

UNDERVISNINGSMINISTERIET, Erhvervsskoleafdelingen

Sektionen for Specialpædagogisk Støtte

011192

FOU-projekt nr. 519 (1991)
SPECIALUNDERVISNINGSMATERIALE
I HF-TEKNIK

Projektansvarlig: Faglærer Lorents Nielsen, Håndværkerskolen i Sønderborg

HF-TEKNIK:

Afsnit 1. SPOLER

Disposition.

- 1.1 Indledning**
- 1.2 Spolen som vekselstrømsmodstand**
- 1.3 Opgaver**
- 1.4 Spolen og dens tabsmodstand**
- 1.5 LR-serieled**
- 1.6 Opgaver**
- 1.7 LR-paralleled**
- 1.8 Opgaver**

2. KONDENSATORER

Disposition.

- 2.1 Kondensatorens opbygning**
- 2.2 Kondensatoren som vekselstrømsmodstand**
- 2.3 Opgaver**
- 2.4 RC-serieled**
- 2.5 Opgaver**
- 2.6 RC-paralleled**
- 2.7 Opgaver**

3. SVINGNINGSKREDSE

Disposition.

- 3.1 Indledning**
- 3.2 Seriesvingningskredse**
- 3.3 Beregningseksempel**
- 3.4 Opgaver**
- 3.5 Parallelsvingningskredse**
- 3.6 Beregningseksempel**
- 3.7 Opgaver**

4. IMPEDANSTRANSFORMERING

Disposition.

4.1 Indledning

4.2 Transformering generelt.

4.3 Opgaver

4.4 Impedanstransformering med induktivt udtag

4.5 Opgaver

4.6 Impedanstransformering med kapacitivt udtag

4.7 Opgaver

5. TRANSMISSIONSLINIER

Disposition.

5.1 Indledning

5.2 Transmissionskablet

5.3 Opgaver

5.4 Signalets udbredelseshastighed

5.5 Stående bølger

5.6 Beregningseksempel

5.7 Opgaver

Spoler.

Disposition.

1. Indledning.
2. Spolen som vekselstrømsmodstand.
3. Opgaver.
4. Spolen og dens tabsmodstand.
5. LR-serieledd.
6. Opgaver.
7. LR-parallell.
8. Opgaver.

1. Indledning.

Alle elektriske ledere er i princippet en spole. Det der bestemmer, om spolen får en virkning på strømmen, der går i den, er sammenhængen mellem spolens "størrelse" selvinduktion og frekvensen.

Spolens størrelse, eller selvinduktion, måles i "Henry" og benævnes med L.

Det der bestemmer størrelsen, er vindingstallet, spolens dimensioner og den magnetiske modstand i kernematerialet.

$$L = n^2 \times \mu \times \mu_0 / s \times q.$$

n = vindingstal.

μ = kernematerialets permabilitet.

μ_0 = permabiliteten i vacuum.

s = spolens længde i meter.

q = spolens tværsnitsareal.

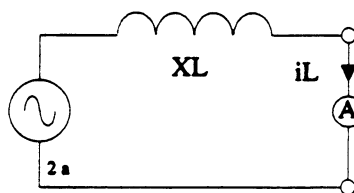
Permabilitet er et materiales evne til at lede magnetiske kraftlinier.

Se også afsnit 2.13 i LF og DC-teknik

2. Spolen som vekselstrømsmodstand.

Når man ser en spole i et elektriske kredsløb, er det næsten altid i forbindelse med en modstand eller en kondensator. For at forstå samspillet mellem spolen og andre komponenter, er det nødvendigt at have et grundigt kendskab til spolen som komponent.

Tilsluttes en spole til en vekselstrømsgenerator, viser det sig, at strømmen i spolen aftager med frekvensen. Det betyder, at spolens vekselstrømsmodstand er frekvensafhængig.



Vekselstrømsmodstanden kaldes også for reaktansen og benævnes XL. Man kan vise, at reaktansen er afhængig af selvinduktion og frekvensen.

$$XL = 2\pi \times f \times L.$$

Ved omskrivning af formelen kan man finde selvinduktion L eller frekvensen f.

$$L = XL / 2\pi \times f$$

$$f = XL / 2\pi \times L$$

Beregn vekselstrømsmodstande for en spole på 159 μ H, og indsæt værdierne i koordinatsystemet.

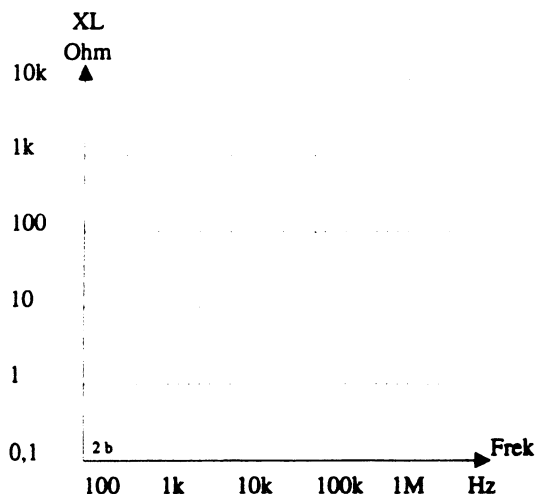
XL ved 100Hz = _____

XL ved 1kHz = _____

XL ved 10kHz = _____

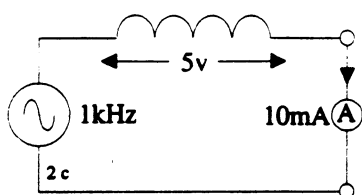
XL ved 100kHz = _____

XL ved 1MHz = _____



Strøm og spændingsforhold i spolen.

I den ideelle spole er strømmen 90° efter spændingen. Det får ingen indflydelse på beregningerne, man kan foretage, så længe spolen ikke er sat sammen med en anden komponent.



I det viste eksempel er strømmen 10mA, spændingen er 5v, og generatorfrekvensen er 1kHz.

I det efterfølgende skal X_L , L og effekten i spolen beregnes.

Ved hjælp af Ohms lov beregnes X_L .

$$X_L = u_L / i_L = 5v / 10mA = \underline{500\Omega}$$

Nu kan L beregnes.

$$L = X_L / 2\pi \times f = 500\Omega / 2\pi \times 1kHz$$

$$L = \underline{79,6mH \sim 80mH}$$

Når effekten i spolen skal beregnes, skal man huske, at strøm og spænding ikke er i fase.

Man kan vise, at den effekt spolen optager fra generatoren i den ene halvperiode, bliver afleveret igen i den anden halvperiode.

Med andre ord er effekten, der afsættes i spolen = 0W.

Bruger man en formel, skal den se ud på følgende måde.

$$P = u \times i \times \cos\Phi.$$

$\cos\Phi$ = faseforholdet mellem strømmen og spændingen

$$P = 5v \times 10mA \times \cos 90^\circ = \underline{0Watt}$$

Hvis spolen er behæftet med tab, er strøm og spænding forskudt mindre end 90° . Derfor er der et effekttab i spolen.

3. Opgaver.

Opgave 1.

En spole på 240mH skal bruges som filterspole i en switch mode netdel.

Switch frekvensen er 12kHz.

Beregn spolens vekselstrømsmodstand.

$$X_L = \underline{\hspace{5cm}}$$

Opgave 2.

Hvilken spole skal der bruges, når den skal have en reaktans på $3,6k\Omega$ ved 2,4kHz.

$$L = \underline{\hspace{5cm}}$$

Opgave 3.

Når $f = 19kHz$ og $L = 120\mu H$ er

$$X_L = \underline{\hspace{5cm}}$$

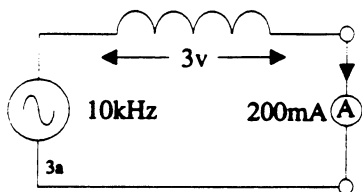
Opgave 4.

Ved hvilken frekvens har en spole på 160mH en reaktans på $10k\Omega$.

$$f = \underline{\hspace{5cm}}$$

Opgave 5.

I det viste eksempel er $u_L = 3\text{V}$, $i_L = 200\text{mA}$ og frekvensen er 10kHz

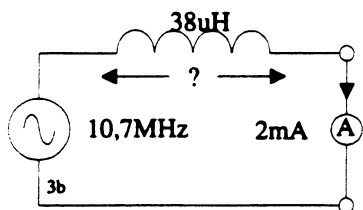


Beregn spolen.

$L =$ _____

Opgave 6.

I det viste eksempel er frekvensen $10,7\text{MHz}$, $L = 38\mu\text{H}$ og $i_L = 2\text{mA}$.

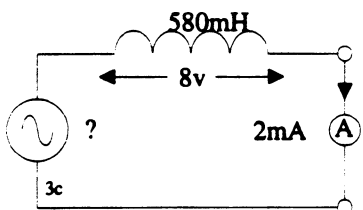


Beregn spændingen over spolen.

$u_L =$ _____

Opgave 7.

I det viste eksempel er $L = 580\text{mH}$, $u_L = 8\text{V}$ og $i_L = 2\text{mA}$.

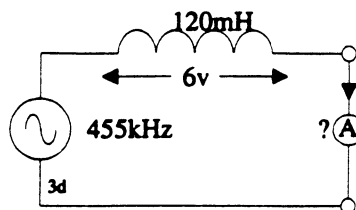


Beregn frekvensen.

$f =$ _____

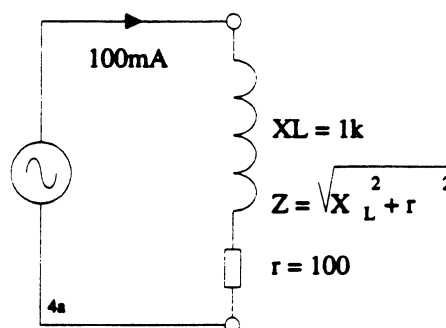
Opgave 8.

I det viste eksempel er frekvensen $= 455\text{kHz}$, $L = 120\text{mH}$ og $u_L = 6\text{V}$.



Beregn strømmen i spolen.

$i_L =$ _____

4. Spolen og dens tabsmodstand.

På tegningen har spolen en serietabsmodstand. Den benævnes r .

Tabsmodstanden stammer dels fra trådens ohmske modstand, og dels fra tabene i kernematerialet.

Den samlede vekselstrømsmodstand kaldes spolens impedans Z .

Den består af en reaktans X_L og af tabsmodstanden r .

Når den samlede impedans skal findes, KAN MAN IKKE lægge dem sammen.

Z er altså IKKE $= X_L + r$.

