en abonnent förbrukas under ett kvartal 54 000 kWh och 72 000 kVArh. Taxan är 8 öre per kWh och 2 öre per kVArh, för de kVArh som överskjuter det antal, som motsvarar effektfaktorn 0,8. Huru mycket skall abonnenten betala för energiförbrukningen?

93. En abonnent förbrukade under ett år 280 000 kWh och 960 000 kVArh. Huru många kVArh hade inbesparats, om genom faskompensering effektfaktorn hade erhållit värdet 0,8?

Trefassystem.

94. Fasspänningens effektivvärde i ett stjärnkopplat trefassystem är 190 volt, huru hög är maximivärdet på huvudspänningen?

95 a. En av fasspänningarna i ett trefassystem hade nedanstående ögonblicksvärden:

fasläge	0	15	30	45	60	75	90	grader
e_{f1}	0	47	90	127	156	174	180	volt

Huru höga är de båda andra fasspänningarnas ögonblicksvärden i fasläget 45°?

95 b. Huru högt är huvudspänningens effektivvärde?

96. I ett trefassystem är spänningen i en av faserna under en 1/4-period följande:

fasläge	0	15	30	45	60	75	90	grader
spänning	0	15,0	29,0	41,0	50,2	56,0	58,0	volt

a) Huru hög är spänningen i de båda andra faserna, då spänningen i en fas är 41,0 volt?

b) Angiv värdena för 1/2-period för huvudspänningen, då fasspänningarna hava ovanstående förlopp.

97. Två av fasspänningarna i ett trefassystem hade i ett visst ögonblick värdena +193 och —52 volt. Huru hög var den tredje fasspänningen och huru höga voro huvudspänningarnas ögonblicksvärden?

98. I ett olika belastat trefassystem, där belastningen var fördelad mellan resp. faser och nolledningar, voro linjeströmmarnas ögonblicksvärden under en halvperiod följande:

fasläge	0	30	60	90	120	150	180 grader
i_1	0	5,0	8,7	10,0	8,7	5,0	0 amp.
i_2	12,1	7,0	0	—7,0	—12,1	—14,0	—12,1 amp.
i_3	—13,0	—15,0	—13,0	—,75	0	7,5	13,0 amp.

a) Beräkna motsvarande ögonblicksvärden på strömstyrkan i nolledningen.

b) Bestäm på grafisk väg strömstyrkan i nolledningen.

c) Huru stor är trefaseffekten, om spänningen mellan faserna är 380 volt och belastningen är induktionsfri?

99 a. Tre induktionsfria motstånd på vartdera 10 ohm inkopplas mellan faserna i ett trefasnät (triangelkoppling). Spänningen mellan faserna 220 volt. Huru stor blir linjeströmmen?

99 b. Huru stor blir strömstyrkan om motstånden i uppgift 99 a kopplas i stjärna och anslutas på 220 volt trefasspänning?

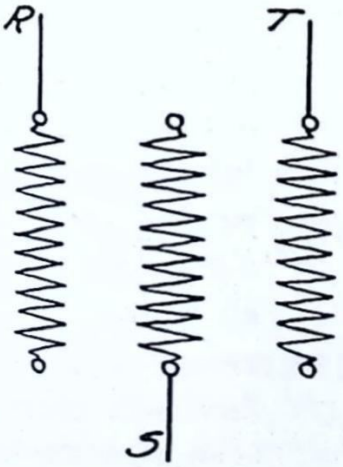
100. I ett trefassystem har man inkopplat resistansen 40 ohm mellan fas I och II och 24 ohm mellan faserna I och III. Huru stark ström passerar genom fasledningen I, då motstånden är induktionsfria och spänningen mellan faserna är 120 volt? (Skala: 1 cm = 1 amp.)

101. Tre stycken lika motstånd på 25 ohm vartdera tål 5 amp. På vilken spänning vid trefas skola de anslutas, då de äro stjärnkopplade?

