Chalmers Tekniska Högskola och Göteborgs Universitet
Fysiska institutionen
SEA, PG, CAS, AK, PL och UL

Juli 1995
13 sidor

ET 3

VÄXELSTRÖMSMÄTNINGAR I

MÅLSÄTTNING.
Laborationen går ut på att bekanta sig med några enkla växelströmskretsar.

FÖRBEREDELSER.
Du skall ha läst igenom hela lab-PM:et och svarat på de hemuppgifter som finns i början.

Namn.. Kurs ....

Utförd den.. Handledare...

Godkänd den....................................... av..

OBS! Dessa hemuppgifter skall vara utförda innan laborationen för att du skall få deltaga vid laborationen.

1. Vad menas med amplitud- och effektivvärde hos växelström?

2. Vilket samband gäller mellan amplitud- och effektivvärde för sinusformad växelström samt för fyrkant- och triangelvåg?

3. Rita färdigt figur 2 där man med ett oscilloskop skall undersöka fasförskjutningen mellan spänning (CH2) och ström (CH1).

4. Rita upp en växelströmskrets, där ström och pålagd spänning är i fas.

5. Rita upp en växelströmskrets, där spänningen är fasförskjuten +90° i förhållande till strömmen.

6. Rita upp en växelströmskrets, där spänningen är fasförskjuten -90° i förhållande till strömmen.

7. Hur är fasförskjutningen mellan spänning och ström i en seriekrets, där induktansen dominerar (induktiv krets)?

SAMBAND MELLAN AMPLITUDVÄRDE OCH EFFEKTIV-VÄRDE.

Alla instrument för växelström och växelspänning är graderade i effektivvärde av sinusformad växelström och växelspänning. Instrumenten ger emellertid ett utslag som är proportionellt mot det likriktade medelvärdet, effektivvärdet eller toppvärdet av vågformen beroende på instrumentets konstruktion. Den storhet som ger det vridande momentet i ett vridspoleinstrument försett med likriktare är det *likriktade medelvärdet* av strömmen (spänningen). Sambandet mellan det likriktade medelvärdet, (I_{med}) och amplitudvärdet (I_0) för en sinusformad ström är:

$$I_{med} = \frac{2}{\pi} \cdot I_0 \quad \left(U_{med} = \frac{2}{\pi} \cdot U_0\right)$$

Effektivvärdet av sinusformad ström är som bekant:

$$I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \qquad \left(U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}\right)$$

Som förut nämnts är utslaget hos ett vridspoleinstrument, som är försett med likriktare för att möjliggöra växelströms- och växelspänningsmätningar, proportionellt mot medelvärdet av det vridande moment under perioden. Utslaget är således proportionellt mot likriktade medelvärdet, vilket anges av instrumentets likströmsskala. Det man önskar mäta är effektivvärdet. Växelströmsskalan måste således graderas i effektivvärde med hjälp av instrumentets likströmsskala. Då behövs kvoten mellan effektivvärde och likriktat medelvärde. Denna kvot kallas formfaktor. För sinusformad ström erhålles:

$$\frac{I_{eff}}{I_{med}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\pi}{2I_0} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

För en rent sinusformad signal råder således ett enkelt samband mellan beloppsmedelvärde och effektivvärde. Man kan då gradera instrumentet i effektivvärde trots att det i verkligheten mäter ett likriktat medelvärde. Beloppsmedelvärdet

$$I_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T |\, i(t) \,|\, dt \text{ svarar mot helvågslikriktning.}$$

