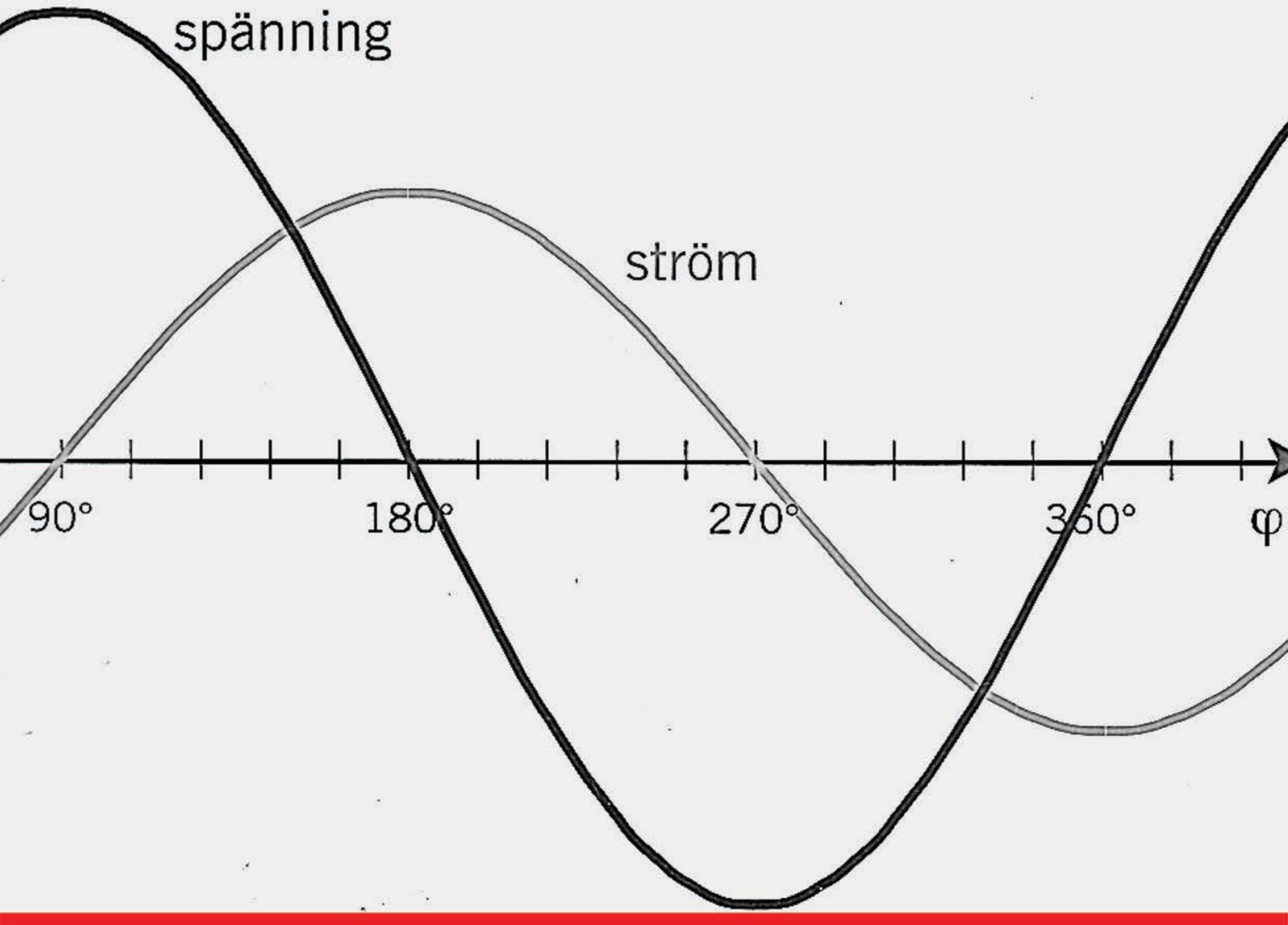
1-fas växelström

Sven-Bertil Kronkvist



Revma Utbildning

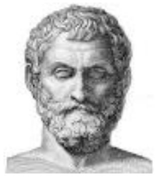
INNEHÅLL

Lite om elkunskapens historia

Ämnesområdet elektroteknik är redan stort, men förväntas öka i såväl omfattning som betydelse. Så har det inte alltid varit, tvärtom har det tagit mänskligheten lång tid att utveckla dagens kunskapsnivå. Flera personer och händelser har bidragit. Några av de mer betydelsefulla får inleda den orientering av ämnet som följer.

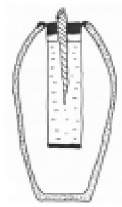
600 BC

Thales från Militos, ca 625 – 545 BC, en av greklands sju vise uppmärksammar fenomenet friktionselektricitet i samband med bärnsten, som på grekiska kallas electron.



250 BC

Bagdadbatteriet, ett möjlig förhistoriskt batteri daterad till perioden 250 f.Kr. Det grävdes fram vid Khujut Rabula i utkanten vid Bagdad. Fyndet har förbryllat forskare och man har inte riktigt kunnat förstå vad det möjliga batteriet kan ha använts till, eller hur man över huvud taget kommit på idén.



1600-talet:

William Gilbert, 1544 – 1603, engelsk läkare och fysiker som är känd för magnetexperiment och teorin att jorden är en stor magnet som förklaring av kompassnålars beteende. Gilbert införde också ordet electrics.

1700-1800-talet:

Alessandro Volta, 1745 – 1827, italiensk fysiker som uppfann batteriet, Voltas stapel, och fick enheten för spänning (volt, V) uppkallad efter sig. I och med tillgången till en kontinuerlig strömkälla fanns förutsättningar för att undersöka strömmens verkningar.

Hans Christian Örsted, 1777 – 1851, dansk kemist och fysiker upptäckte år 1820 att en strömförande ledare omges av ett magnetiskt fält och gav oss därmed grunden för elektromagnetismen.

George Simon Ohm, 1789 – 1854, tysk vetenskapsman som hedrats med att få enheten för resistans (ohm, Ω) uppkallad efter sig. Ohm utvecklade idén att det är spänning som orsakar ström i en elektrisk krets och publicerar år 1827 i *Die galvanische Kette, matehe-matish bearbeit* grunden för elektrisk kretsteori: Ohms lag.

Om boken med mera

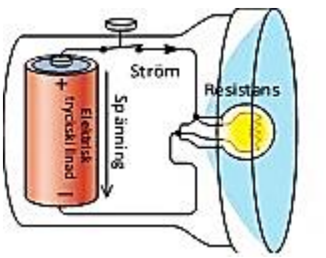
Det här läromedlet är avsett att orientera om 1-fas växelström, men eftersom växelström bygger på kunskap om likström börjar boken med en sammanfattning av likströmlära.

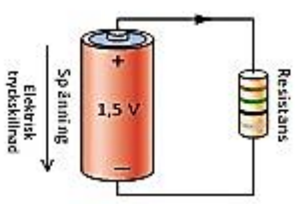
Läsaren kan välja att använda sig av sammanfattningen till att testa-sig-själv, ha den som uppslagsdel eller gå direkt till växelströmsdelen. Vilket valet än blir så läs nedanstående avsnitt först.

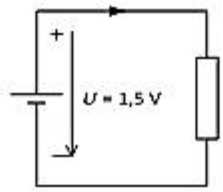
En grundläggande krets

Det är värt att lägga på minnet att alla elektriska kretsar, både likströms- och växelströmskretsar, alltid består av en spänningskälla med en inre resistans (impedans) och en belastning.

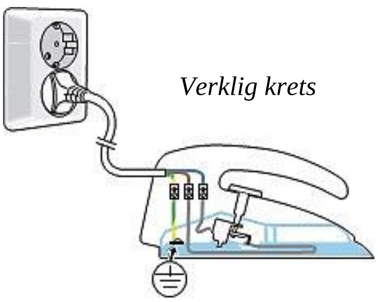
Tänka el innebär till stor del att kunna se den grundläggande kretsen, även om spänningskällan och belastningen varierar i form och egenskaper.