102. I ett trefassystem är spänningen mellan faserna 220 volt och strömstyrkan 5, 6 och 7 amp. resp. i de tre faserna. Huru stor är trefaseffekten, då belastningarna är induktionsfria?

103. Triangelkoppla de tre spolarna i vidstående figur!

104. I ett trefasnät har man inkopplat glödlampor dels mellan fas I och III dels mellan fas II och III. Strömstyrkan i fas I är 5 ampère och i fas II 7,5 ampère. Bestäm (eventuellt grafiskt) strömstyrkan i fas III.



Ex. 103.

Trefaseffekt.

105. Sex glödlampor på vardera 150 watt inkopplas lika fördelade mellan faserna (triangel) i ett trefasnät, där spänningen är 220 volt. Huru hög blir strömstyrkan i ledningarna till lamporna?

106. En trefasugn kräver 27 kW vid 600 volt och består av trenne värmestavar kopplade i triangel. Huru hög strömstyrka erhåller varje stav?

107. En stjärnkopplad statorlindning var fullbelastad, då den inkopplades på 600 volt, då strömstyrkan uppgick till 15,2 amp. För vilken spänning och strömstyrka är statorlindningen avsedd, då den triangelkopplas?

108. En trefasmotor kräver 19,6 amp. vid 220 volt, då motorn avger 7,5 hästkrafter. Huru hög är verkningsgraden, då effektfaktorn är 0,84?

109. Huru stor reaktiv effekt upptar en trefasmotor, som kräver 5,2 amp. vid 380 volt, då effektfaktorn är 0,6?

110. På ett 500-volts trefasnät med lika belastade faser mätes effekten medelst tvåwattmetermetoden. Den ena wattmetern visar noll, den andra 15 kilowatt. Huru stor är strömstyrkan?

111. Tre lika motstånd, var och en med resistansen 9,6 ohm och induktiva motståndet 4,0 ohm, kopplas i triangel och anslutes på 220 volt. Beräkna den totala aktiva effekten.

112. En trefasmotor på 3,0 hk, 220 volt, har vid full belastning verkningsgraden 0,85. Vid halv belastning är förlusterna 68 % av förlusterna vid full belastning. Huru hög blir strömstyrkan vid halv belastning, då effektfaktorn är 0,75?

113. På vilken spänning är trefaseffekten ansluten, då aktiva effekten är 924 W, reaktiva effekten 942 VAr och strömstyrkan 6,0 amp.?

114. Då en triangelkopplad statorlindning är fullbelastad, kräver den från nätet 15,2 amp. vid 600 volt. Till vilken spänning skall statorlindningen anslutas, då den stjärnkopplas, och huru många ampère kräver den då ifrån nätet?

115. Huru stor är strömstyrkan vid full belastning för en 4,5 hästkrafters trefasmotor med verkningsgraden 0,84 och effektfaktorn 0,82, då den inkopplas på 380 volt?

116. I ett trefasnät med lika belastade faser uppmättes effekten medelst tvåwattmetermetoden. Den ena wattmetern visade 1 210 watt, den andra 520 watt. Båda utslagen positiva. Huru stor var effektfaktorn på nätet?

117. Tre lika motstånd var och en med ohmska motståndet 0,6 ohm och induktiva motståndet 4,0 ohm kopplas i stjärna och anslutes på 220 volt. Beräkna den totala wattförbrukningen.

118. De tre värmestavarna i en trefasugn är induktionsfria och har vardera ett motstånd på 20,5 ohm. Huru stor effekt kräver ugnen, då stavarna kopplas i triangel och anslutas på 380 volt?

119. En trefasmotor på 3,7 hk har vid full belastning effektfaktorn 0,82 och verkningsgraden 0,84. Huru stor blir strömstyrkan, då spänningen är 380 volt?

120. Tre lika induktiva motstånd inkopplas i triangel på ett trefasnät med 220 volt spänning och 50 p/s. Den förbrukade effekten mätes enligt tvåwattmetermetoden, varvid den ena wattmetern visade 2,8 kW, den andra 0,75 kW, båda utslagen positiva. Beräkna ohmska motståndet och självinduktionskoefficienten för ett av motstånden.