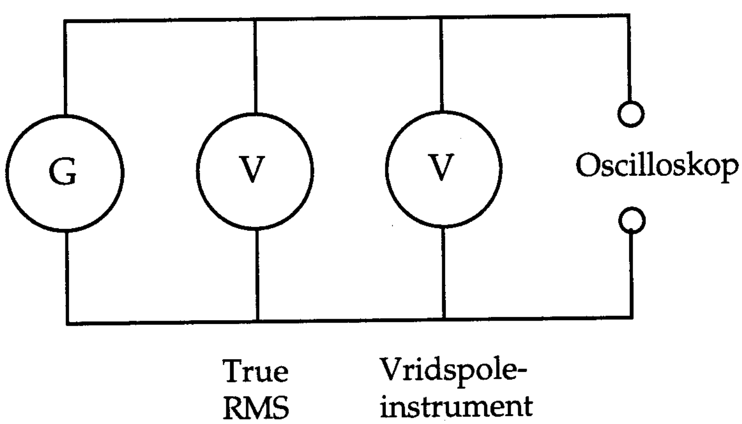
För att erhålla ett "sant" effektivvärdeskännande instrument kan man använda sig av växelströmmens värmeverkan. Värmen utnyttjas antingen för att alstra en termoemk eller för att påverka ett temperaturkänsligt motstånd. Dessa metoder är de noggrannaste eftersom kurvformsfel i princip inte kan förekomma. För kraft- och tonfrekvens kan en onoggrannhet mindre än 0.005 % uppnås i kommersiella instrument. För att skilja de effektivvärdeskännande instrumenten från övriga, vid sinusform effektivvärdesvisande instrument, använder man sig ibland av begreppet "sant effektivvärde" "true RMS". "True RMS" instrument kan också använda en IC-krets som omvandlar en växelspänning till en likspänning som är lika stor som växelspänningens effektivvärde. Av de i ET-laboratoriet tillgängliga instrumenten är Philips PM 2517X och Tektronix DM 502A av "true RMS" typ.

Tabell 1. Samband mellan momentan-, topp-, medel-, effektivvärde, form- och toppfaktor.

VÅGFORM	TOPPVÄRDE	MEDELVÄRDE	RMS	FORMFAKTOR	TOPPFAKTOR
i(t)	I_0	$\frac{1}{T}\int_0^T \lvert i(t) \rvert dt$	$\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2 dt}$	$\frac{\text{RMS}}{\text{medelvärde}}$	$\frac{\text{toppvärde}}{\text{RMS}}$
sinus	$I_{topp} = I_0$ $I_{topp,topp} = 2\, I_0$	$= \frac{2}{\pi} I_0$ $= 0.637\, I_0$	$= \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ $= 0.707\, I_0$	$= \frac{0.707\, I_0}{0.637\, I_0}$ $= 1.11$	$= \frac{I_0}{0.707\, I_0}$ $= 1.414$
fyrkant	$I_{topp} = I_0$ $I_{topp,topp} = 2\, I_0$	$= I_0$	$= I_0$	$= 1$	$= 1$
triangel	$I_{topp} = I_0$ $I_{topp,topp} = 2\, I_0$	$= \frac{I_0}{2}$ $= 0.5\, I_0$	$= \frac{I_0}{\sqrt{3}}$ $= 0.577\, I_0$	$= \frac{0.577\, I_0}{0.5\, I_0}$ $= 1.155$	$= \frac{I_0}{0.577\, I_0}$ $= 1.733$

Uppgift 1.

Mät växelspänningen från funktionsgeneratorn med ett oscilloskop (U_0 Volt, toppvärde), ett visarinstrument (U Volt) och ett RMS instrument samtidigt (Figur 1). Funktionsgeneratorns spänning väljs så instrumenten blir lätt avläsbara. Försök göra avläsningarna så noggrant som möjligt. Mätningen görs för tre olika spänningar vid frekvensen 1 kHz och för sinus-, fyrkant- och triangelform på utsignalen.



Figur 1. Jämförelse mellan olika typer av instrument

Varför bör funktionsgeneratorns utspänning mätas med bägge instrumenten samtidigt inkopplade?
Svar:

Tabell 2.