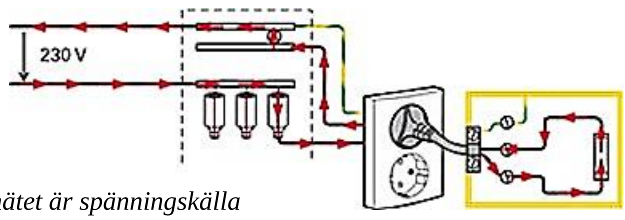




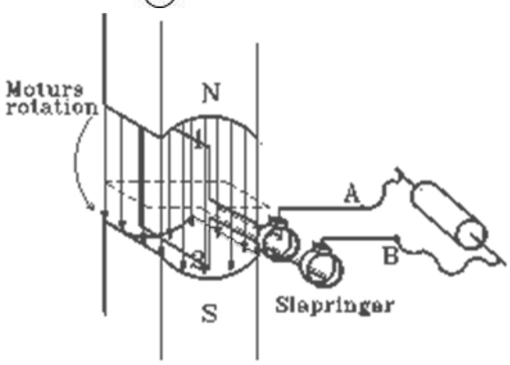
Verklig krets *Bildlikt rita* *Symboliskt ritad*

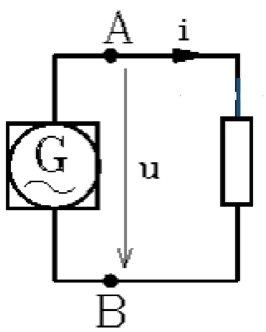


Verklig krets



Elnätet är spänningskälla
Belastningen är strykjärnets elspiral





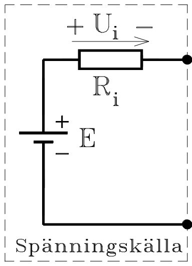
Generator *Belastning* *Symbolisk elritning*

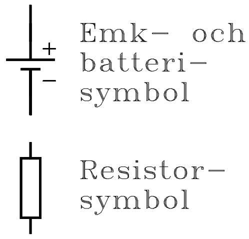
Sammanfattning av likströmsläran

Detta avsnitt är en kort sammanfattning av likströmsläran. Kontrollera gärna dina kunskaper innan du börjar studera växelströmsläran.

Den elektriska kretsen

Den enklaste elektriska kretsen består av en spänningskälla ansluten till en belastningsresistans enligt schemat.





Referenspilar och storhetsbeteckningar

För att visa hur strömmen flyter och hur spänningen fördelas i kretsen används referenspilar och storhetsbeteckningar som U_P för polspänningen, R_i för den inre resistansen, R_L för den resistiva lasten osv.

Det är viktigt att rita kretsschema och att sätta ut referenser för att få tankestöd i sitt eltänkande

Spänningsfallspilen pekar i den riktning som spänningen faller. Plussidan har högre spänning än minussidan.

Strömpilen pekar i den riktning som strömmen flyter.

Referenspilar och beteckningar är ett *tankestöd* som bör användas flitigt och noggrant både vid beräkning och analys av kretsfunktioner.

Några regler

Ström kan endast flyta om kretsen är sluten.

Strömmen flyter alltid från spänningskällans pluspol till dess minuspol.

Strömmen börjar och slutar flyta i hela kretsen samtidigt.

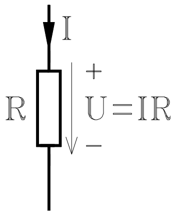
Det flyter alltid lika mycket ström till spänningskällans minuspol som det flyter ut från dess pluspol.

En spänningskälla kan alltid betraktas som en konstant emk E i serie med en inre resistans R_i.

Polspänningen U_P är beroende av det inre spänningsfallet enligt:

$$U_P = E - U_i \text{ där } U_i = I_L \cdot R_i$$

Ohms lag



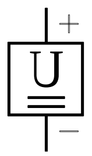
Sambandet mellan strömmen som flyter *genom* en resistans och spänningsfallet *över* resistansen anges av Ohms lag.

$$I = \frac{U}{R}$$

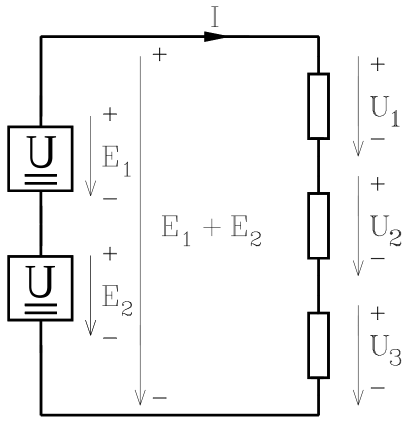
I = strömmen i A (ampere)
U = spänningen i V (volt)
R = resistansen i Ω (ohm)

Seriekretsar

Såväl spänningskällor som belastningsresistanser kan seriekopplas.



Allmän symbol för likspänningskälla



I seriekretsar är strömmen alltid lika stor i hela kretsen.

Kirchhoffs spänningslag: $E_1 + E_2 = U_1 + U_2 + U_3$

Summan av spänningskällornas spänningar är lika med summan av spänningsfallen.

Ohms lag gäller för varje enskild resistor $\Rightarrow$

$$U_1 = I \cdot R_1$$
$$U_2 = I \cdot R_2$$
$$U_3 = I \cdot R_3$$

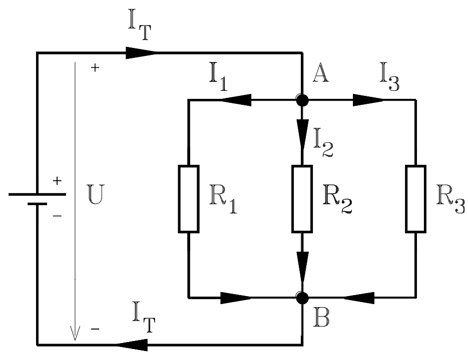
Seriekopplade resistansers totalresistans R_S: $R_S = R_1 + R_2 + R_3 + ...$

Parallellkretsar

Spänningen är lika stor över alla grenar i en parallellkoppling.

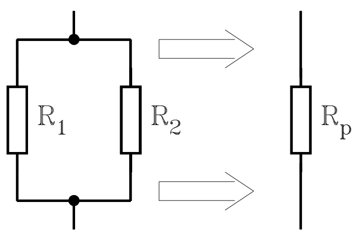
Kirchhoffs strömlag: Summan av de strömmar som flyter till en grenpunkt är alltid lika med summan av de strömmar som flyter från grenpunkten, dvs

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$



Parallellkopplade resistansers totalresistans R_P beräknas ur

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ...$$



Specialfall: Två parallellkopplade resistorers ersättningsresistans beräknas så här:

$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Felsökning

Det här avsnittet handlar om felsökning av elektriska kretsar, och om instrument som är vanliga vid felsökning och vid växelströmsmätningar.

Felsökning, som är både vetenskap och konst, går ut på att finna orsaken till varför kretsar eller system inte fungerar som det förväntas.

Komponenter som resistorer och kondensatorer kan få *kortslutningar* eller *avbrott* av flera olika orsaker, t ex genom att gränsvärdena för maximal effektutveckling, ström eller spänning överskrids.

Ibland brinner det inre i en komponent upp och efterlämnar ett avbrott. Vid andra tillfällen smälter det inre av komponenten samman till en kortslutning. Lödning är en annan intressant orsak till oönskade kortslutningar och avbrott. Till synes perfekta lödningar kan ibland ändå vara felaktiga och mycket svåra att upptäcka.

Ändrade komponentvärden är svårare att felsöka än avbrott och kortslutningar. Utsätts komponenter för mer värme än de tål kan det inträffa att de får bestående värdeändringar på flera procent.

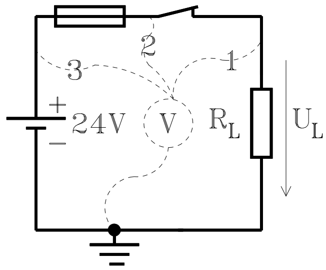
Ibland, men långt ifrån alltid, kan man upptäcka felaktiga komponenter vid en inledande noggrann granskning.

Går det inte att se felet måste man mäta fram det och beroende på erhållna mätresultat ställa sig frågor som: ”Vad händer om någon av komponenterna blir kortsluten, får ett avbrott eller ändrar värde?”

Felsökning kräver oftast att man tänker sig in i kretsfunktioner i relation till framför allt Ohms och Kirchhoffs lagar, men också att man känner till övriga delar av elläran och förekommande komponenters egenskaper.