121. På ett trefasnät med lika belastade faser uppmättes effekten enligt tvåwattmetermetoden. Den ena wattmetern visade 880 watt och den andra wattmetern, vars utslag var negativt, 320 watt. Hur hög är effektfaktorn?

122. Ett företag har på sitt trefasnät med spänningen 380 volt anslutet 2,8 kW för värmeapparater och belysning samt en motor på 2,0 kW, som kräver 7,9 ampère. Huru stor blir strömstyrkan för hela belastningen?

123. Vid mätning enligt tvåwattmetermetoden visade den ena wattmetern 1 263 watt och den andra en negativ effekt av 287 watt. Spänningen var 220 volt och strömstyrkan 7,5 amp. Huru hög var effektfaktorn, då faserna var lika belastade?

124. Ett induktionsfritt värmeelement, anordnat för trefasström, skall värma upp 150 liter vatten pr timme från 15° till 95°. Huru stort motstånd skall finnas i varje element, då dessa är triangelkopplade och anslutna på 220 volt? Verkningsgraden 82 %.

125. En personhiss väger fullastad 600 kg och skall kunna lyftas med hastigheten 0,8 m/s. Hissmaskineriets verkningsgrad 0,80. Huru stort vridmoment behöver hissmotorn avgiva, om varvantalet är 1 432 pr minut?

126. För bestämning av verkningsgraden hos en trefasmotor belastades denna av ett bromsband, lagt på remskivan. Jämvikt erhölls, då på ena vågskålen var 12,6 kg och på den andra 1,4 kg. Remskivans diameter 160 mm och varvantalet 965 pr minut. En wattmeter inkopplad mellan en fas och nolledningen visade 370 watt. Huru hög är motorns verkningsgrad, då faserna antagas bliva lika belastade?

127. För bestämning av verkningsgraden hos en trefasmotor, belastades denna med en effektvåg. Effekten på denna beräknas ur formeln

$$P = \frac{F \cdot n}{2\,000}\ (\text{kW}),$$

där F är viktbelastningen i kg och n varvantalet pr minut. Vid en viss belastning var $F = 4{,}5$ kg och $n = 1\,460$ v/m. Strömstyrkan 7,5 A, spänningen 380 V och trefaseffekten 4,0 kW. Huru hög var verkningsgraden och effektfaktorn?

128. Ett kondensatorbatteri består av tre i triangel kopplade kondensatorer. Då batteriet inkopplas på trefasspänningen 230 volt, blir kapacitiva effekten 3,0 kVAr. Frekvensen 50 p/s. Beräkna kapaciteten hos en kondensator.

129. Tre kondensatorer på vardera 44 mikrofarad stjärnkopplas och anslutas på trefasspänningen 220 volt. Huru stor kapacitiv effekt kräver kondensatorerna, då frekvensen är 60 p/s?

130. En belastning på 100 kW skall uttagas vid 3 000 V och effektfaktorn 0,8 från ändpunkten av en 9,0 km lång 3-fasledning

av koppar. Spänningen vid kraftstationen är 3 300 V. Vilken area erfordras? Induktiva motståndet är 0,4 Ω pr km och fas. Spec. motståndet för koppar 0,0175.

131. Genom en 600 m lång trefasledning med arean 25 mm² koppar går en ström på 60 ampère. Huru hög spänning är det vid ledningens början, då spänningen vid belastningspunkten är 380 volt och effektfaktorn är 0,8?

132. I en ledning för trefas-växelström får spänningsskillnaden vara högst 15 volt räknad på huvudspänningen. Ledningens motstånd är 0,32 ohm pr fas. Huru stor effekt i kW kan överföras genom ledningen, då effektfaktorn är 0,80? Huvudspänningen 380 volt vid belastningspunkten.