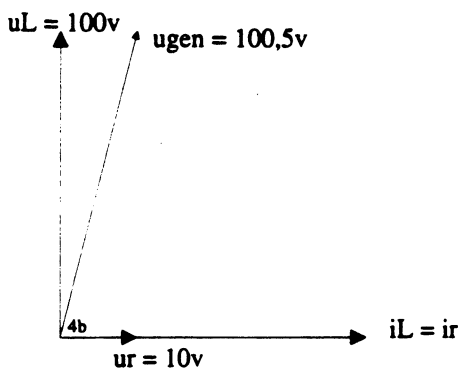
Grunden til det er, at strøm og spænding ikke er i fase i spolen.

Når spolen deles op som vist, betragter man den som en ideel spole med en modstand i serie.

I den ideelle spole er strøm og spænding faseforskudt 90° .

For at forstå hvorfor de to komponenter ikke kan lægges sammen, kan man se på et vektordiagram.

I en serieforbindelse er det strømmen, der er fælles for de to komponenter.



På tegningen kan man se, at strømmen er fælles.

Den er tegnet på den vandrette akse.

Spændingen over modstanden er i fase med strømmen. Den er også tegnet på den vandrette akse.

I en spole er spændingen 90° før strømmen. Den er derfor tegnet opad.

Man kan nu finde spændingen over de enkelte komponenter.

Se tegningen på den foregående side.

$$u_r = i \times r = 100\text{mA} \times 100\Omega = \underline{10\text{v}}$$

$$u_L = i \times X_L = 100\text{mA} \times 1\text{k}\Omega = \underline{100\text{v}}$$

For at finde den samlede spænding skal man bruge Pythagoras.

$$u_{\text{gen}} = \sqrt{u_L^2 + u_r^2} = \underline{100,5\text{v}}$$

Når man kender den samlede strøm og spænding fra generatoren, kan man finde den samlede impedans.

$$Z = u_{\text{gen}} / i_{\text{gen}} = 100,5\text{v} / 100\text{mA} = \underline{1005\Omega}$$

Den samlede impedans kan findes på følgende måde.

$$Z = \sqrt{Z^2 + r^2}$$

$$Z = \sqrt{1\text{k}^2 + 100^2} = \underline{1005\Omega}$$

Hvis formlen omskrives, kan man finde r eller X_L .

$$r = \sqrt{Z^2 - X_L^2}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - r^2}$$

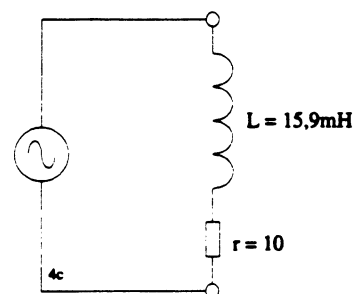
I forbindelse med spoler ser man ofte, at der bruges et udtryk der hedder Q.

Q er et udtryk for spolens "kvalitet". Q er forholdet mellem X_L og r. Da X_L er frekvensafhængig, er Q det også.

$$Q = X_L / r$$

I det viste eksempel er $Q = 1\text{k} / 100 = \underline{10}$.

For den viste opstilling skal X_L , Z og r indtegnes i et koordinatsystem.



Start med at beregne X_L ved følgende frekvenser.

X_L ved 10Hz = _____

X_L ved 100Hz = _____

X_L ved 1kHz = _____

X_L ved 10kHz = _____

X_L ved 100kHz = _____

Beregn nu Z ved følgende frekvenser.

Z ved 10Hz = _____

Z ved 100Hz = _____

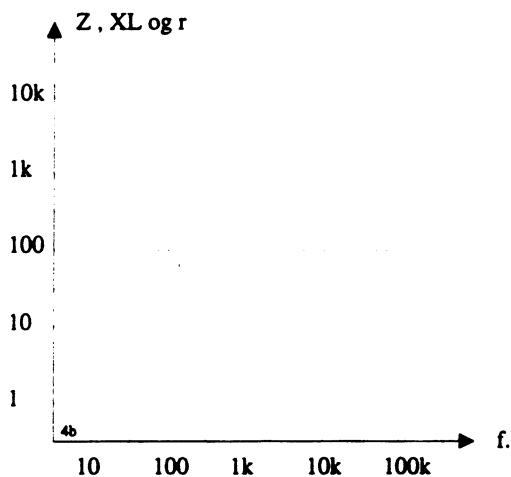
Z ved 1kHz = _____

Z ved 10kHz = _____

Z ved 100kHz = _____

Indtegn værdierne for r , X_L og Z i koordinatsystemet.

Benævn kurverne med r , X_L og Z .



Beregn nu Q ved følgende frekvenser.

Q ved 10Hz = _____

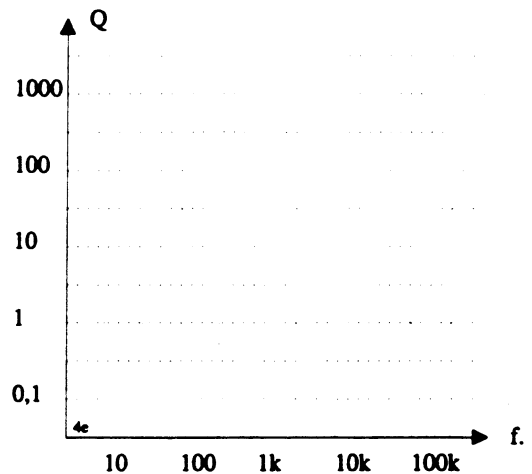
Q ved 100Hz = _____

Q ved 1kHz = _____

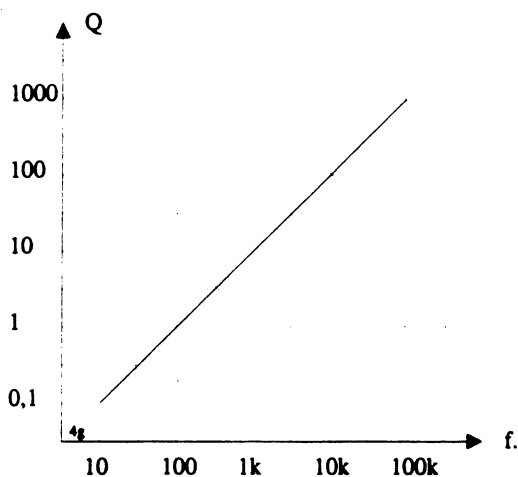
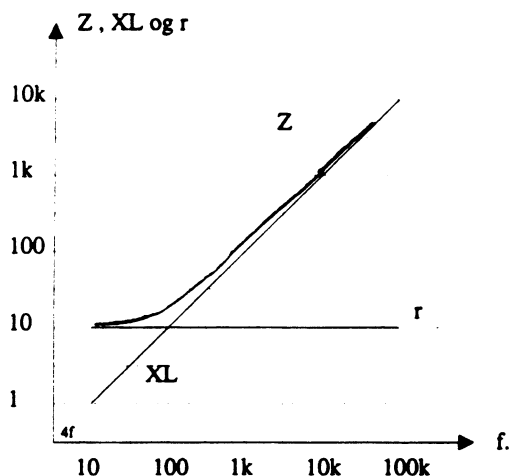
Q ved 10kHz = _____

Q ved 100kHz = _____

Indtegn værdierne for Q i koordinatsystemet.



På næste side kan du se hvordan kurverne skal se ud.



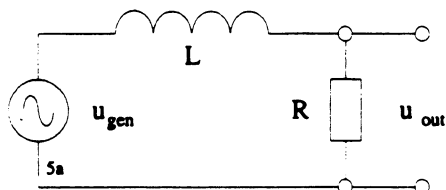
5. LR-serieled.

I det efterfølgende ses der bort fra spolens tabsmodstand, da den er uden betydning, i de led der skal vise her.

Se også afsnit 2.17 i LF og DC teknik.

Første skal man afgøre om der er tale om et HP-led eller et LP-led.

Her skal man huske at spolen virker som en kortslutning ved DC.



Man starter med at tilføre en DC spænding til ledet. Da spolen virke som en kortslutning vil uout være den samme som uin.

Øges frekvensen stiger spolens reaktans, og udgangsspændingen falder.

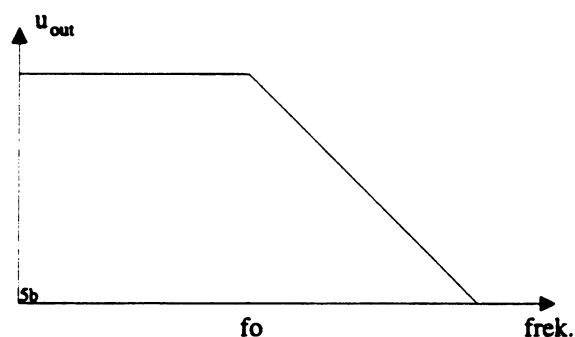
Ved den frekvens hvor $X_L = R$ er overgangsfrekvensen.

Her er udgangsspændingen faldet 3dB.

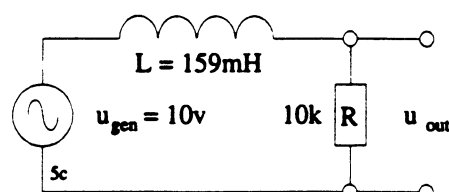
Udgangsspændingen vil inden overgangsfrekvensen falde lidt.

Efter overgangsfrekvensen falder den med 6dB/oktav eller 20dB/dekade.

Man ser dog ofte at udgangskurven er erstattet af rette linier.



I det efterfølgende skal det viste LP-ledet undersøges nærmere.



Først skal overgangsfrekvensen beregnes.

Det er den frekvens hvor $X_L = R$.

Man går ud fra grundformlen for en spole.

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

Ved at omskrive formelen og erstatte X_L med R fås følgende:

$$f_o = R / 2\pi \times L$$

$$f_o = 10k / 2\pi \times 159m = \underline{\underline{10kHz}}$$

Nu kan den samlede impedans ved fo findes.

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

$$Z = \sqrt{10k^2 + 10k^2} = \underline{14,14k\Omega}$$

Strømmen i kredsløbet kan nu findes.

$$i_{gen} = iR = iL = iZ = u_{gen} / Z$$

$$i_{gen} = 10v / 14,14k\Omega = \underline{707\mu A}$$

Når man kender strømme, kan spændingen over de enkelte komponenter findes. Ved fo er $X_L = R$. Derfor er spændingen over spolen og spændingen over modstanden ens.

$$u_L = u_R = iZ \times R$$

$$u_L = u_R = 707\mu \times 10k = \underline{7,07v \sim 7,1v}$$

Hvis dæmpningen i dB skal beregnes kan følgende fremgangsmåde benyttes.