Exempel 6

Hur mäter och resonerar man för att konstatera var felet ligger i kretsen från exempel 5?



Svar: Anslut en voltmeter till kretsens jordpunkt. Mät därefter över R_L för att bekräfta att U_L är 0V enligt 1-markerad voltmeteranslutning.

Mät från jord till en punkt mellan säkringen och strömställaren enligt 2-markerad voltmeteranslutning. Finns det 24 V här är det troligen strömställaren som är sönder. Saknas spänning kan det vara säkringen som löst ut.

Mätinstrument

Det här avsnittet handlar om mätinstrument och deras egenskaper i olika mätsituationer i lik- och växelströmskretsar.

Allmänt om mätinstrument

Kännedom om instrument och deras egenskaper i olika mätsituationer är en grundförutsättning vid felsökning och all annan mätning. Mätinstrument har både likströmsegenskaper och speciella växelspännings- och växelströmsegenskaper.

Multimetern

Multimetrar har mätfunktioner för resistans-, spännings- och strömmätning. På en del modeller finns även mätfunktioner för t ex kapacitans- och frekvensmätning.

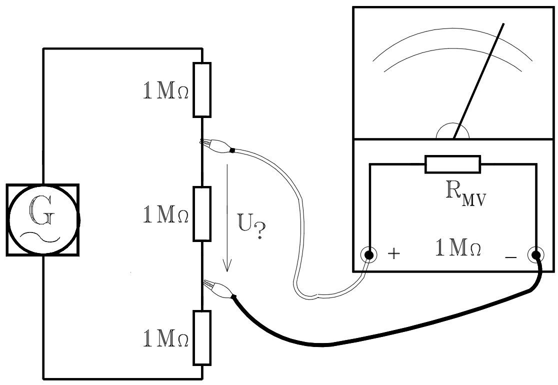
Spännings- och strömmätningsfunktionen är indelad i lik- och växelspänning samt lik- och växelström.

Voltmeterfunktionen

Sett från mätanslutningarna har moderna multimetrar i voltmeterläge en inre resistans R_{MV} i storleksordningen 10MΩ.

Vid spänningsmätning kopplas multimetern *parallellt med mätobjektet*. Därmed flyter det en ström från mätkretsen genom R_{MV} och orsakar ett mätfel.

För att mätfelet ska bli litet måste R_{MV} vara stort (högohmigt) i förhållande till mätobjektets resistans.



Varför har vi växelström

Olika sätt att alstra växelström

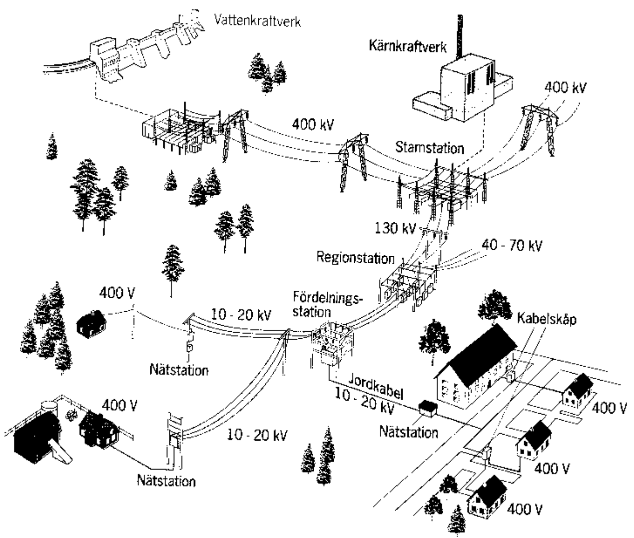
När olika energiformer omvandlas till elenergi används till övervägande del roterande växelströmsgeneratorer.

Där det finns vattenfall utnyttjas vattnets lägesenergi och där det blåser mycket kan vindkraften användas för att driva generatorer. Andra möjligheter är kärnkraft, kol och oljebaserad elproduktion även om de ur miljösynpunkt är ofördelaktiga.

Enkel överföring

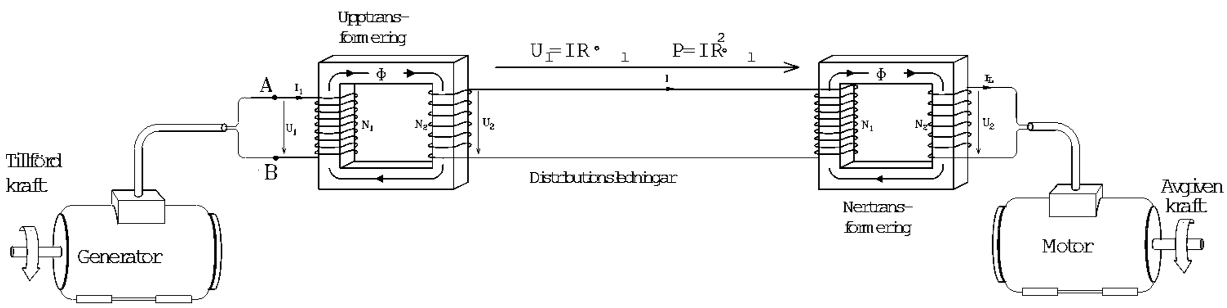
Elenergi är det överlägset enklaste energislaget att förflytta till förbrukarna.

Distributionen börjar vid kraftverken och når förbrukarna via högspända kraftledningar och transformatorer.



Principen

Kopplas en generator till en belastning med två mellanliggande transformatorer som i ritningen nedanför, får vi ett enkelt elsystem som visar hur el produceras och överförs till förbrukaren. Principen är densamma som i det allmänna elnätet även om man i detta använder *trefasteknik*.

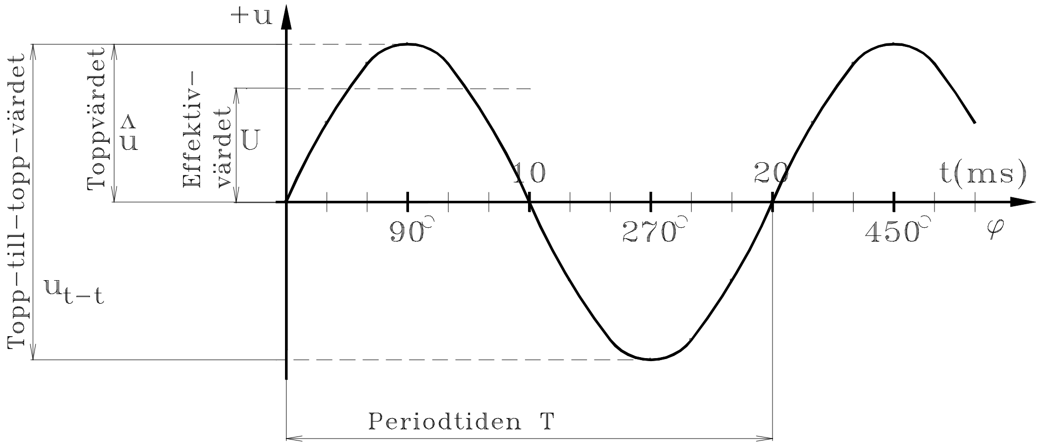


Till vänster har vi generatorn där energiomvandlingen sker. Distributionsledet börjar med upptransformering av generatorspänningen och slutar med nedtransformering till en spänningsnivå som är lämplig på förbrukarsidan.

Upp- och ner transformeringen görs för att minska ledningsförlusterna vid transporten av elenergi mellan generator och belastning.

Växelspännings- och växelströmsbegrepp

Växelspänning ändrar sig hela tiden och beskrivs därför med fler begrepp och värden än vad som är nödvändigt för likspänning.



Sinusformade växelspänningar anges till sin storlek i allmänhet med de beteckningar och benämningar som visas i *vågdiagrammet.*

Gradindelningen från 0° till 360° motsvarar ett generatorvarv och av tidsgraderingen framgår att ett varv tar 20ms.

När växelspänningen genomlöpt en period upprepas förloppet igen. Antalet perioder per sekund kallas *frekvens* och mäts i Hz (Hertz)

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{(Hz)}$$

Momentanvärde

Det *ögonblicksvärde* som en växelspänning eller växelström har vid vilken tidpunkt som helst under en period kallas *momentanvärde*.