133. En 600 m lång trefasledning med 35 mm² koppararea har vid en viss belastning 4,0 kW effektförlust. Huru stor är strömstyrkan? Spec. motståndet 0,0175.

134. Huru stor effekt överför en 8,4 km lång trefasledning med 16 mm² koppararea, då spänningen i ledningens början är 3 315 volt och i slutändan 3 150 volt? Effektfaktorn 0,75. Spec. motståndet 0,0175.

135. En 1 200 m lång trefasledning med spänningen 1 400 volt överför 40 kW med effektfaktorn 0,75. Skillnaden i spänningarna i ledningens början och slutända är 60 volt. Huru stor koppararea har ledningen?

136. En motoranläggning har under 2 400 timmar haft en medelbelastning av 120 kW vid en effektfaktor av 0,6. Energien betalas med 8 öre pr kWh och 2 öre pr kVArh. Huru mycket skall betalas i energiavgifter?

137. Ett järnverk förbrukade under en viss period 480 000 kWh och 650 000 kVArh. Krafttaxan var 10 öre pr kWh och 3 öre pr kVArh för det antal som överskjuter en effektfaktor av 0,8. Huru mycket skall betalas i energiavgifter?

ELEKTRICITETSLÄRA.

DEL II. VÄXELSTRÖM.

Svar till räkneuppgifterna.

1. 900 r/m, 8 st., 25 p/s, 600 r/m, 12 st., 49 p/s, $333^1/_3$ r/m.
2. 0,06 s. **3.** 30 st. **4.** 128 st. **5.** a) 251 rad/s, b) 105 rad/s.
6. a) 25 p/s, b) 40 p/s. **7.** 0,019 s. **8.** 18,9°. **9.** a) 12,3 A, b) 18,5 A.
10. a) 537 V, b) 707 V. **11.** 226 V.
12 a a) 260, 368, 450, 502, 520, 502, 450 V, b) 212, 212 o. 367 V.
12 b a) 260, 290, 300, 290, 260, 212, 150 V, b) 212, 212 o. 212 V.
13. 1. 40 ohm, 205, 200 o. 45 V. 0,22.
2. 61 o. 11 ohm. 4 A. 244 V. 0,18.
3. 89, 80 o. 39 ohm. 267 V. 0,44.
4. 12,1 o. 3,0 ohm. 16 A, 194 o. 48 V.
5. 15 o. 8 ohm. 204 o. 96 V. 0,47.
6. 10,9 o. 9,1 ohm. 20 A. 120 V. 0,55.
7. 29 o. 20 ohm. 8 A. 168 V. 0,69.
8. 22,1 ohm. 10 A. 220 o. 21 V. 0,095.
14. a) 180 V, b) 0,38, c) 0,076 H. **15 a)** a) 24 A, b) 108 V, c) 0,80.
15 b) a) 16,7 A. 150 V. 0,56. **16.** a) 24,2 Ω, b) 40,6 Ω.
17. a) 197 ohm, b) 1,11 A, c) 0,30. **18. a)** 8, 25 o. 26,7 ohm.
18. b) 8,0 A. **18. c)** 0,081 H. **19.** 25, 83,8 o. 87,5 ohm. **20.** 66,8 p/s.
21. 50 p/s, 0,6, 53,1°.
22. 200 W, 0,75, 2,8 A, 110 V, 585 W, 1,0, 12,1 A, 5 000 V.
23. 1. 15 ohm, 240 W, 400 VA, 320 VAr.
2. 120 V, 180 W, 360 VA, 312 VAr.
3. 150 V, 2,5 A, 375 VA, 344 VAr.
4. 1,5 A, 40 ohm, 0,33, 254 VAr.
5. 210 V, 17,5 ohm, 25,5 W 250,7 VAr.
6. 5,0 A, 7,0 ohm, 0,28, 625 VA.
7. 425 V, 0,71, 6 000 W, 8 500 VA.
8. 141 V, 5,0 A, 0,71, 707 VA.
24. 8,8 ohm. **25.** 0,8. **26.** 1 905 VA, 1 500 W, 1 181 VAr. 0,79. **27.** 0,29, 0,67.
28. 5,1 kW, 3,6 kVAr, 6,24 kVA. **29.** 7,3 kVAr, 44,4 A, 16,7 A.
30. 2,0 hk. **31.** 6,72 V, 11,20 V. **32.** 72 450 kr. **33.** 600 000 kWh.