Først regnes dæmpningen i antal gange. Det gør man ved at dividere udgangsspændingen op i indgangsspændingen.

$$\text{Dæmpningen i gange} = u_{in} / u_{out} = 10v / 7,1v = 1,41 \text{ gange.}$$

Herefter tages logaritmen af 1,41. Det er = 0,149. Resultatet ganges nu med 20. Det er 3.

$$\text{Dæmpningen i dB} = 20 \times \text{Log} (u_{in} / u_{out}) =$$

$$20 \times \text{Log} (10v / 7,1v) = \underline{3dB.}$$

Hvis man kender X_L og den samlede impedans af et LR-led, kan man finde R.

Man går ud fra grundformlen og omskriver den.

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} \text{ det medfører at}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \text{ Her er det}$$

$$X_L = \sqrt{14,14k^2 - 10k^2} = \underline{1k\Omega}$$

Kender man spændingen over modstanden og spændingen fra generatoren, kan spændingen over spolen findes.

Man går ud fra grundformlen og omskriver den.

$$u_{gen} = \sqrt{u_L^2 + u_R^2}.$$

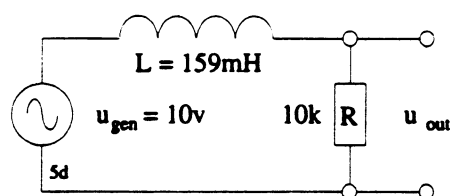
Det medfører at

$$u_L = \sqrt{u_{gen}^2 - u_R^2}$$

Her er det

$$u_L = \sqrt{10v^2 - 7,1v^2} = \underline{7,1v}$$

For det viste led skal u_{out} beregnes ved følgende frekvenser.



100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz og 1MHz

Først skal X_L beregnes.

$$X_L \text{ ved } 100\text{Hz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_L \text{ ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_L \text{ ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_L \text{ ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_L \text{ ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Derefter skal Z beregnes.

Z ved 100Hz = _____

Z ved 1kHz = _____

Z ved 10kHz = _____

Z ved 100kHz = _____

Z ved 1MHz = _____

Når man kender den samlede impedans, kan strømmen findes.

iR ved 100Hz = _____

iR ved 1kHz = _____

iR ved 10kHz = _____

iR ved 100kHz = _____

iR ved 1MHz = _____

Når man kender strømmen i modstanden, kan spændingen over den beregnes.

uR ved 100Hz = _____

uR ved 1kHz = _____

uR ved 10kHz = _____

uR ved 100kHz = _____

uR ved 1MHz = _____

Når man kender u_{out} og u_{in} kan man finde dæmpningen i antal gange og i dB.

Ved 100Hz gange _____ dB _____

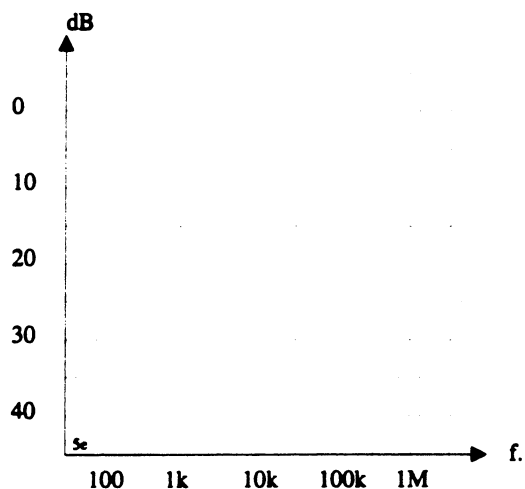
Ved 1kHz = gange _____ dB _____

Ved 10kHz = gange _____ dB _____

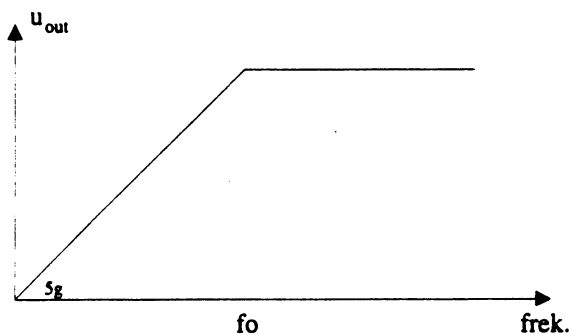
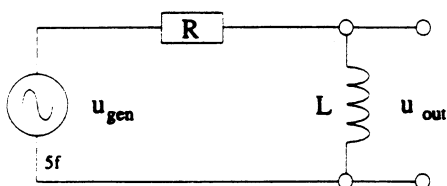
Ved 100kHz = gange _____ dB _____

Ved 1MHz = gange _____ dB _____

Indtegn dæmpningen som funktion af frekvensen i koordinatsystemet.



Når spolen og modstanden byttes om, kaldes ledet et højpasled.



Tilføres ledet en DC spænding, vil udgangsspændingen være 0v, da spolen virker som en kortslutning.

Hvis indgangssignalets frekvensen øges, stiger vekselstrømsmodstanden i spolen.

Når bundmodstanden i spændingsdeleren stiger, vil udgangsspændingen også stige.

Ved overgangsfrekvensen er $XL = R$.

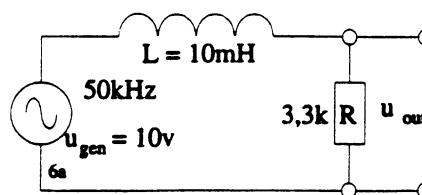
Her er spændingen over spolen og modstanden lige store.

Ved f_0 er udgangsspændingen faldet 3dB.

De samme formler anvendes til såvel et HP-led som et LP- led.

6. Opgaver

Opgave 1.

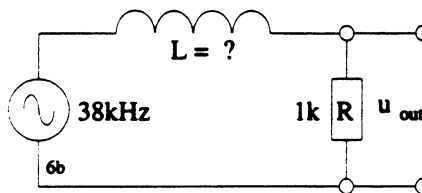


Beregn den samlede impedans og u_{out} ved 50kHz.

$Z =$ _____

$u_{out} =$ _____

Opgave 2.

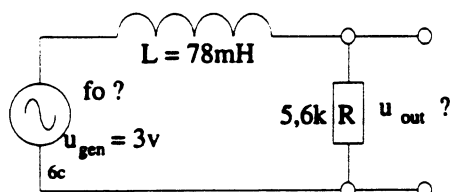


Det viste led skal have en f_0 på 38kHz.

Beregn L.

$L =$ _____

Opgave 3.

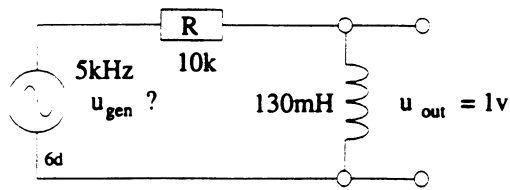


Beregn f_0 samt u_{out} ved 100kHz.

$f_0 =$ _____

$u_{out} =$ _____

Opgave 4.

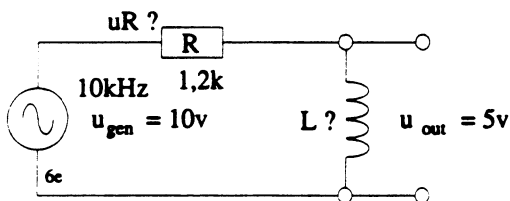


På det viste led måles udgangsspændingen til 1v ved 5kHz.

Beregn u_{in} .

$u_{in} =$ _____

Opgave 5.



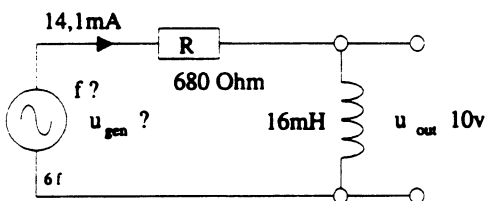
For det viste led ønskes en udgangsspænding på 5v ved 10kHz.

Beregn u_R og L .

$u_R =$ _____

$L =$ _____

Opgave 6.



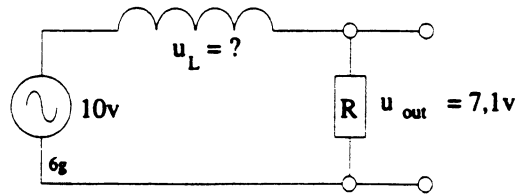
I den viste opstilling måles strømmen til 14,1mA og u_L til 10v.

Beregn u_{gen} og generatorfrekvensen.

$u_{gen} =$ _____

$f_{gen} =$ _____

Opgave 7.

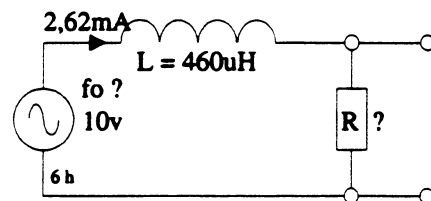


I den viste opstilling måles u_{gen} til 10v og u_{out} til 7,1v.

Beregn u_L .

$u_L =$ _____

Opgave 8.



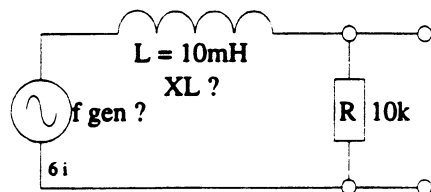
I den viste opstilling måles der 2,62mA ved f_o .

Beregn f_o og R .

$f_o =$ _____

$R =$ _____

Opgave 9.



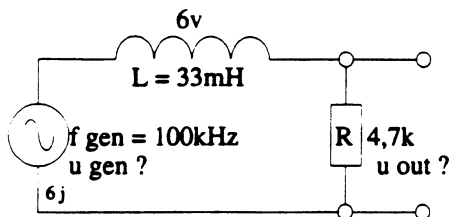
I den viste opstilling måles den samlede impedans til 12k Ohm.

Beregn X_L og generatorfrekvensen.

$X_L =$ _____

$f_{gen} =$ _____

Opgave 10.

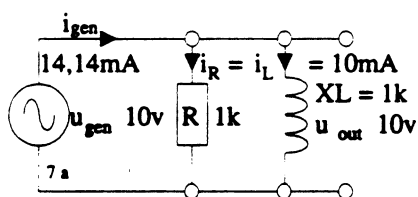


I den viste opstilling måles der 6v over spolen.
Generatorfrekvensen er 100kHz.
Beregn u_R og u_{gen} .

$u_R =$ _____

$u_{gen} =$ _____

7. LR-parallell.



Hvis en reaktans og en modstand parallelforbinderes, bliver den samlede impedans altid mindre end den mindste "modstand".

Hvis to almindelige modstande, der er lige store, parallelforbinderes, bliver den samlede modstand det halve af de enkelte modstande.

Hvis det er en reaktans og en modstand, der er parallelfordbundet, er det anderledes.