Effektivvärdet

Effektivvärdet motsvarar en likspänning med samma värde.

Topp- och effektivvärden

Sambanden mellan växelspänningars topp- och effektivvärden används flitigt och bör memoreras.

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \qquad \text{eller} \qquad \hat{u} = U \cdot \sqrt{2}$$

Sambandet mellan växelströmmars topp- och effektivvärden är samma som för växelspänning. Bara byt U mot I och u mot i.

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \qquad \text{eller} \qquad \hat{i} = I \cdot \sqrt{2}$$

Vektorräkning

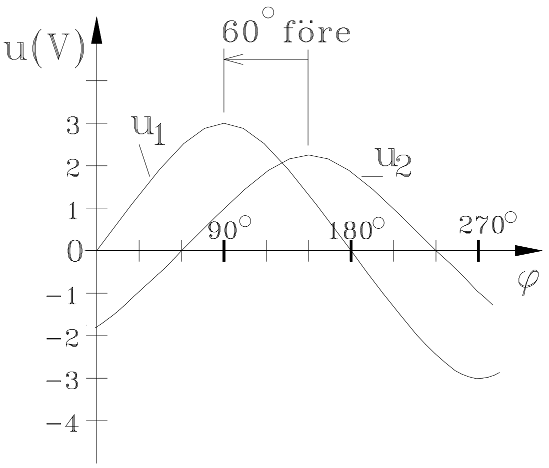
Vid beräkningar på växelströmskretsar är det fördelaktigt att känna till något om vektorräkning eftersom växelspänningar, växelströmmar och växelströmsmotstånd kan representeras i visardiagram, där visarna är *fria vektorstorheter*.

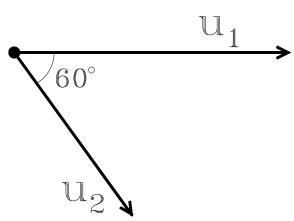
Dessa kännetecknas av att de har både storlek och riktning och att de kan representeras grafiskt av en pil med lämplig längd och riktning, t ex som spännings- och strömvisare i visardiagram.

Exempel

Vågdiagrammet visar två växelspänningar, u_1 med toppvärdet 3V och u_2 med toppvärde är 2,2V.

I visardiagrammet representeras de av var sin visare på 30 respektive 22 mm. 30mm motsvarar därvid 3V och 22mm är i samma skala 2,2V.





Spänningarna är inte samtidiga. Man säger att u_1 ligger 60º före u_2 ur fassynpunkt och att u_1:s riktning är *referensriktning*.

Vad är bra med vektorräkning?

Fördelen med vektorberäkning är att den kan göras grafiskt. Man kan rita fram komplicerade matematiska lösningar, t ex addition av spänningar som måste göras med hänsyn till deras *faslägen.* (riktningar).

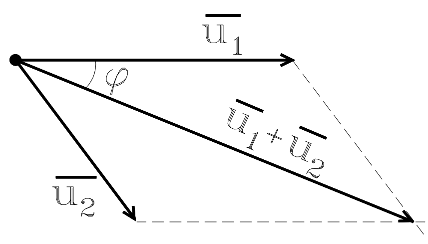
Exempel

Addera u_1 och u_2 i föregående exempel.

Rita två hjälplinjer, en från spetsen på u_1 parallellt med u_2 och en från spetsen av u_2 parallellt med u_1.

Den diagonal som kan ritas i *parallellogrammet* är *resultanten* till *vektoradditionen* av u_1 och u_2.

Mät resultantens längd och fasvinkeln φ så är den grafiska lösningen färdig.

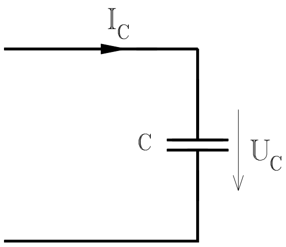


Vektorstorheter brukar markeras med ett överliggande streck

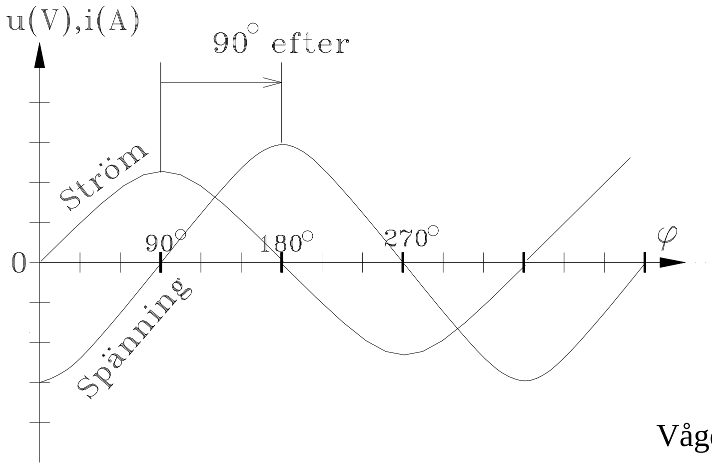
Kondensatorn i växelströmskretsar

Kondensatorer har många olika former.

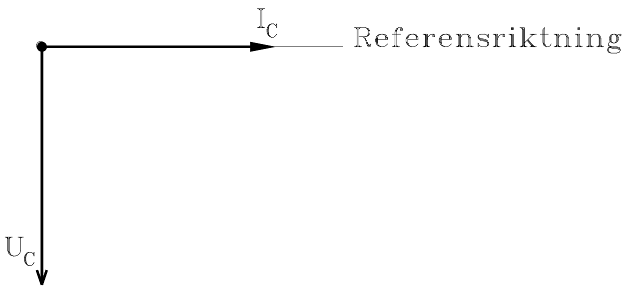
Laddas en kondensator med en sinusformad laddningsström verkar det som om strömmen flyter genom kondensatorn eftersom omladdningen pågår kontinuerligt. Så är det dock inte, laddningsströmmen flyter endast till och från de båda kondensatorplattorna, aldrig genom kondensatorn.



Den sinusformade laddningsströmmen resulterar i en sinusformad spänning över kondensatorn, men på grund av att det tar en viss tid att ladda om kondensatorn, blir kondensatorspänningen förskjuten 90° efter laddningsströmmen så som framgår av våg- och visardiagrammet nedan.



Vågdiagram



Visardiagram

Kapacitiv reaktans

Även om vi konstaterat att laddningsströmmen aldrig flyter genom kondensatorn kan det *betraktas* som om den gjorde det. Kondensatorn beter sig därvid som ett motstånd för strömmen. Detta kallas för *kapacitiv reaktans*, betecknas med X_C och kan beräknas så här:

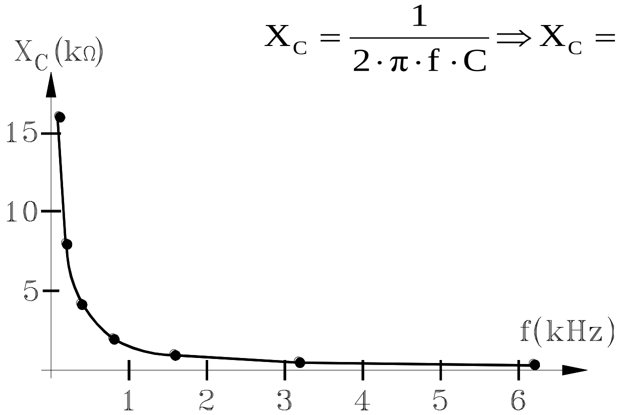
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

X_C = kondensatorns reaktans i Ω
C = kondensatorns kapacitans i F
f = strömmens frekvens i Hz

Lägg märke till att strömmens frekvens ingår i ekvationen. Det betyder att *reaktansen X_C har olika värde vid olika frekvenser*.

Exempel

Beräkna X_C för en kondensator på 0,1μF vid frekvenserna 100Hz, 200Hz, 400Hz, 800Hz, 1600Hz, 3200Hz och 6400Hz. Rita därefter en graf som visar hur reaktansen beror av frekvensen.