Sinusformad växelspänning				
U_0 (V)				
U (V)				
U_{RMS} (V)				Medelv:
U_0 / U_{RMS}				

Fyrkantvåg				
U_0 (V)				
U (V)				
U_{RMS} (V)				Medelv:
U_0 / U_{RMS}				

Triangelvåg				
U_0 (V)				
U (V)				
U_{RMS} (V)				Medelv:
U_0 / U_{RMS}				

Observera emellertid att kalibreringen i effektivvärde endast gäller för sinusvåg. Vid avvikelser från denna kurvform kommer ett icke effektivvärdeskännande instrument att visa "fel" och detta fel kan icke redovisas av instrumenttillverkaren utan att kurvformen är specificerad. För en vågform med formfaktorn F (se tabell 1) skall visarutslaget i ett medelvärdeskännande instrument graderat i effektivvärde av sinusform multipliceras med F/1.11 för att erhålla det verkliga effektivvärdet ifråga.

Hur förklarar Du att en multiplikation med F/1.11 ger Dig det rätta effektivvärdet?
Svar:

De tidigare mätta spänningarna med vridspoleinstrument skall således multipliceras med:

sinus .... fyrkantvåg .... triangelvåg ....

Stämmer de erhållna kvoterna U_0/U_{rms} med vad man teoretiskt (se tabell 1) kan vänta sig?
Svar:

ENKLA VÄXELSTRÖMSKRETSAR.

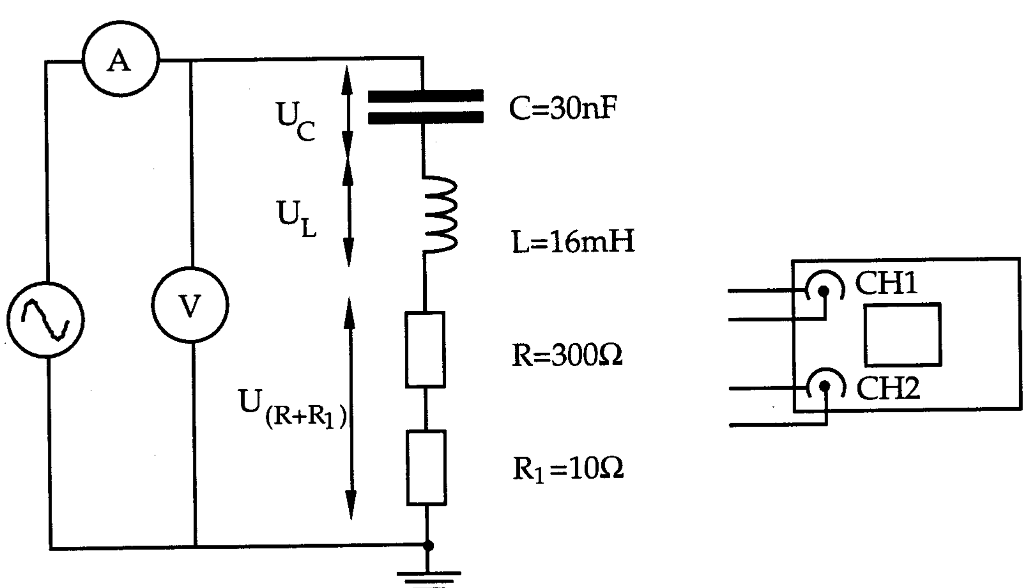
Redan i lab. ET2 kunde Du observera fasförskjutningar mellan ström och spänning i några enkla växelströmskretsar. Vi skall nu komplettera dessa resultat med visardiagram och direkt uppmätning av effektivvärden av växelspänningar och strömmar.

Om man vill studera strömmar och spänningar i växelströmskretsar kan man antingen använda effektivvärdesvisande instrument (ampere- och voltmetrar) eller ett oscilloskop (helst tvåkanalsoscilloskop). Med hjälp av detta kan man direkt mäta fasförskjutningen mellan ström och spänning. Ett oscilloskop kan emellertid inte direkt mäta strömmar men man kan utnyttja att i en ren resistans ligger ström och spänning i fas och för både momentanvärden, effektivvärden och toppvärden gäller sambandet $U = R \cdot I$. Är U och R kända kan således I beräknas.