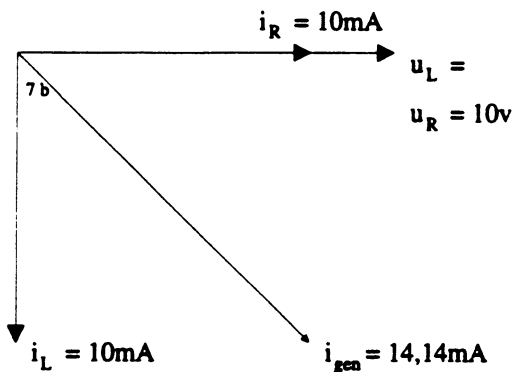
Grunden til det er, at strøm og spænding ikke er i fase i reaktansen.

Hvis det er en spole der er tale om, er spændingen 90° før strømmen.

Vektordiagrammet i næste spalte viser strøm- og spændingsforholdene i en parallelforbindelse af se spole og en modstand.

I det viste eksempel er $XL = R = 1k$, og $u_{gen} = 10v$.

Strømmen i spolen og modstanden er her 10mA, men som det fremgår af vektordiagrammet, bliver den samlede strøm IKKE 20mA.



Hvis den samlede strøm skal beregnes, skal man bruge Pythagores.

$$i_{gen} = \sqrt{i_L^2 + i_R^2}.$$

Her er det

$$i_{gen} = \sqrt{10mA^2 + 10mA^2} = \underline{\underline{14,14mA}}.$$

Når den samlede generatorstrøm og generatorspændingen kendes, kan impedansen også findes.

$$Z = u_{gen} / i_{gen} = 10v / 14,14mA = \underline{\underline{707 \Omega}}.$$

Skal man finde den samlede impedans, kan man bruge følgende fremgangsmåde.

$$Z = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{XL^2}}} = 707 \text{ Ohm}$$

$$R = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Z^2} - \frac{1}{XL^2}}}$$

$$XL = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Z^2} - \frac{1}{R^2}}}$$

Herover er det vist, hvordan formelen kan omskrives.

Overgangsfrekvensen for ledet er den frekvens hvor $X_L = R$.

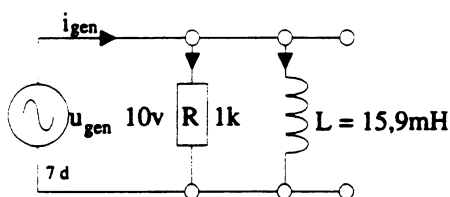
Ved f_0 er strømmen i spolen og modstanden lige store.

f_0 kan findes på følgende måde.

$$f_0 = R / 2\pi \times L$$

For det viste led skal generatorstrømmen beregnes ved følgende frekvenser

100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz og 1MHz



Først skal X_L beregnes

X_L ved 100Hz = _____

X_L ved 1kHz = _____

X_L ved 10kHz = _____

X_L ved 100kHz = _____

X_L ved 1MHz = _____

Derefter skal Z beregnes.

Z ved 100Hz = _____

Z ved 1kHz = _____

Z ved 10kHz = _____

Z ved 100kHz = _____

Z ved 1MHz = _____

Når man kender den samlede impedans kan strømmen findes.

igen ved 100Hz = _____

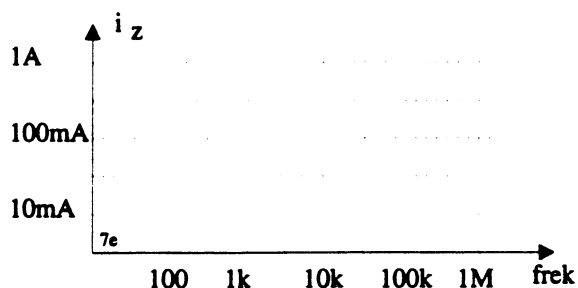
igen ved 1kHz = _____

igen ved 10kHz = _____

igen ved 100kHz = _____

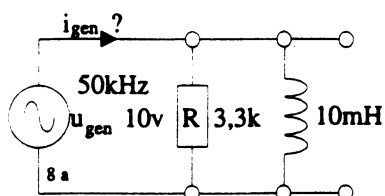
igen ved 1MHz = _____

Indtegn generatorstrømmen som funktion af frekvensen i koordinatsystemet.



8. Opgaver.

Opgave 1.

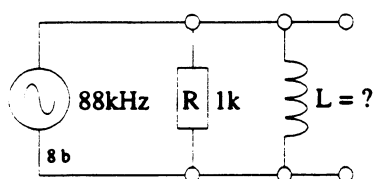


Beregn den samlede impedans og i_{gen} ved 50kHz.

$Z =$ _____

$i_{\text{gen}} =$ _____

Opgave 2.

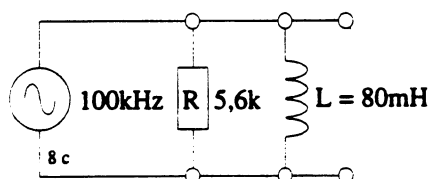


Det viste led skal have en f_0 på 88kHz.

Beregn L .

$L =$ _____

Opgave 3.

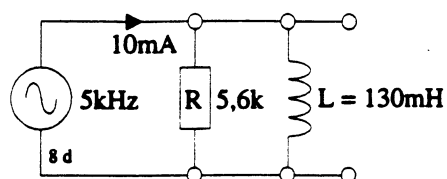


Beregn f_0 og i_{gen} ved 100kHz.

$f_0 =$ _____

$i_{\text{gen}} =$ _____

Opgave 4.

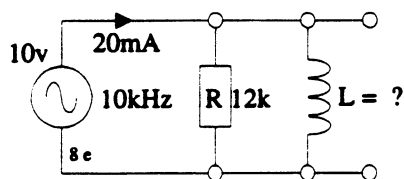


På det viste led måles igen til 10mA ved 5kHz.

Beregn u_{gen}

$u_{\text{gen}} =$ _____

Opgave 5.



For det viste led ønskes en generatorstrøm på

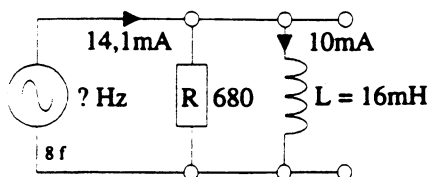
20mA ved 10kHz.

Beregn i_R og L .

$i_R =$ _____

$L =$ _____

Opgave 6.



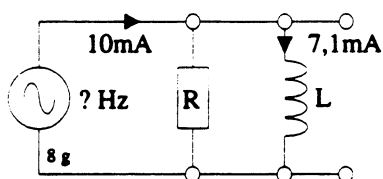
I den viste opstilling måles strømmen til 14,1mA og i_L til 10mA.

Beregn u_{gen} og generatorfrekvensen.

$u_{\text{gen}} =$ _____

$f_{\text{gen}} =$ _____

Opgave 7.

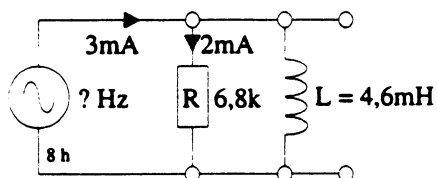


I den viste opstilling måles i_{gen} til 10mA og i_L til 7,1mA.

Beregn i_R .

$i_R =$ _____

Opgave 8.



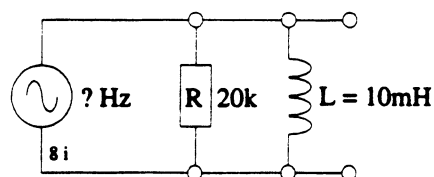
I den viste opstilling måles der 2mA i modstanden og 3mA fra generatoren.

Beregn f_{gen} og i_L .

$f_{\text{gen}} =$ _____

$i_L =$ _____

Opgave 9.



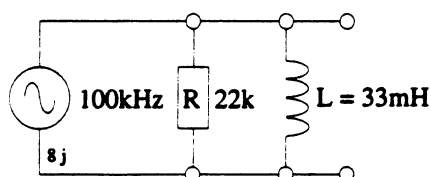
I den viste opstilling måles den samlede impedans til 12k.

Beregn X_L og f_{gen} .

$X_L =$ _____

$f_{\text{gen}} =$ _____

Opgave 10.



I den viste opstilling måles der 6V over spolen. Generatorfrekvensen er 100kHz.

Beregn i_R og i_{gen} .

$i_R =$ _____

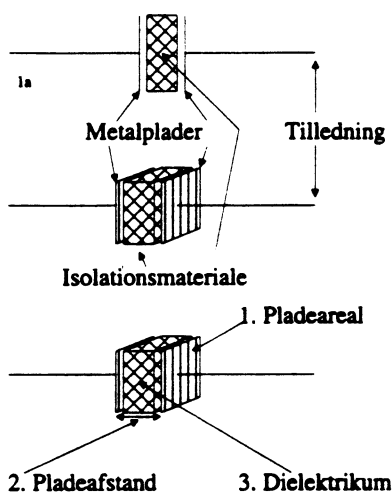
$i_{\text{gen}} =$ _____

Kondensatorer.

Disposition.

1. Kondensatorens opbygning.
2. Kondensatoren som vekselstrømsmodstand.
3. Opgaver.
4. RC-serieled.
5. Opgaver.
6. RC-paralleled.
7. Opgaver.

1. Kondensatorens opbygning.



Af tegningen fremgår det, at en kondensator i princippet er 2 metalplader adskilt af et isolationsmateriale.

En kondensators kapacitet -størrelse- måles i Farad.

De faktorer der bestemmer kapaciteten er:

a. Pladernes areal.

b. Afstanden mellem pladerne.

c. Isolationsmaterialets dielektricitetskonstant.
Det kan oversættes til materialets evne til, at overføre elektriske kraftlinier fra den ene plade til den anden.

a. Pladearealets betydning.

Kondensatorens kapacitet er ligefrem proportional med pladearealets størrelse. Det betyder, at hvis

pladearealt fordobles, stiger kapaciteten til det dobbelte.

b. Betydningen af pladeafstanden.

Man kan ved forsøg vise, at kapaciteten er omvendt proportional med pladernes afstand. Det betyder, at øges pladeafstanden til det dobbelte, falder kapaciteten til det halve.

c. Betydningen af isolationsmaterialet.

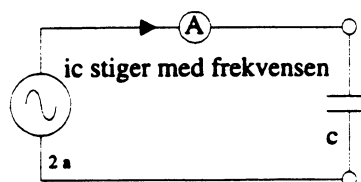
Det materiale der sidder mellem de to metalplader, kan f.eks. være polystyren, glimmer, keramik eller luft. Hvis det er luft, er dielektricitetskonstanten 1.

Hvis det erstattes polystyren, der har en dielektricitetskonstanten på f. eks. 100, bliver kondensatorens kapacitet 100 gange større.