$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0{,}1 \cdot 10^{-6}} = 15{,}9\,k\Omega$$

$\Uparrow$ $\Downarrow$

f = 200Hz	7,96 kΩ
f = 400Hz	3,98 kΩ
f = 800Hz	1,99 kΩ
f = 1600Hz	1,00 kΩ
f = 3200Hz	0,50 kΩ
f = 6400Hz	0,25 kΩ

I grafen ser vi att *kondensatorns reaktans ökar då frekvensen minskar*. För likström vars frekvens är noll är reaktansen oändligt stor.

Kondensatorn kan sägas blockera likström och släppa fram växelström.

Ohms lag för växelström

I Ohms lag för växelströmskretsar ersätts R med impedansen Z.

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

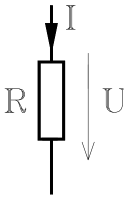
Z = det totala växelströmsmotståndet i Ω
I = strömmens effektivvärde i A
U = spänningens effektivvärde i V

Impedansen Z kan bestå enbart av resistans, enbart kapacitiv reaktans, eller kombinationer av båda och får därvid olika matematiskt form.

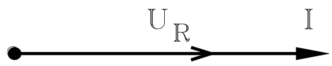
Ohms lag och fasförskjutning

Det här avsnittet sammanfattar hur resistans, kapacitans och induktans ingår i Ohms lag och inverkar på fasförskjutning mellan ström och spänning i växelströmskretsar.

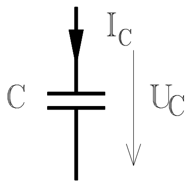
Resistans: Spänningen över en resistor är i fas med strömmen.



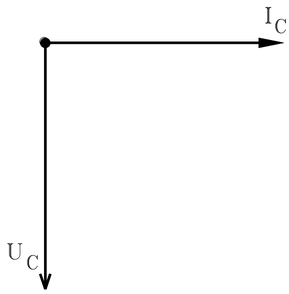
$$I = \frac{U}{R}$$



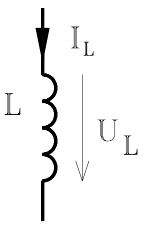
Kapacitans: Spänningen över en kapacitans ligger 90° efter strömmen.



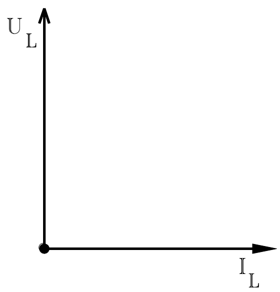
$$I_C = \frac{U_C}{X_C} \qquad X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$



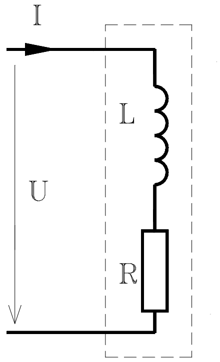
Ideal induktans: Spänningen över en ideal induktans, med försumbar ledningsresistans, ligger 90° före strömmen.



$$I_L = \frac{U_L}{X_L} \qquad X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

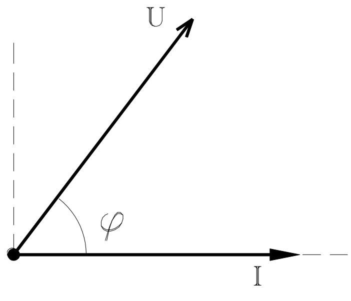


Verkliga induktansspolar: Spänningen är fasförskjuten mellan 0 och 90º före strömmen på grund av att spolen har lindningsresistans.



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

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$



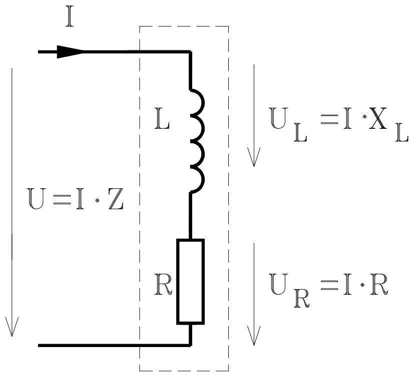
Seriekrets med resistans och induktans

För att förklara fasförskjutningen i induktansspolar, mellan spänningen U och strömmen I, tänker vi oss att spolens resistans och induktans kan separeras.

Spolen kan då betraktas som en seriekrets med en ideal induktans i serie med en resistor.

I praktiken går det naturligtvis inte eftersom resistansen finns i spolen utmed hela lindningslängden, men teoretiskt går det bra och det stämmer väl med hur induktansspolar beter sig.

I seriekretsar med induktiv reaktans och resistans delas *spänningen* U i en *induktiv delspänning* U_L och en *resistiv delspänning* U_R som var och en kan beräknas med Ohms lag, så som framgår av bilden.



Den påtryckta spänningen U fördelar sig emellertid inte över induktansen och resistansen som i likströmskretsar.

Spänningen över resistansen är i fas med strömmen medan spänningen över induktansen ligger 90° före strömmen.

För att förstå detta ska vi använda Ohms lag, visardiagram och *Pythagoras sats*.

Exempel

Beräkna spänningarna över R och L i kretsen ovan om L = 1,59H, R = 1000Ω och U = 8V med frekvensen 200Hz.

Rita därefter ett skalenligt visardiagram som visar spänningarna.

Genomför beräkningarna enligt följande ordning:

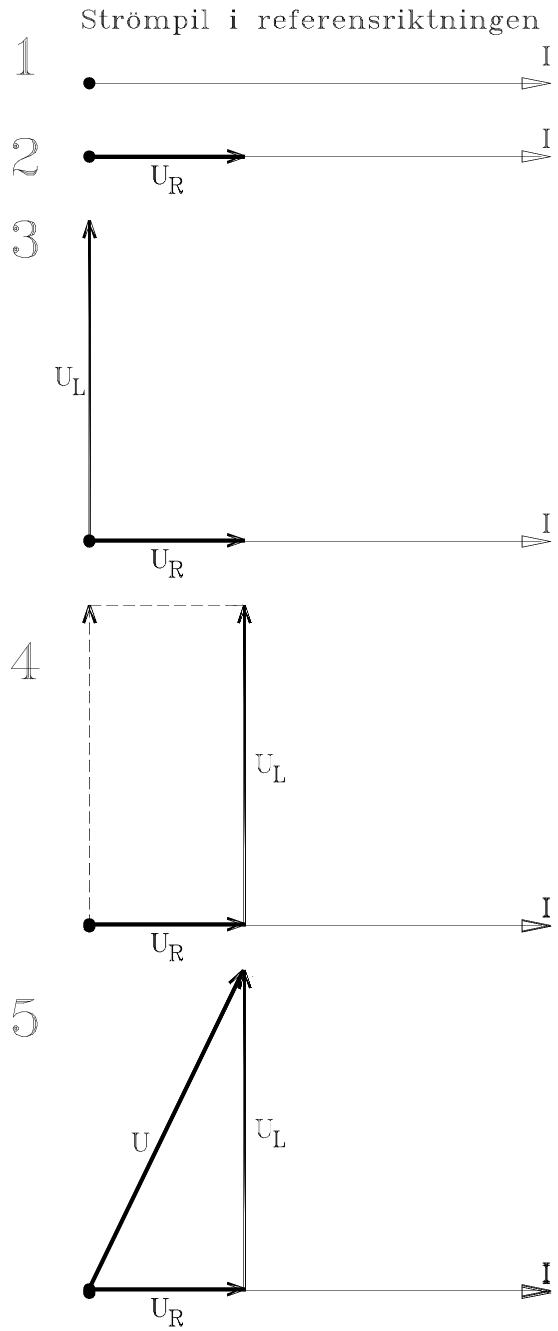
Reaktansen $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad \Rightarrow \quad X_L = 2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 1{,}59 = 1998\Omega$

Impedansen $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \Rightarrow Z = \sqrt{1000^2 + 1998^2} = 2234\Omega$

Strömmen $I = \dfrac{U}{Z} \Rightarrow I = \dfrac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \Rightarrow I = \dfrac{8}{2234} \approx 3{,}58\text{mA}$

Delspänningarna
$$U_R = I \cdot R \Rightarrow U_R = 3{,}58 \cdot 1000 \approx 3{,}58\,\text{V}$$
$$U_L = I \cdot X_L \Rightarrow U_L = 3{,}58 \cdot 1998 \approx 7{,}15\,\text{V}$$

Uppritning av visardiagrammet



1. Rita en tydlig strömpil i referensrikt--ningen.

I seriekretsar används strömmen som referens eftersom den är gemensam i hela kretsen.