34. 24 500 kVArh. **35.** 845,50 kr. **36.** 108 000 kWh. **37.** a) 53 p/s, b) 50 A.
38. 1 730 V. **39.** 500 V. **40.** a) 158 V. **41.** 12,4 A. **42.** a) 400 V, 80 A.
42. b) a) 43,5 kW, b) 43,5 kW.
43. 2,0 hk, 0,90, 0,93, 12,2 A, 368 V, 102,8 hk, 41,7 A, 0,81.
44. 0,91. **45.** 3,0 hk. **46.** 23,2 A. **47.** 380 V. **48.** 18,8 kW, 31,6 A, 0,91.
49. a) 9,4 kW, b) 3,1 kW. **50.** 289 ohm. **51.** a) 3,6 V, b) 226,2 V.
52. 48,3 A, 0,816.
53. 5,2, 11,0, 13,9 13,0, 8,7, 2,0, —5,7 A.
54. 3 450 W. **55.** 406 V. **56.** a) 0,34 Ω, b) 194 m. **57. a)** 7,9 A.
57. b) a) 4,2 kW, b) 11,0 A. **58.** 10,6 A, 0,75, 8,9 ohm. **59.** 283 V.
60. a) 13,1 A, 12,3 A, 9,5 A. **60. b)** 9,0 kW. **61. a)** 26,0 A, 10,9 A.
61. b) a) 6,9 A, b) 208 kWh. **62.** 2,27 A. **63.** 7,6 kW, 0,44 kW. **64.** 400 V.
65. [32,8] 35 mm²

Svar till övningsuppgifter.

1. 250 r/m. **2.** $83^1/_3$ r/m. **3.** 6 st. **4.** 0,36 s. **5.** $187^1/_2$ r/m. **6.** 94 rad/s.
7. 0,025 s. **8.** 500 r. **9.** 35 p/s. **10.** 0,0035 s. **11.** 1 200 r/m. **12.** 30 p/s.
13. 14 st. **14.** 49,5 A. **15.** 180 V. **16.** a) 90 V, b) 127 V. **17.** a) 92 V, 38 V.
21. 242 V. **22.** 25,3 Ω. **23.** 60°.
24. a) 0, 20,0, 37,0, 48,2, 52,4, 48,2, 37,0, 20,0 o. 0,0 V.
25. 67,4°. **26.** 124 V. **27.** 17,6 ohm. **28.** 0,60. **29.** 4 gånger större.
30. 10 A. **31.** 267 V. **32.** a) 60 V. **32. b)** 0,385. **33** a) 20,0 o. 17,3 ohm.
33. b) 0,5 o. 60°. **33. c)** 173, 150, 86,5, 0, —86,5, —150 —173 V. **33. d)** 7,1 A, 141 V. **33. f)** 0,055 H. **40.** 22,5 p/s. **41.** 18 ohm. **42.** 0,6. **43.** a) 10 ohm.
43. b) 0,048 H. **43. c)** 110 V. **44.** 162 V. **45.** 232 V. **46.** Den blir dubbelt så stor.
47. ~~0,861~~ 0,556 **48.** 0,867. **49.** 32 p/s. **50.** 2,4 A. **51.** 11 ohm. 1680 V.
52. 1,1 A. **53.** 130 V, 50 V. **53.** 7,3 A. **54.** 102 μF. **55.** 5,25 A. **56.** ~~0,53 A~~.
57. a) 20,7 μF. **57. b)** 52 A. **57. c)** 8 000 V. **58.** 0,34 H. **59.** 227 μF.
60. 0,89 A, 0,864. **61.** a) 53 p/s, b) 15 A. **62.** a) 15 ohm, 13,8 ohm o. 5,85 Ω. b) 110,4 V, 0,044 H. c) 960 VA, 374 W o. 883 VAr, d) 13,3 A.
63. 1 200 W. **64.** 13,0 kVA, 0,923. **65.** 2,1 W. **66.** 127 V. **67.** 7,1 A.
68. 0,64. **69.** 0,105. **70.** 300 W. **71.** 69,2 A. **72.** 0,47. **73.** 297 W.
74. 1 280 VAr. **75.** 513 V. **76. a)** a) 0, 250, 750, 1 000, 750, 250, 0 W. b) 0, 1 000, 1 500, 1 000, 0, —500, 0 W. **76. b)** a) 500 W, b) 500 W.
76. c) 1 000 VA, 866 VAr. **77.** 6,6 kVA. **78.** 0,082 H. **79. a)** 9,9 ohm, 0,0315 H.
79 b) 7,6 p/s. **79 c)** 9,9 A, 6,0 A. **79 d)** 196 W, 72 W. **79 e)** 11,2 ohm.
80. a) 0,6, b) 366 VA, 292,5 VAr, 220 W. c) 73,2 V, 58,5 V, d) 8,8 ohm, 11,7 ohm, 14,6 ohm. **81.** 9,0 A. **82.** 0,8. **83.** 111,4 μF.
84. 77,4 μF. **85.** 1 070 W. **86. a)** 0,912. **86 b.** 22,6 μF. **87.** 5,6 kVAr.
88. 63,7 μF. **89.** 280 000 kVArh. **90.** 2 755 kr. **91.** 52 730 kr.
92. 4 950 kr. **93.** 750 000 kVAr. **94.** 465 V. **95.** a) 47 o. —174 V.