Se også afsnit 2.14 i LF og DC-teknik

2. Kondensatoren som vekselstrømsmodstand.

En kondensator i et elektriske kredsløb, arbejder næsten altid sammen med en modstand eller en spole. For at forstå samspillet mellem kondensatoren og andre komponenter, er det nødvendigt at have et grundigt kendskab til kondensatoren som komponent.



Tilsluttes en kondensator til en vekselstrømsgenerator, viser det sig at strømmen i kondensatoren stiger med frekvensen. Det betyder at kondensatorens vekselstrømsmodstand er frekvensafhængig. Vekselstrømsmodstanden kaldes også for reaktansen og benævnes X_c . Man kan vise at reaktansen X_c er afhængig af kondensatoren og frekvensen.

$$X_c = 1 / 2 \pi f \times c.$$

Ved omskrivning af formlen kan man finde kondensatoren c eller frekvensen f .

$$c = 1 / 2 \pi f \times X_c$$

$$f = 1 / 2 \pi X_c \times c$$

Beregn vekselstrømsmodstande for en kondensator på 159nF, og indsæt værdierne i koordinatsystemet.

$$X_c \text{ ved } 100\text{Hz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

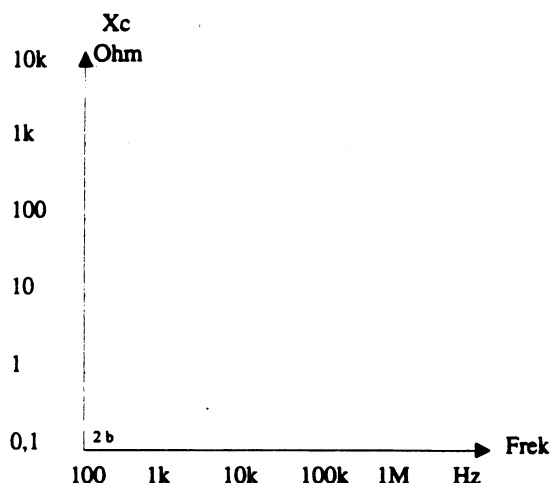
$$X_c \text{ ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_c \text{ ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

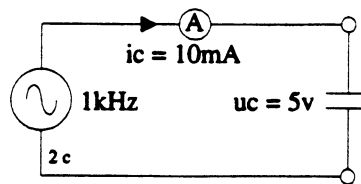
$$X_c \text{ ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_c \text{ ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Strøm og spændingsforhold i kondensator.



I en kondensator er strømmen 90° før spændingen. Det får ingen indflydelse på beregningerne, så længe kondensatoren ikke er sat sammen med en anden komponent.



I det viste eksempel er strømmen målt til 10mA, spændingen er 5V og generatorfrekvensen er 1kHz.

Man kan vise, hvordan P_c , X_c og c beregnes.

Ved hjælp af Ohms lov kan X_c beregnes.

$$X_c = u_c / i_c = 5 / 10\text{mA} = \underline{\underline{500 \text{ Ohm}}}$$

Når man kender X_c og frekvensen kan c findes.

$$c = 1 / 2 \pi f \times X_c = 1 / 2 \pi \times 1\text{k} \times 500 \text{ ohm}$$

$$c = \underline{\underline{318\text{nF}}}$$

Når effekten i kondensatoren skal beregnes, skal man huske på det faktum, at strøm og spænding ikke er i fase.

Man kan vise, at den effekt kondensatoren optager fra generatoren i den ene halvperiode, bliver afleveret igen i den anden halvperiode.

Med andre ord er effekten, der afsættes i kondensatoren = 0Watt.

Hvis man vil bruge en formel, skal den se ud på følgende måde.

$$P = u \times i \times \cos \Phi.$$

$\cos \Phi$ = faseforholdet mellem strømmen og spændingen

$$P = 5 \times 10\text{mA} \times \cos 90^\circ = \underline{\underline{0\text{Watt}}}$$

3. Opgaver.**Opgave 1.**

En kondensator på $150\mu\text{F}$ skal bruges som afkobling i en switch mode netdel.

Switch frekvensen er 20kHz .

Beregn kondensatorens vekselstrømsmodstand.

$X_C =$ _____

Opgave 2.

Hvilken kondensator skal der bruges, når den skal have en reaktans på $3,6\text{k}\Omega$ ved $2,4\text{kHz}$.

$C =$ _____

Opgave 3.

Når $f = 19\text{kHz}$ og $c = 120\text{nF}$ er

$X_C =$ _____

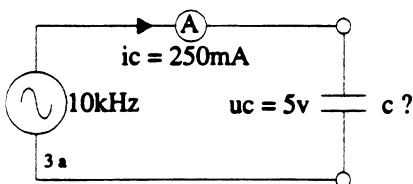
Opgave 4.

Ved hvilken frekvens har en kondensator på 22nF en reaktans på $10\text{k}\Omega$.

$f =$ _____

Opgave 5.

I det viste eksempel er $u_c = 5\text{V}$, $i_c = 250\text{mA}$ og frekvensen er 10kHz

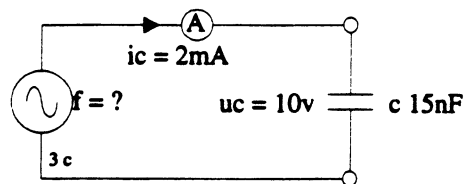


Beregn c .

$C =$ _____

Opgave 6.

I det viste eksempel er frekvensen $10,7\text{MHz}$, $c = 330\text{pF}$ og $i_c = 50\text{mA}$.

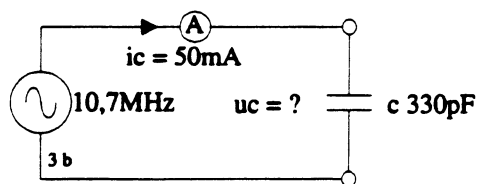


Beregn spændingen over kondensatoren.

$u_c =$ _____

Opgave 7.

I det viste eksempel er $c = 15\text{nF}$, $u_c = 10\text{V}$ og $i_c = 2\text{mA}$.

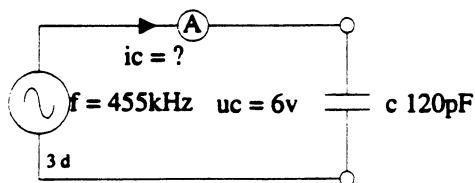


Beregn frekvensen.

$f =$ _____

Opgave 8.

I det viste eksempel er frekvensen = 455kHz , $c = 120\text{pF}$ og $u_c = 6\text{V}$.



Beregn strømmen i kondensatoren.

$i_c =$ _____

4. Rc-serieled.

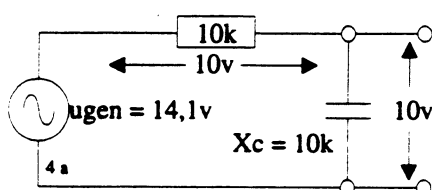
Se også afsnit 2.17 i LF og DC teknik.

På tegningen ses et RC-serieled. Den samlede vekselstrømsmodstand i leddet kaldes en impedans og benævnes med Z .

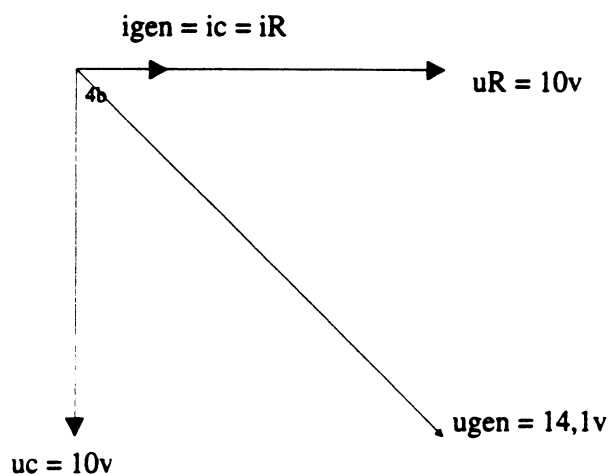
Impedansen består af en reaktans X_C og modstand R

Når den samlede impedans skal findes, kan man IKKE lægge dem sammen.

Z er altså IKKE $= X_C + R$.



Når en kondensator serieforbindes med en modstand, er det nødvendigt at tage hensyn til, at der er en fasedrejning på mellem strøm og spænding. Derfor skal der bruges et vektordiagram.



I en kondensator er strømmen 90° før spændingen. Da det er et serieled er det strømmen der er fælles for de to komponenter, derfor tegnes strømmen på den vandrette akse.

Spændingen over modstanden er i fase med strømmen, derfor tegnes den også på den vandrette akse.

Spændingen over kondensatoren er 90° efter strømmen, derfor tegnes den nedad.

I det viste eksempel er $X_C = R$.

Derfor er $u_C = u_R$.

Når u_R og R kendes kan strømmen beregnes.

$$i_R = i_C = i_{gen} = u_R / R = 10V / 10k = \underline{1mA}$$

Når generatorspændingen skal beregnes er det nødvendigt at bruge Pythagoras.

$$u_{gen} = \sqrt{u_R^2 + u_C^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \underline{14,1V}$$

Ved at omskrive formelen kan u_R eller u_C findes.

$$u_R = \sqrt{u_{gen}^2 - u_C^2}$$

$$u_C = \sqrt{u_{gen}^2 - u_R^2}$$

Hvis man skal finde den samlede impedans af kredsløbet, kan det gøres på følgende måde.

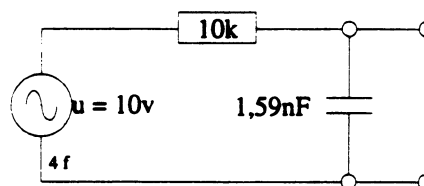
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{10k^2 + 10k^2} = \underline{14,1k\Omega}$$

Ved at omskrive formelen kan R eller X_C findes.

$$R = \sqrt{Z^2 - X_C^2}$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

LP- eller HP-led?



Man skal kunne afgøre, om der er tale om et HP-led eller et LP-led.

Her skal man huske på, at kondensatoren virker som en afbrydelse ved DC.

Hvis man starter med at tilføre en DC spænding til leddet, vil kondensatoren virke som en afbrydelse.

Udgangsspændingen vil derfor være den samme som indgangsspændinge.

Hvis frekvensen ændres vil kondensatorens reaktans falde, og udgangsspændingen vil falde.