Strömpilen kan vara av godtycklig längd, men för spänningspilarna väljer vi skalan 2V=10mm.

2. Sätt ut $U_R = 3{,}58V \approx 18mm$ i referens-riktningen (se fasläget i sammanfattningen)

3. Rita $U_L=7{,}15V \approx 36$ mm, 90° före strömmen (se fasläget i sammanfattningen).

4. Parallellförflytta U_L till spetsen av U_R.

Kom ihåg att vektorer (visare) kan flyttas om de inte förändras till storlek och riktning.

5. Rita resultanten till U_R och U_L. Detta är den pålagda odelade spänningen U.

Lägg märke till att visarna är sidor i en rätvinklig *spänningstriangel.*

Sidorna kan beräknas med *Pythagoras sats,* alternativt mätas med en linjal.

Pythagoras sats

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2$$

Prova med värdena från vårt exempel.

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2 \quad \Rightarrow \quad U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

$$U = \sqrt{3{,}58^2 + 7{,}15^2} = 8{,}00\,V$$

$X_L = 1998\Omega$

$Z = 2234\Omega$

$I = 3{,}58mA$

$U = 8V$

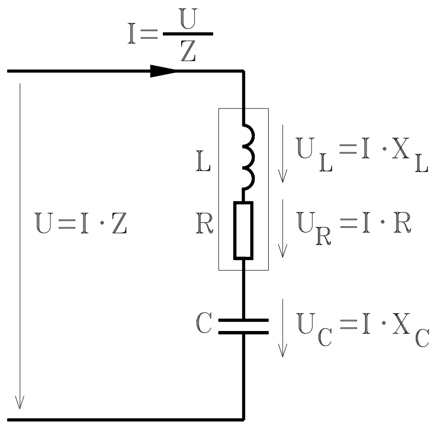
$U_R = 3{,}58V$

$U_L = 7{,}15V$

Serieresonanskretsen

Det här avsnittet behandlar ett resonansfenomen som uppträder i seriekretsar med resistans, induktans och kapacitans.

Egenskaper hos serieresonanskretsar

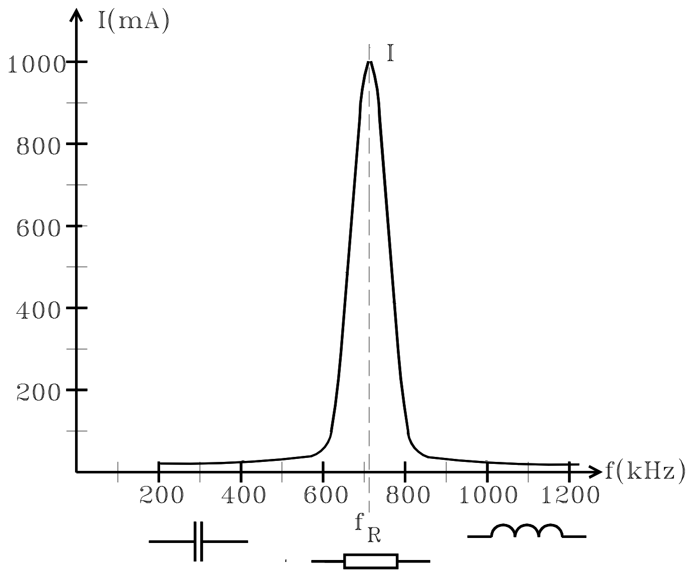


Bilden visar en serieresonanskrets bestående av en kondensator med kapacitansen C och en spole med induktansen L och lindningsresistansen R.

Strömmen och delspänningarna beräknas som vanligt med Ohms lag så som anges i kretsbilden.

Här slutar det vanliga. Impedansen Z har ett märkligt frekvensberoende.

Vid en bestämd *resonansfrekvens* f_R hos matningsspänningen U blir impedansen Z minimal, vilket gör att strömmen genom kretsen blir maximal, så som i grafen.



Det är dessutom så att kretsen ur fassynpunkt beter sig som en kondensator *under* resonansfrekvensen, som en resistor *vid* resonansfrekvensen och som en induktans *över* resonansfrekvensen.

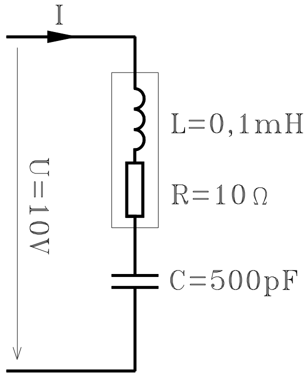
Att det är så beror på att kondensatorns reaktans är större än spolens vid frekvenser som är lägre än resonansfrekvensen och tvärtom.

Vid resonansfrekvensen är de kapacitiva och induktiva reaktanserna lika stora, $X_C = X_L$. Det kan vi använda för att beräkna resonansfrekvensen f_R:

$$X_L = X_C \quad \Rightarrow \quad 2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_R \cdot C} \quad \Rightarrow \quad f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Exempel

Beräkna och visa grafiskt hur X_L, X_C, Z, φ och I förändras med frekvensen runt resonansfrekvensen.



1. Börja med att beräkna f_R

$$f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-12}}} \approx 712\text{kHz}$$

2. Beräkna X_L, X_C, Z och φ vid f_R och för tre frekvenser under och tre över resonansfrekvensen och visa dessa med en graf.

f(kHz)	$X_L(\Omega)$	$X_C(\Omega)$	$Z(\Omega)$	φ(°)	I(mA)
200	126	1 590	1 464	-89,6	6,8
400	252	795	543	-88,9	18,4
600	378	530	152	-86,2	65,8
712	**447**	**447**	**10**	**0**	**1000,0**
800	504	398	107	84,6	94,3
1000	630	318	312	88,2	32,1
1200	754	265	489	88,8	20,1

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

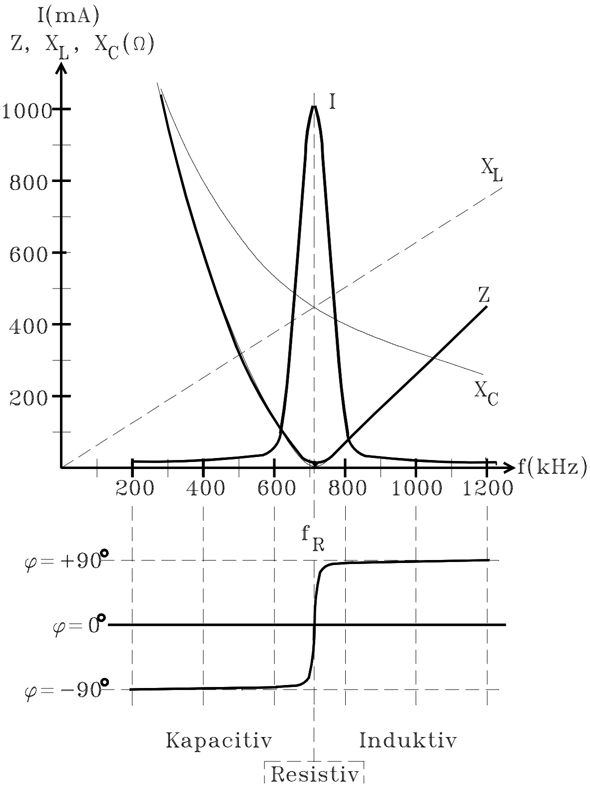
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

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

$$f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

$$\tan\varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

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

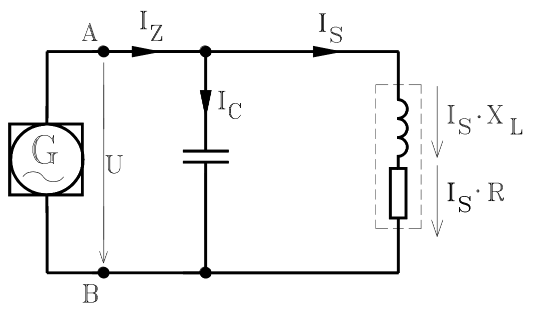


Parallellresonanskretsen

Egenskaper hos parallellresonanskretsar

En parallellkrets med en induktansspole och en kondensator har en frekvensberoende impedans $Z_{A\text{-}B}$ som sett från spänningskällan blir maximal vid en bestämd resonansfrekvens f_R.