Uppgift 2. Spänning och ström i en krets med enbart resistans.

Koppla nu upp kretsen i figur 2 nedan. Samma koppling skall Du använda i flera olika experiment.

Värdet på motståndet R_1 har valts så att spänningsfallet över detta alltid kan försummas i jämförelse med de övriga spänningarna i kretsen. På så sätt kan Du med oscilloskopet på ena ingången få en representation av strömmen (spänningen över R_1) och samtidigt en representation av den totala spänningen över kretsen på CH2-ingången. Trigga på CH1 (strömmen) i alla uppgifterna 2-6



Figur 2. Krets för studium av spänning och ström i en seriekrets. (Kretsen skall ritas färdigt hemma m h a texten ovan, hemuppgift 3.)

Kortslut nu spole och kondensator. På så sätt får Du en krets som bara består av ren resistans kopplad till en växelspänningsgenerator som ger en sinusformad spänning.

Rita ett kopplingsschema för kretsen.

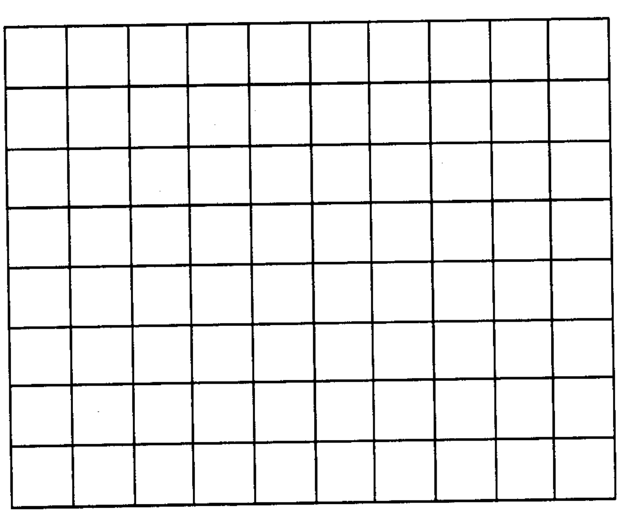
Mät med de effektivvärdesvisande instrumenten ström och total spänning i kretsen. Rita ett visardiagram (strömmen skall vara riktfas) som visar fasförhållandet i kretsen och jämför detta med bilden på oscilloskopskärmen (rita av denna bild bredvid visardiagrammet).

Mätning med volt- och amperemetrar ger:

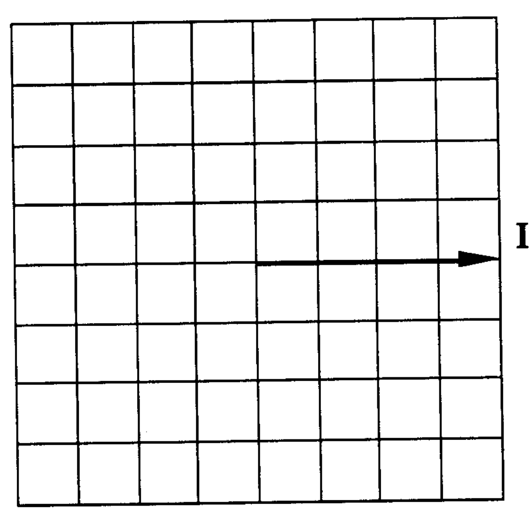
$U = \ldots\ldots\ldots\ldots V$ $I = \ldots\ldots\ldots\ldots A$ vilket medför att

$(R + R_1)I \approx R\,I = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots V$

Stämmer dessa resultat med avläsningarna på oscilloskopskärmen?
Svar:



Ström- och spänningskurvor på oscilloskopskärmen



Visardiagram i effektivvärdesskala

Uppgift 3. Spänning och ström i en krets med enbart kapacitans.