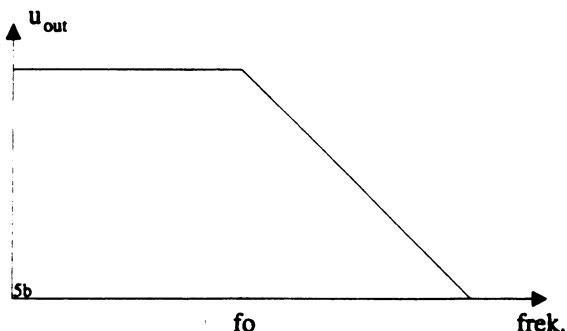
Ved den frekvens hvor $X_C = R$, findes overgangsfrekvensen.

Her er udgangsspændingen faldet 3dB.

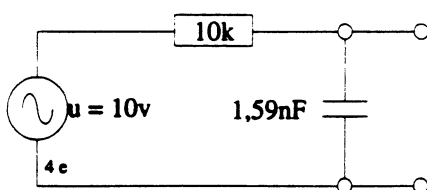
Udgangsspændingen vil inden overgangsfrekvensen falde lidt.

Efter overgangsfrekvensen falder den med 6dB/oktav eller 20dB/dekade.

Man ser dog ofte at udgangskurven er erstattet af rette linier.



I det følgende skal LP-ledet undersøges nærmere.



Først skal overgangsfrekvensen beregnes. Det er den frekvens hvor $X_C = R$.

Man går ud fra grundformlen for en kondensator.

$$X_C = 1 / 2\pi \times f \times c.$$

Ved at omskrive den og erstatte X_C med R fås følgende:

$$f_0 = 1 / 2\pi \times R \times c.$$

$$f_0 = 1 / 2\pi \times 10k \times 1,59nF = \underline{\underline{10kHz}}$$

Nu kan den samlede impedans ved f_0 findes.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{10k^2 + 10k^2} = \underline{\underline{14,1k\Omega}}$$

Strømmen i kredsløbet kan nu findes.

$$i_{gen} = i_R = i_C = i_Z = u_{gen} / Z$$

$$i_Z = u_{gen} / Z$$

$$i_Z = 10V / 14,1k = \underline{\underline{707\mu A}}$$

Når man kender strømmen, kan spændingen over de enkelte komponenter findes.

Ved f_0 er $X_C = R$, derfor er spændingen over kondensatoren den samme som spændingen over modstanden.

$$u_C = u_R = i_Z \times R$$

$$u_C = u_R = 707\mu \times 10k = \underline{\underline{7,07V \sim 7,1V}}$$

Hvis man skal regne på dæmpningen i dB, kan følgende fremgangsmåde benyttes.

Først regnes dæmpningen i antal gange.

Det gør man ved at dividere udgangsspændingen op i indgangsspændingen.

$$\text{Dæmpningen i gange} = u_{in} / u_{out}$$

$$= 10 / 7,1 = \underline{\underline{1,41 \text{ gange}}}$$

Herefter tages logaritmen af 1,41 det er = 0,149.

Resultatet ganges nu med 20, det er 3.

Dæmpningen i dB =

$$20 \times \text{Log} (u_{in} : u_{out}) =$$

$$20 \times \text{Log} (10 : 7,1) = \underline{\underline{3dB}}$$

Hvis man kender X_C og den samlede impedans af et RC-led, kan man finde R .

Man går ud fra grundformlen, og omskriver den.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \text{ det medfører at}$$

$$X_C = \sqrt{Z^2 - R^2} \text{ Her er det}$$

$$X_C = \sqrt{14,14^2 - 10^2} = \underline{10\text{k}\Omega}$$

Hvis man kender spændingen over modstanden, og spændingen fra generatoren, kan man finde spændingen over kondensatoren.

Man går ud fra grundformlen og omskriver den.

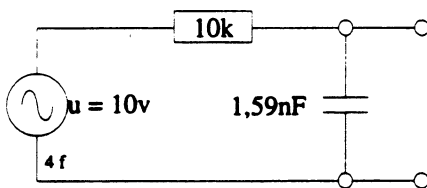
$$u_{gen} = \sqrt{u_C^2 + u_R^2} \text{ det medfører at}$$

$$u_C = \sqrt{u_{gen}^2 - u_R^2} \text{ Her er det}$$

$$u_C = \sqrt{10^2 - 7,1^2} = \underline{7,1\text{V}}$$

For det viste led skal u_{out} beregnes ved følgende frekvenser.

100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz og 1MHz.



Først skal X_C beregnes

$$X_C \text{ ved } 100\text{Hz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_C \text{ ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_C \text{ ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_C \text{ ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_C \text{ ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Derefter skal Z beregnes.

$$Z \text{ ved } 100\text{Hz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Z \text{ ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Z \text{ ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Z \text{ ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Z \text{ ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Når man kender den samlede impedans, kan strømmen findes.

$$i_C = i_R.$$

$$i_R \text{ ved } 100\text{Hz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$i_R \text{ ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$i_R \text{ ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$i_R \text{ ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$i_R \text{ ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Når man kender strømmen i modstanden og kondensatoren, kan man finde spændingen over kondensatoren.

$$u_C \text{ ved } 100\text{Hz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_C \text{ ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_C \text{ ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_C \text{ ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_C \text{ ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Når man kender u_{out} og u_{in} , kan man finde dæmpningen i antal gange og i dB.

$$\text{Ved } 100\text{Hz} \text{ } \underline{\hspace{1cm}} \text{ gange } \underline{\hspace{1cm}} \text{ dB}$$

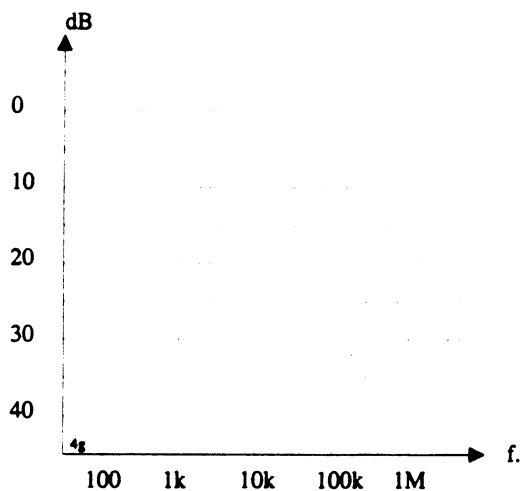
$$\text{Ved } 1\text{kHz} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ gange } \underline{\hspace{1cm}} \text{ dB}$$

$$\text{Ved } 10\text{kHz} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ gange } \underline{\hspace{1cm}} \text{ dB}$$

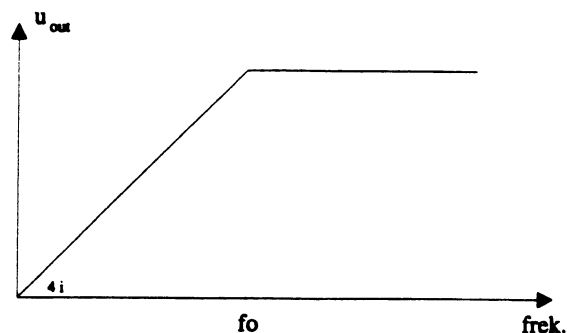
$$\text{Ved } 100\text{kHz} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ gange } \underline{\hspace{1cm}} \text{ dB}$$

$$\text{Ved } 1\text{MHz} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ gange } \underline{\hspace{1cm}} \text{ dB}$$

Indtegn dæmpningen som funktion af frekvensen i koordinatsystemet.

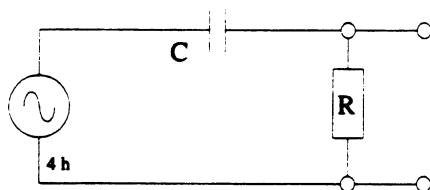


Ved f_0 er udgangsspændingen faldet 3dB.



Det er de samme formler der anvendes såvel til HP-led som LP- led.

Hvis kondensatoren og modstanden ombyttes, kaldes ledet et højpasled.



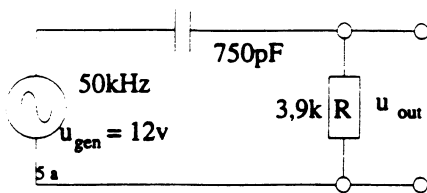
Hvis ledet tilføres en DC spænding, vil udgangsspændingen være 0V, da kondensatoren virker som en afbrydelse.

Hvis indgangssignalets frekvens stiger, falder vekselstrømsmodstanden i kondensatoren. Herved stiger udgangsspændingen.

Ved overgangsfrekvensen er $X_c = R$. Her er spændingen over kondensatoren og modstanden lige store.

5. Opgaver

Opgave 1.

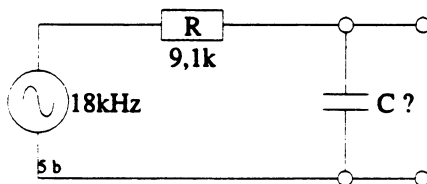


Beregn den samlede impedans og udgangsspændingen ved 50kHz.

$Z =$ _____

$u_{out} =$ _____

Opgave 2.

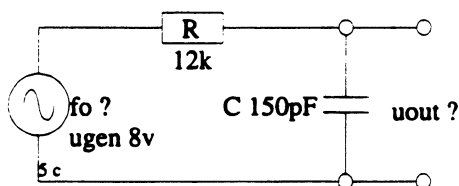


Det viste led skal have en overgangsfrekvens på 18kHz.

Beregn C.

$C =$ _____

Opgave 3.

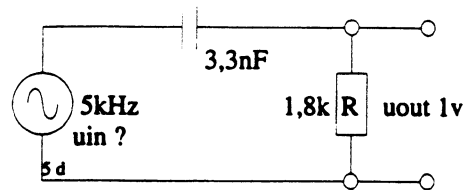


Beregn overgangsfrekvensen og udgangsspændingen ved 100kHz.

$f_o =$ _____

$u_{out} =$ _____

Opgave 4.

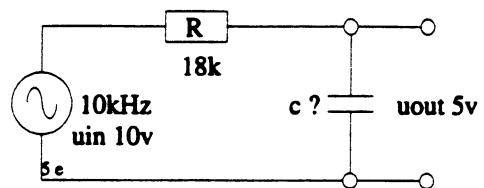


På det viste led måles udgangsspændingen til 1V ved 5kHz.

Beregn u_{in} .

$u_{in} =$ _____

Opgave 5.



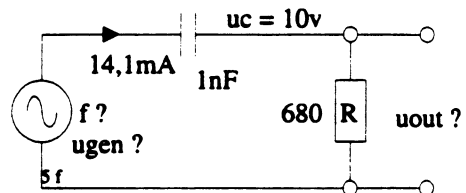
For det viste led ønskes en udgangsspænding på 5V ved 10kHz.

Beregn u_R og C.

$u_R =$ _____

$C =$ _____

Opgave 6.