Den tillförda matningsströmmen I_Z är då minimal och märkligt nog mindre än de båda grenströmmarna I_C och I_S.



Induktiva grenen

$$Z_S = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\tan\varphi_S = \frac{X_L}{R}$$

Vi kan konstatera att matningsspänningen U är densamma över båda parallellgrenarna.

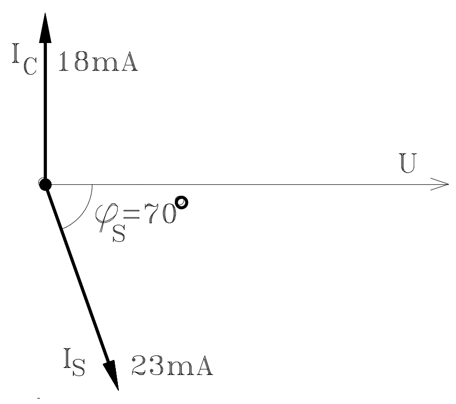
Lägg också märke till att den induktiva grenen är en RL-seriekrets och att strömmen genom den därför betecknats med I_S.

Storleken på strömmarna kan beräknas med Ohms lag om värdet på X_C, seriegrenens impedans Z_S och den impedans $Z_{A\text{-}B}$, som spänningskällan ser mellan A och B, är kända.

$$I_Z = \frac{U}{Z_{A\text{-}B}} \qquad I_C = \frac{U}{X_C} \qquad I_S = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad \text{med} \quad \tan\varphi_S = \frac{X_L}{R}$$

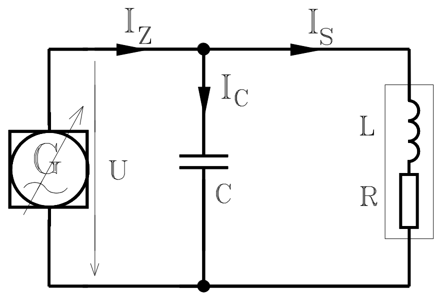
Strömmen I_C i den kapacitiva grenen är fasförskjuten 90° före U, medanI_S i den induktiva seriegrenen är fasförskjuten någonstans mellan 0° och 90° efter U beroende på värdet av R och X_L.

Anta att parallellkretsen i vårt exempel har följande grenströmmar: I_C =18mA med 90° fasförskjutning före U, I_S = 23mA och fasförskjuten φ_S = 70° efter U. Det ger oss nedanstående visardiagram.



Varifrån kommer formeln för resonansfrekvensen?

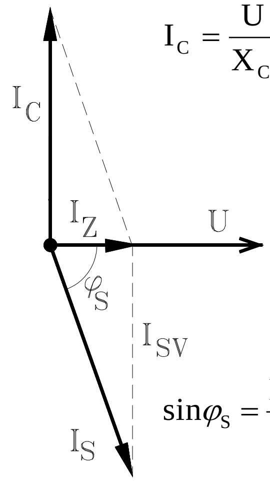
Nedanstående härledning tar sin början i visardiagrammet vid resonansfrekvensen f_R.



I visardiagrammet är sidorna i den övre och undre triangeln är lika stora. Lägg märke till att $I_C = I_{SV}$. Denna likhet är härledningens utgångspunkt.

Några grundförutsättningar

Här är några grundförutsättningar som alla är kopplade till kretsschemat, visardiagrammet och impedanstriangeln



$$I_C = \frac{U}{X_C}$$

$$\sin\varphi_S = \frac{I_{SV}}{I_S}$$

Kondensatorströmmen $\quad I_C = \frac{U}{X_C} \Rightarrow I_C = \frac{U}{\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f\cdot C}}$

Induktiva strömmen $\quad I_S = \frac{U}{Z_S} \Rightarrow I_S = \boxed{\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}}$

Induktiva grenens impedanstriangel $\quad \sin\varphi_S = \boxed{\frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}}$

Komposanten I_{SV}

$$\sin\varphi_S = \frac{I_{SV}}{I_S} \Rightarrow I_{SV} = I_S \cdot \sin\varphi_S \Rightarrow I_{SV} = \boxed{\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}} \cdot \boxed{\frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}}$$

Härledning av formel för resonansfrekvensen

$$I_C = I_{SV}$$

$$\frac{U}{X_C} = \boxed{\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \cdot \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}}$$

$$\frac{1}{X_C} = \frac{X_L}{R^2 + X_L^2}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f_R\cdot C}} = \frac{2\cdot\pi\cdot f_R\cdot L}{R^2 + (2\cdot\pi\cdot f_R\cdot L)^2}$$

$$2\cdot\pi\cdot f_R\cdot C = \frac{2\cdot\pi\cdot f_R\cdot L}{R^2 + (2\cdot\pi\cdot f_R\cdot L)^2}$$

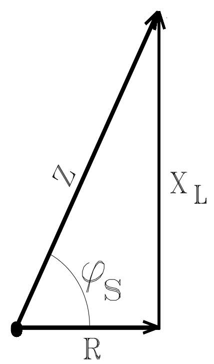
$$R^2 + (2\cdot\pi\cdot f_R\cdot L)^2 = \frac{L}{C}$$

$$4\pi^2 f_R^2 \cdot L^2 = \frac{L}{C} - R^2$$

$$4\cdot\pi^2\cdot f_R^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}$$

$$2\cdot\pi\cdot f_R = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

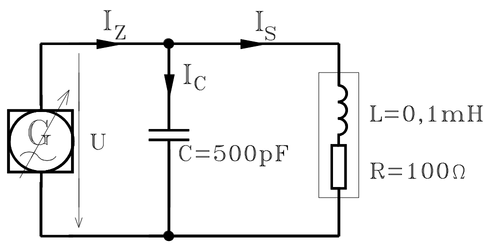
$$f_R = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$



Induktiva grenens impedanstriangel

$$\sin\varphi_S = \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Impedansens frekvensberoende

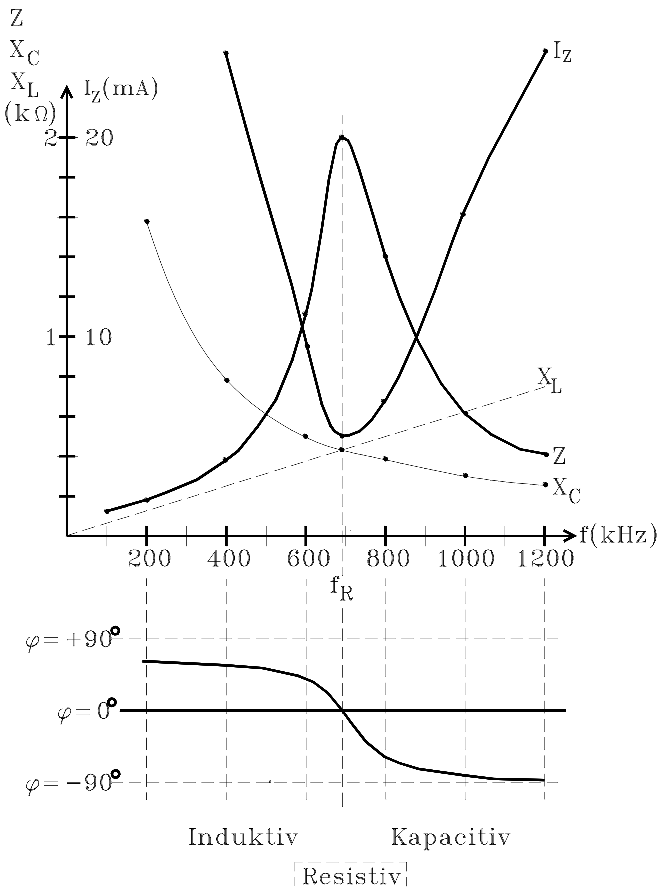


Hur ändrar sig matningsströmmen I_Z och vad händer med impedansen Z och fasförskjutningen φ då frekvensen avviker från resonansfrekvensen f_R?

Enklaste sättet att undersöka detta är att med konstant matningsspänning U, mäta I_Z vid olika frekvenser och beräkna Z med Ohms lag.