Kortslut nu istället induktansen och motståndet R. Om frekvensen f har valts så att $1/(2\pi fC) >> R_1$ kommer kretsen att uppföra sig som en ideal kondensator kopplad till en växelspänningskälla.

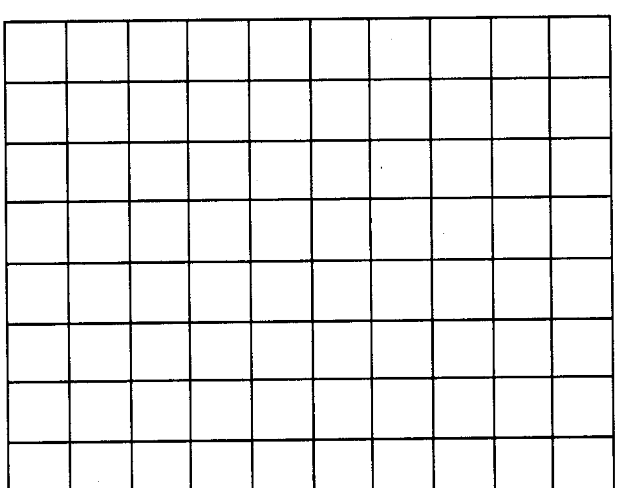
Rita ett kopplingsschema för kretsen.

Mät med volt- och amperemetrarna pålagd spänning och ström. Avläs fasförskjutningen på oscilloskopet. Rita av bilden på oscilloskopet och rita ett visardiagram.

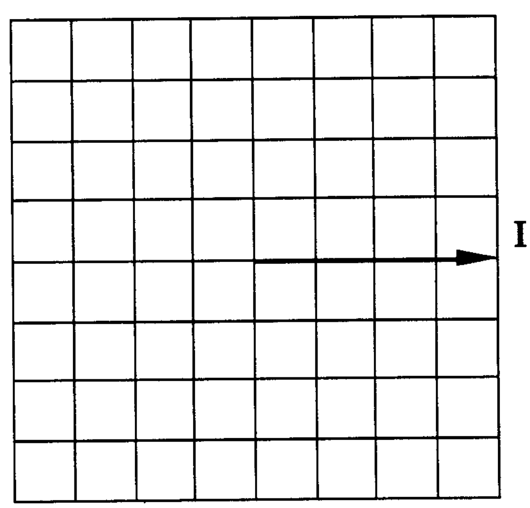
Mätning med volt- och amperemetrarna ger:

U = ...V I = ... A f = ... Hz medför att

$X_C = 1/(2\pi fC)$ = ... och $I/(2\pi fC)$ = ... V



Ström- och spänningskurvor på oscilloskopskärmen



Visardiagram i effektivvärdesskala

Detta innebär, att i en ren kapacitans ligger spänningen fasförskjuten .... före/efter strömmen (stryk det ej tillämpliga).

Uppgift 4. Spänning och ström i en krets med enbart induktans.

Kortslut nu istället motståndet R och kondensatorn. Om frekvensen f har valts så att $2\pi fL >> R_1$ kommer kretsen att uppföra sig som en ideal induktans kopplad till en växelspänningskälla.

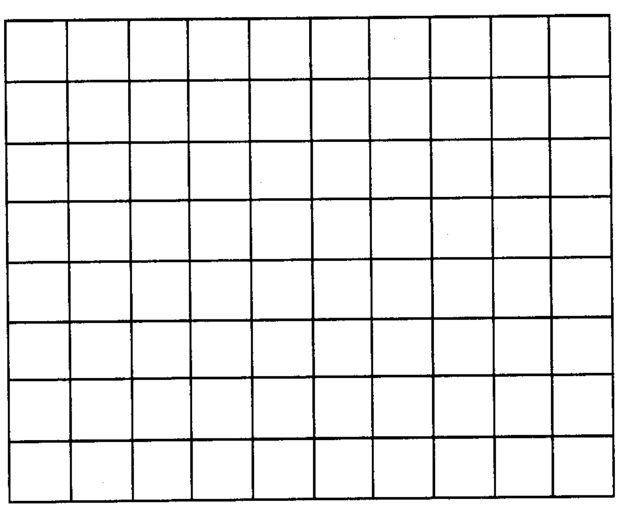
Rita ett kopplingsschema för kretsen.