I den viste opstilling måles strømmen til 14,1mA og u_C til 10V.

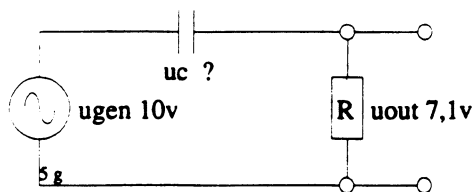
Beregn u_{gen} og generatorfrekvensen.

$u_{gen} =$ _____

$f_{gen} =$ _____

Opgave 7.

5g

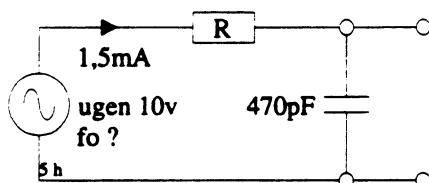


I den viste opstilling måles generatorspændingen til 10v og udgangsspændingen til 7,1v.

Beregn u_C .

$u_C =$ _____

Opgave 8.



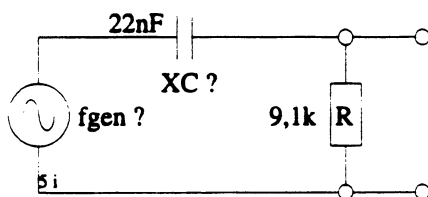
I den viste opstilling måles der 1,5mA ved overgangsfrekvensen.

Beregn f_o og R .

$f_o =$ _____

$R =$ _____

Opgave 9.



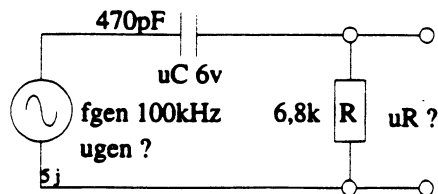
I den viste opstilling måles den samlede impedans til 12k.

Beregn X_C og f_{gen} .

$X_C =$ _____

$f_{gen} =$ _____

Opgave 10.



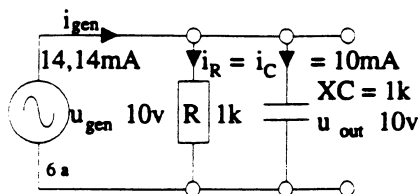
I den viste opstilling måles der 6v over kondensatoren. Generatorfrekvensen er 100kHz.

Beregn generatorspændingen og spændingen over modstanden

$u_R =$ _____

$u_{gen} =$ _____

6. RC-paralleled.



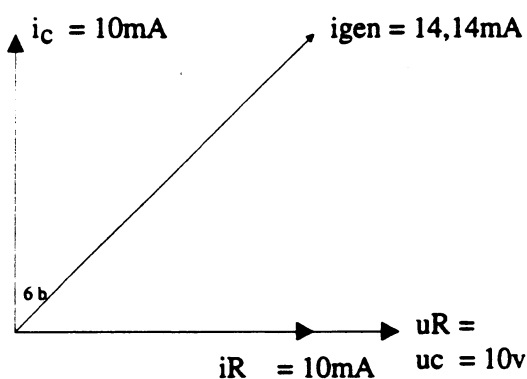
Når en reaktans og en modstand parallelforbinderes, bliver den samlede impedans altid mindre end den mindste "modstand".

Hvis to almindelige modstande der er lige store parallelforbinderes, bliver den samlede modstand det halve af de enkelte modstande.

Når det er en reaktans og en modstand, er der anderledes.

Grunden til det er at strøm og spænding ikke er i fase i reaktansen.

I en kondensator er spændingen 90° efter strømmen.



Vektordiagrammet viser strøm- og spændingsforholdene i en parallelforbindelse af en kondensator og en modstand.

I det viste eksempel er $X_C = R = 1k$ og $u_{gen} = 10V$. Strømmen i kondensatoren og modstanden er her 10mA, men som det fremgår af tegningen, bliver den samlede strøm IKKE 20mA.

Hvis den samlede strøm skal beregnes, skal man bruge Pythagores.

$$i_{gen} = \sqrt{i_C^2 + i_R^2} = \sqrt{10m^2 + 10m^2} = \underline{14,14mA}$$

Når den samlede generatorstrøm og generatorspændingen kendes, kan impedansen findes.

$$Z = u_{gen} / i_{gen} = 10V / 14,14mA = \underline{707 \text{ Ohm.}}$$

Skal man finde den samlede impedans, kan man også bruge følgende fremgangsmåde.

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

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{1k^2} + \frac{1}{1k^2}}} = 707 \text{ Ohm}$$

$$R = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z^2} - \frac{1}{X_C^2}}}$$

$$X_C = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z^2} - \frac{1}{R^2}}}$$

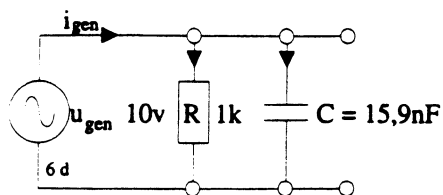
Herover ses det, hvordan formelen kan omskrives.

Overgangsfrekvensen for ledet er den frekvens hvor $X_C = R$.

Ved overgangsfrekvensen er strømmen i kondensatoren og modstanden lige store.

Overgangsfrekvensen findes på følgende måde.

$$f_0 = 1 / 2\pi \times R \times C$$



For det viste led skal i_{gen} beregnes ved følgende frekvenser

100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz og 1MHz

Først skal X_C beregnes

X_C ved 100Hz = _____

X_C ved 1kHz = _____

X_C ved 10kHz = _____

X_C ved 100kHz = _____

X_C ved 1MHz = _____

Derefter skal Z beregnes.

Z ved 100Hz = _____

Z ved 1kHz = _____

Z ved 10kHz = _____

Z ved 100kHz = _____

Z ved 1MHz = _____

Når man kender den samlede impedans kan strømmen findes.

i_{gen} ved 100Hz = _____

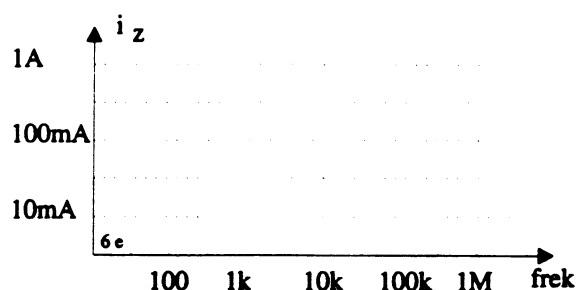
i_{gen} ved 1kHz = _____

i_{gen} ved 10kHz = _____

i_{gen} ved 100kHz = _____

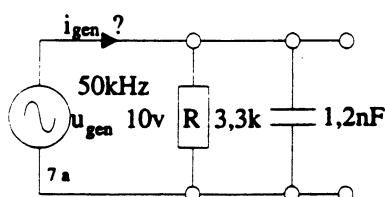
i_{gen} ved 1MHz = _____

Indtegn generatorstrømmen som funktion af frekvensen i koordinatsystemet.



7. Opgaver.

Opgave 1.

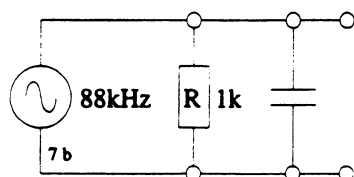


Beregn den samlede impedans og igen ved 50kHz.

$Z =$ _____

$i_{gen} =$ _____

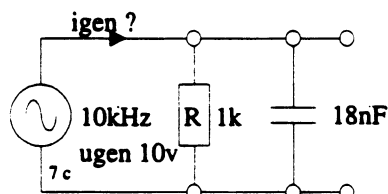
Opgave 2.



Det viste led skal have en f_o på 88kHz.
Beregn C.

$C =$ _____

Opgave 3.

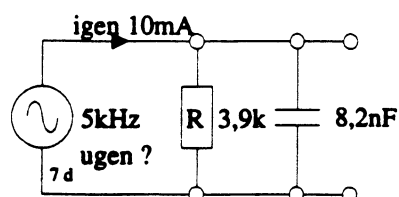


Beregn X_C og i_{gen} ved 10kHz.

$X_C =$ _____

$i_{gen} =$ _____

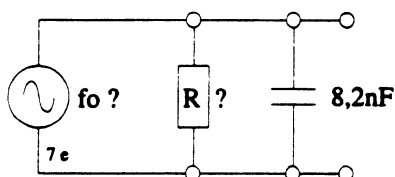
Opgave 4.



På det viste led måles igen til 10mA ved 5kHz.
Beregn u_{gen}

$u_{gen} =$ _____

Opgave 5.

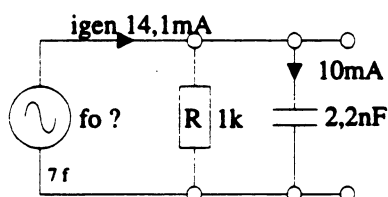


I det viste led er den samlede impedans 15,6k ved
overgangsfrekvensen.
Beregn R og f_o .

$R =$ _____

$f_o =$ _____

Opgave 6.

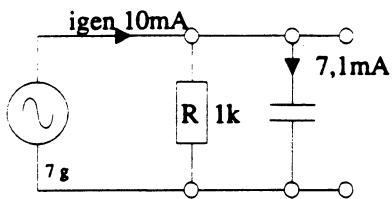


I den viste opstilling måles generatorstrømmen til
14,1mA og i_C til 10mA.
Beregn u_{gen} og generatorfrekvensen.

$u_{gen} =$ _____

$f_{gen} =$ _____

Opgave 7.

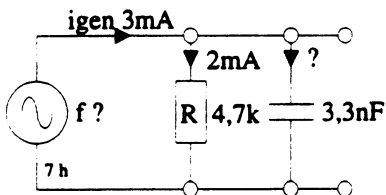


I den viste opstilling måles i gen til 10mA og i C til 7,1mA.

Beregn strømmen i modstanden.

$$i_R = \underline{\hspace{5cm}}$$

Opgave 8.



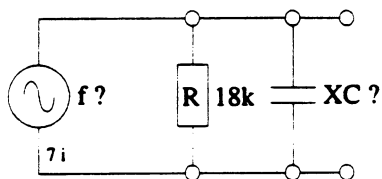
I den viste opstilling måles der 2mA i modstanden og 3mA fra generatoren.

Beregn f_{gen} og i_C .

$$f_{gen} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$i_C = \underline{\hspace{5cm}}$$

Opgave 9.



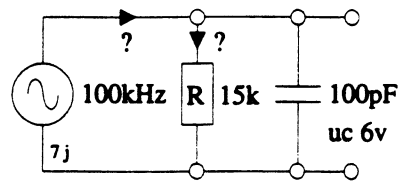
I den viste opstilling måles den samlede impedans til 12kOhm.