Anta att vi gjort så för kretsen i föregående exempel vid olika frekvenser runt resonansfrekvensen f_R = 693,7kHz och ritat grafer som visar hur I_Z och Z beror av frekvensen.

Anta dessutom att vi beräknat X_C och X_L vid samma frekvenser och mätt fasförskjutningen φ mellan I_Z och U.



Graferna visar att impedansen är maximal vid resonans, att matningsströmmen då har sitt lägsta värde och fasförskjutningen φ, mellan matningsströmmen I_Z och matningsspänningen U, är noll .

Det betyder att kretsen beter sig som en *resistans* vid resonansfrekvensen f_R.

Över f_R är $X_C < X_L$. Den kapacitiva grenströmmen blir då större än den induktiva, varvid kretsen uppför sig kapacitivt, dvs I_Z kommer efter U.

På motsvarande sätt är $X_C > X_L$ under resonansfrekvensen f_R, och kretsen beter sig induktivt.

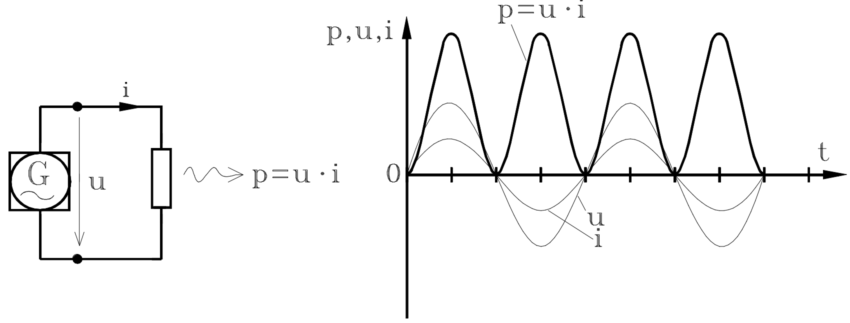
Effekt i växelströmskretsar

Det här avsnittet förklarar hur växelströmseffekt delas in i aktiv, reaktiv och skenbar effekt.

Effektkurvor

Effektutveckling i en växelströmsbelastning är i varje *ögonblick*, lika med produkten av spänningen och strömmens momentanvärden.

Momentanvärde = ögonblicksvärde



Resistiv belastning

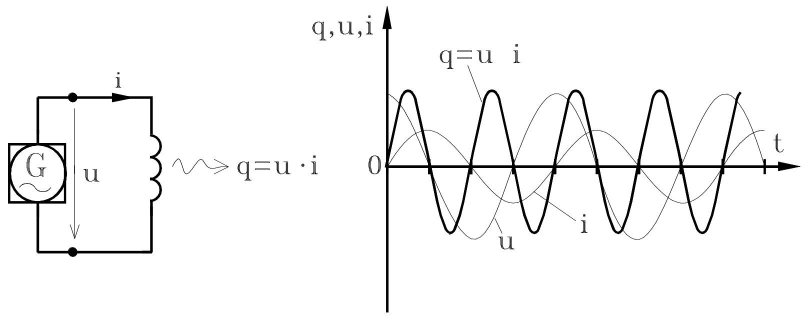
För *resistiva växelströmsbelastningar* innebär det att effekten varierar mellan noll och ett maxvärde, med ett medelvärde som är produkten av strömmens och spänningens effektivvärden.

$$P = U \cdot I$$

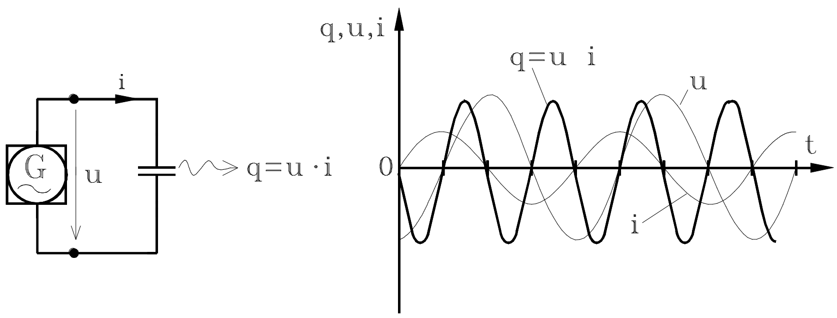
Ersätts effektivvärdena U och I med toppvärdena delat med roten ur två, ser man att effektens medelvärde är halva toppvärdeseffekten.

$$P = U \cdot I \quad \Rightarrow \quad P = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{\hat{u} \cdot \hat{i}}{2}$$

I *reaktiva belastningar* har ström- och spänningskurvan olika tecken på grund av fasförskjutningen. Det medför att effektkurvan hamnar symetriskt runt nollinjen och att reaktiva medeleffekten Q blir noll, trots att de reaktiva belastningarna drar ström.



Induktiv belastning

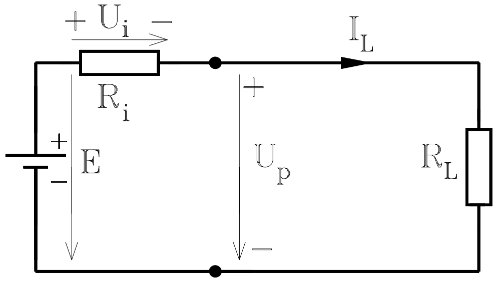


Kapacitiv belastning

Facit-till-testa-dig-själv

Likströmslära

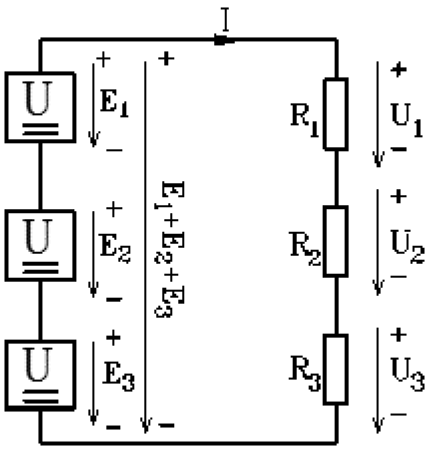
1 och 2.



3. $U_P = E - I_L \cdot R_i$

4. $I_L = \dfrac{U_P}{R_L}$ dvs Ohms lag

5 och 6.

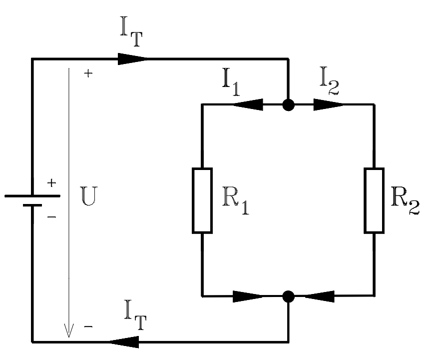


7. $E_1 + E_2 + E_3 = U_1 + U_2 + U_3$

8. $U_1 = I \cdot R_1$; $U_2 = I \cdot R_2$; $U_3 = I \cdot R_3$

9. $R_S = R_1 + R_2 + R_3$

10 och 11.



12. $I_T = I_1 + I_2$

13. $\dfrac{1}{R_P} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$

14. $W = U \cdot I \cdot t$

15. $P = U \cdot I \qquad P = I^2 \cdot R \qquad P = \dfrac{U^2}{R}$

16. $R = \rho \cdot \dfrac{l}{A}$

17.

Storhet	Enhet	Över/underenhet
Resistans:	1Ω	1kΩ = 1000Ω 1MΩ = 10^6 Ω
Ström:	1A	1mA = 0,001A
		1µA = 10^{-6} A
Spänning:	1V	1kV = 1000V
		1mV = 10^{-3} V
Energi:	1Ws	1kWh =$36 \cdot 10^5$Ws
Effekt	1 W	1kW = 1000W
		1mW = 10^{-3} W

18.

Kapacitans:	F (farad)	1µF = 10^{-6} F
		1nF = 10^{-9} F
		1pF = 10^{-12} F

19.Den tid det tar för en kondensator att laddas till 63% av en påtryckt spänning.

$T = R \cdot C$ med R i Ω, C i F och T i s

20. 5 T

21. 63 % av utgångsvärdet

22. Till kondensatorn. Det flyter aldrig någon ström genom en felfri kondensator.