Mät med volt- och amperemeter effektivvärdena av pålagd spänning och ström. Studera spännings- och strömkurvorna på oscilloskopskärmen och avläs fasförskjutningen mellan spänning och ström i en ren induktans. Rita av bilden på oscilloskopet och rita ett visardiagram.

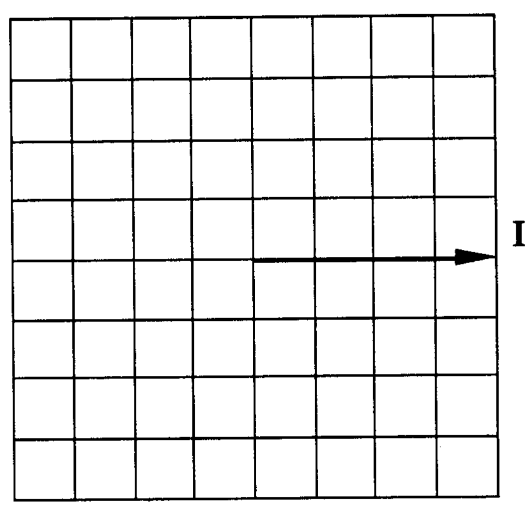
Mätning med volt- och amperemetrarna ger

U =.................. V I = ... A f = ... Hz medför att

$X_L = 2\pi fL =$ .... och $2\pi fLI =$ V



Ström- och spänningskurvor på oscilloskopskärmen



Visardiagram i effektivvärdesskala

Detta innebär, att i en ren induktans ligger spänningen fasförskjuten .... före/efter strömmen (stryk det ej tillämpliga).

Sammanfattning: Du har nu studerat inverkan av de grundläggande kretselementen i växelströmskretsen. Om Du skall behandla en *kombination* av ett eller flera av dessa element i en seriekrets erhåller Du helt enkelt den resulterande spänningen genom att i visardiagrammet vektoraddera spänningsvisarna för de olika komponenterna:

resistor:	U_R	i fas med	strömmen
induktans:	U_L	90° *FÖRE*	strömmen
kapacitans:	U_C	90° *EFTER*	strömmen

Vinkeln mellan den resulterande spänningsvisaren (= pålagd spänning) och strömvisaren i visardiagrammet ger fasförskjutningen. Jämför denna vinkel med den som kan avläsas på oscilloskopskärmen (Se ET2):

$360^o \cdot l_1/l_2$ = ...

Uppgift 5. Spänning och ström i en växelströmskrets med induktans och resistans i serie.

Kortslut nu enbart kondensatorn och justera frekvens, induktans etc så, att U_R är jämförbar med U_L (U_{R1} fortfarande försumbar!). Mät U_R, U_L, I och pålagd spänning U med lämpliga instrument. Mät fasförskjutningen mellan U och I med oscilloskopet. Rita visardiagram. Beräkna fasförskjutningen teoretiskt och jämför med avläst värde. Induktans och resistans i serie:

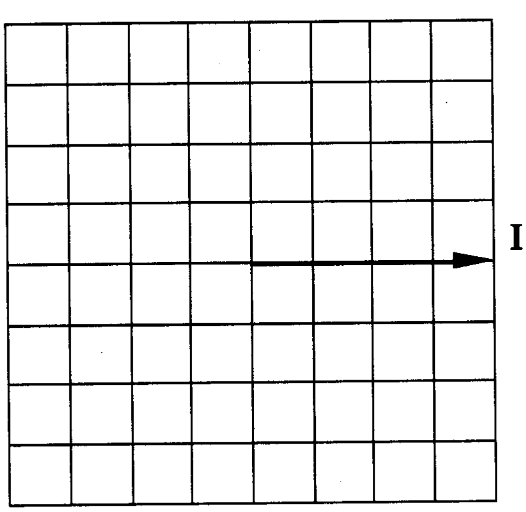
U = ...V U_R = ...V

U_L= V   I = ... A

Enligt växelströmsteorin är $U = I\sqrt{(R^2 + 4\pi^2 f^2 L^2)}$ = ... =

= V

och fasförskjutningen $\phi = \arctan \frac{2\pi fL}{R}$ = arctan .... = ...



Visardiagram för resistans och induktans i serie (effektivvärdesskala, strömmen riktvisare).

Mätning i figuren ger

U = ...V,

ϕ = ...

Oscilloskopet ger, att fasförskjutningen

ϕ = ...

Uppgift 6. Spänning och ström i en växelströmskrets med kapacitans och resistans i serie.

Kortslut i detta fall enbart induktansen och justera frekvensen så att U_R och U_C är av samma storleksordning (U_{R1} försumbar). Mät U, U_R, U_C och I samt avläs fasförskjutningen mellan U och I på oscilloskopet. Rita visardiagram. Beräkna fasförskjutningen teoretiskt och jämför med avläst värde.

Resistans och kapacitans i serie:

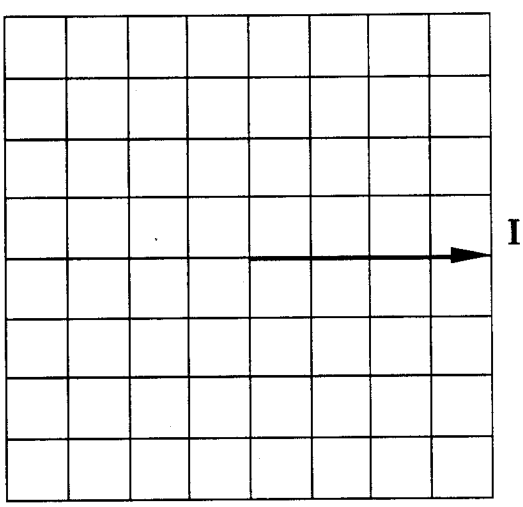
U = ...V $\qquad$ U_R = ...V

U_C = ...V $\qquad$ I = ...A

Enligt växelströmsteorin är $\qquad U = I\sqrt{R^2 + \dfrac{1}{4\pi^2 f^2 C^2}}$ = ...V =

=....................................V

Fasförskjutningen $\phi = -\arctan \dfrac{1}{2\pi fCR}$ = - arctan .... = ...



Visardiagram för resistans och kapacitans i serie (effektivvärdesskala, strömmen riktvisare).

Mätning i figuren ger

U = ...V,

ϕ = ...

Oscilloskopet ger, att fasförskjutningen

ϕ = ...

SERIERESONANSKRETSEN

I den allmänna seriekretsen med R, L och C i serie blir uttrycket för strömmen, I, respektive fasförskjutningen, ϕ:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}} , \qquad \phi = \arctan \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R}$$

Detta innebär, att om U är konstant har I ett maximivärde

$$I_{max} = \frac{U}{R} \quad \text{då} \quad 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

Detta kallas serieresonans med resonansfrekvensen

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Då är också fasförskjutningen mellan ström och spänning i kretsen = 0.

Uppgift 7.