95. b) 220,5 V. **96.** a) 15,0 o. —56,0 V. b) 50,2 71,0, 87,0, 97,0, 100,4, 97,0, 87,0, 71,0 50,2, 26,0, 0,0 V. **97.** —141 V, 245, 89 o. —334 V.
98. a) 0,9, 3,0, 4,3, 4,5, 3,4, 1,5, —0,9 A. b) 3,25 A, c) 6,066 kW.
99. a) 38,0 A. **99.** b) 12,7 A. **100.** 7 A. **101.** 216 V. **102** 2 284 W.
104. 10,85 A. **105.** 2,36 A. **106.** 15 A. **107.** 346 V. 26,3 A. **108.** 0,88.
109. 2 740 VA. **110.** 34,6 A. **111.** 12,8 kW. **112.** 4,8 A. **113.** 220 V.
114. 1 040 V, 8,8 A. **115.** 7,3 A. **116.** 0,82. **117.** 1,18 kW. **118.** 21,1 kW.
119. 6,0 A. **120.** 20,4 Ω, 0,065 H. **121.** 0,26. **122.** 10,3 A.
123. 0,34. **124.** 8,5 Ω. **125.** 4,0 kgm. **126.** 0,80. **127.** 0,821, 0,81.
128. 60,2 μF. **129.** 803 VAr. **130.** 25 mm^2. **131.** 415 V.
132. 17,8 kW. **133.** 66,7 A. **134.** 56,6 kW. **135.** 10 mm^2.
136. 30 720 kr. **137.** 56 700 kr.

Rättelser och tillägg.

Sid. 10. I tabellen står 479 000, skall vara 470 000.

sid. 27. Formeln $Z=\frac{E}{\sqrt{R^2+(\omega \cdot L)^2}}$, skall vara $Z=\sqrt{R^2+(\omega \cdot L)^2}$

sid. 58. Uppg. 2 står $16^3/_3$, skall vara $16^2/_3$.

sid. 76. Mitt på sidan står $\varphi = 0{,}0175$, skall vara $\varrho = 0{,}0175$.

sid. 82. Uppgift 61. a) Spänningen 220 V.