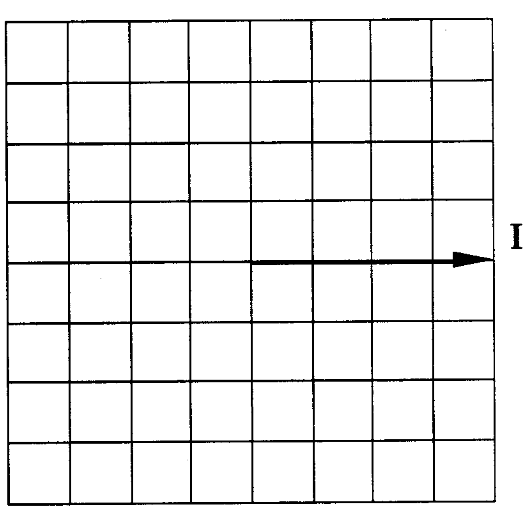
Variera frekvensen, studera samtidigt hur ström- och spänningskurvorna förskjuter sig på oscilloskopet då kretsen är omväxlande induktiv ($X_L > X_C$), rent resistiv ($X_L = X_C$) och kapacitiv ($X_L < X_C$). Justera sedan frekvensen f till resonans, dvs maximalt I.

Om Du dessutom ser till, att X_L och X_C är större än R (t ex 2 à 3 ggr större) finner Du, att U_L och U_C är betydligt större än den pålagda spänningen U.

Verifiera detta och rita visardiagram!

U = ...V $\qquad$ U_R = ...V

U_L = ...V $\qquad$ U_C = ... V



Visardiagram då serieresonans råder.

Inställd frekvens på funktionsgeneratorn

f_{res} = ...Hz

Teoretisk resonansfrekvens

f_0 = ...= .... Hz

Uppgift 8.

Byt ut L och R mot en spole med ferritkärna. Mät spänning och ström med oscilloskopet och beräkna sedan kvoten I/I_{max} för minst 10 olika frekvenser. Gör först ett snabbt svep över alla frekvenser för att hitta resonansfrekvensen och tag relativt många mätpunkter kring denna. Välj C = 5 nF eller 10 nF. OBS! Kontrollera att sinusgeneratorn ger samma amplitud på utsignalen vid de olika frekvenserna dvs att spänningen U över hela kretsen skall hållas konstant (justera vid behov).

Tabell 3.

f (Hz)	U (V)	I (mA)	I/I_{max}

En krets *Q-värde* eller *godhetstal* definieras som $Q = \omega_0 L/R$ och är ett mått på kretsens *selektivitet*. För att erhålla god selektivitet, dvs smal resonanskurva, bör Q-värdet vara så stort som möjligt. Ange ett uttryck för f_0 utgående från C, L och Q. (Se t.ex. läroboken.) Använd sedan uppmätta värden på C, L och Q för att beräkna $f_{0(teori)}$.

Rita ett diagram (på nästa sida) över I/I_{max} som funktion av frekvensen. Ur kurvan $I/I_{max} = f(f)$ bestämmes:

Resonansfrekvensen: f_0=...................... $f_{0(teori)}$ = ... = ...

Undre gränsfrekvensen: f_1 = ... Övre gränsfrekvensen f_2 = ...

(Man brukar definiera undre och övre gränsfrekvenserna hos resonanskurvan som de frekvenser för vilka strömmen sjunkit till $1/\sqrt{2}$ av maxvärdet.)

Bandbredden $\Delta f = f_2 - f_1$ = ...

Q-värdet ($Q = f_0/\Delta f$) $Q(f_0)$ = ...

Impedansen vid f_0 $|Z_s|_{min}$ = ...

Beräkna spolens induktans L m h a uttrycket för resonansfrekvensen L = ...
Mät C, L samt förlustfaktorn D (dissipation factor) för spolen vid mätfrekvensen, f_m, med precisionsinstrumentet HP 4261A LCR-meter:

C = ... L = ... D = ... f_m = ...

f_0 = ... $Q_L = \frac{1}{D} \cdot \frac{f_0}{f_m}$ = ...

$I/I_{max} = f(f)$ för en seriekrets.