Beregn XC og generatorfrekvensen.

$$X_C = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$f_{gen} = \underline{\hspace{5cm}}$$

Opgave 10.



I den viste opstilling måles der 6v over kondensatoren. Generatorfrekvensen er 100kHz.

Beregn generatorstrømmen og strømmen i modstanden.

$$i_R = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$i_{gen} = \underline{\hspace{5cm}}$$

Svingningskredse.

Disposition.

1. Indledning.
2. Seriesvingningskredse.
3. Beregningseksempel.
4. Opgaver.
5. Parallelsvingningskredse.
6. Beregningseksempel.
7. Opgaver.

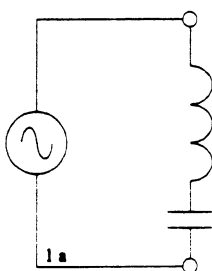
Indledning.

Svingningskredse danner grundlaget for alle former for HF- kredsløb. I dag ser man ofte, at svingningskredse er erstattet af krystalfiltre. Det er dog stadig nødvendig at have et grundigt kendskab til LC-svingningskredse, for at forstå hvordan forskellige HF-kredsløb fungerer.

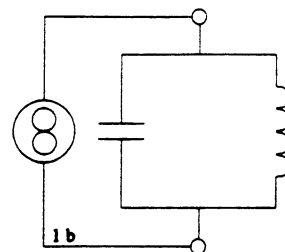
LC-svingningskredse kan deles op i serie- og parallelsvingningskredse.

Seriesvingningskredsen er lavimpedanset, den kan derfor arbejde sammen med enten en spændingsgenerator eller en strømgenerator.

Parallelsvingningskredsen er højimpedanset, den skal derfor arbejde sammen med en strømgenerator.



Seriesvingningskreds med spændingsgenerator.

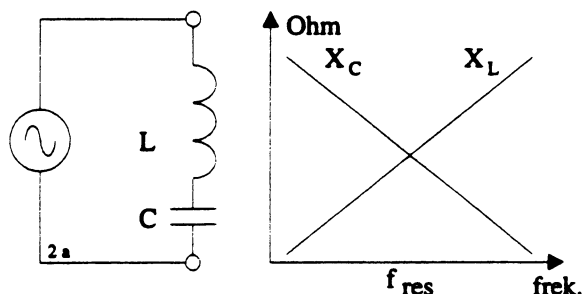


Parallelsvingningskreds med strømgenerator.

2. Seriesvingningskredse.

Se også afsnit 2.1 i HF-teknik.

I tidligere afsnit er spolen og kondensatoren omtalt hver for sig. Det skal nu vises, hvad der sker når komponenterne serieforbindes.



På tegningen er reaktansforløbet for en spole og en kondensator vist.

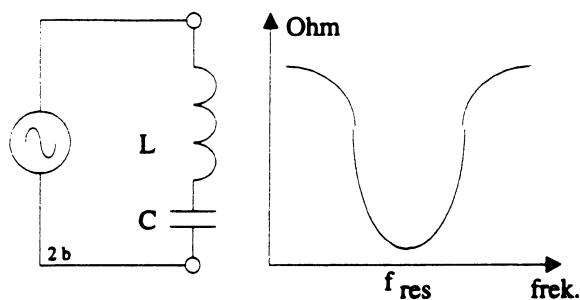
Frekvensen hvor spolens- og kondensatorens reaktans er lige store kaldes resonansfrekvensen, og benævnes f_{res} .

Ved resonansfrekvensen "optræder" kredsen som en lille modstand. Den samlede værdi er bestemt af spolens tabsmodstand.

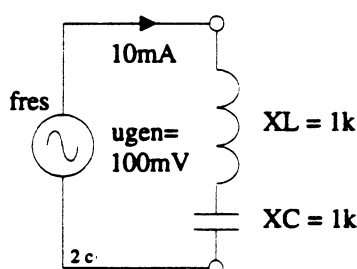
Hvis man kunne finde komponenter uden tab, ville kredsen optræde som en kortslutning.

Ved resonansfrekvensen er generatorstrømmen og generatorspændingen i fase. Derfor siger man, at kredsløbet er "Ohmsk".

På tegningen er impedansforløbet for seriesvingningskredsen vist.



Eksempel 1.



Ved resonansfrekvensen er $X_L = X_C$.

I det viste eksempel er X_C og $X_L = 1k\Omega$, og generatorstrømmen er 10mA.

Da det er en seriekreds, er strømmen den samme i spolen og kondensatoren.

Når man kender strømmen i en komponent og komponentens reaktans, kan man finde spændingen over komponenten.

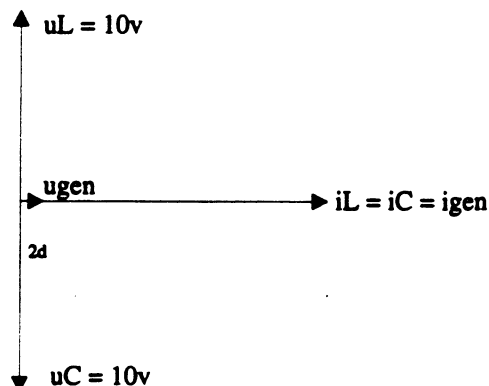
$$u_L = X_L \times i_L = 1k \times 10mA = \underline{\underline{10volt}}$$

$$u_C = X_C \times i_C = 1k \times 10mA = \underline{\underline{10volt}}$$

Hvis det havde været 2 almindelige modstande, havde den samlede spænding over kredsen været 20volt.

MEN DET ER DET IKKE, DERFOR BLIVER RESULTATET ET ANDET.

Af vektordiagrammet for kredsløbet fremgår det, at strømmen er fælles. Den er tegnet på den vandrette akse.



I en spole er spændingen 90° før strømmen, derfor er u_L tegnet opad.

I en kondensator er spændingen 90° efter strømmen, derfor er u_C tegnet nedad.

Spændingen over spolen og kondensatoren er lige store, men de er i modfase. Derfor siger man, at de to spændinger ophæver hinanden. Den samlede spænding over kredsløbet vil derfor nærme sig 0volt.

Hvis komponenterne havde været uden tab, ville generatorspændingen være 0volt.

I eksemplet er spændingen 100mV.

Når man kender spændingen over kredsløbet og strømmen i kredsløbet kan man finde kredsløbets resonansimpedans.

$$Z_{res} = u_{gen} / i_{gen} = 100mV / 10mA = \underline{\underline{10\Omega}}$$

Ved resonansfrekvensen optræder kredsløbet som en lille "Ohmsk" modstand.

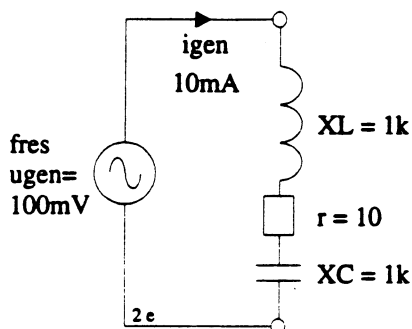
På tegningen næste side ses det, at r er tegnet som en selvstændig komponent.

I virkeligheden repræsentere den de samlede tab i kredsløbet. Man ser dog ofte, at den er tegnet for sig selv, i forbindelse med forklaringer til svingningskredse. På fabriksdiagrammer er den aldrig medtaget.

I en seriekreds er resonansimpedansen = r .

$$Z_{res} = r$$

I det viste eksempel er $r = 10\Omega$



Resonansfrekvensen er den frekvens hvor $X_C = X_L$.

Hvis man kender L og C kan man finde resonansfrekvensen for kredsløbet.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Hvis formelen omskrives, kan man finde henholdsvis L og C

$$L = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 \times C}$$

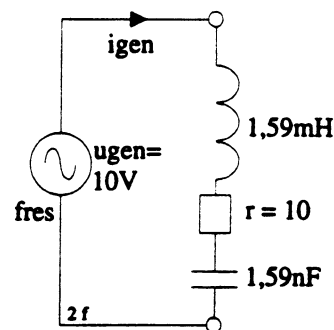
$$C = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 \times L}$$

Når man kender L og C , kan man finde X_L og X_C ved resonansfrekvensen.

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

I HF-teknik er det vist, hvordan formlerne udledes.

Eksempel 2.



For det viste kredsløb skal følgende beregnes:

$$f_{res} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$Z_{res} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$X_L = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$X_C = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$i_{gen} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$u_L = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$u_C = \underline{\hspace{5cm}}$$

Prøv at løse opgaverne, og brug så det efterfølgende som facitliste.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1.59mH \times 1.59nF}} = \underline{\underline{100Hz}}$$

I en seriekreds er $Z_{res} = r$.

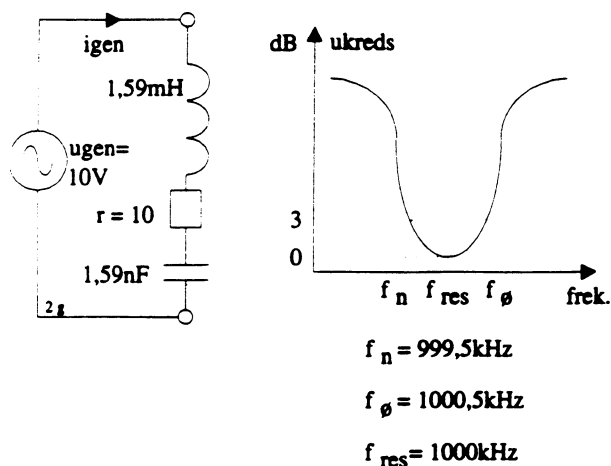
I det viste eksempel er $Z_{res} = \underline{\underline{10\Omega}}$

$$X_L = X_C = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1.59mH}{1.59nF}} = \underline{\underline{1k\Omega}}$$

$$i_{gen} = u_{gen} / r = 10v / 10\Omega = \underline{\underline{1A}}$$

Når man kender i_{gen} , X_L og X_C , kan man finde spændingen over spolen og kondensatoren, da strømmen er fælles i en seriekreds.

$$u_L = u_C = X_L \times i_{gen} = 1k \times 1A = \underline{\underline{1000volt}}$$



For kredsløbet er spændingen over det som funktion af frekvensen indtegnet.

På tegningen er f_n og f_{ϕ} markeret.

Det er de frekvenser, hvor spændingen over kredsløbet hvor er steget 3dB i forhold til spændingen ved f_{res} .

Forskellen mellem f_{ϕ} og f_n kaldes båndbredden.

$$b_3 = f_{\phi} - f_n = 1000,5\text{kHz} - 999,5\text{kHz} = \underline{1\text{kHz}}$$

Det der afgør båndbredden, er kredsløbets tabsmodstand, r .

Hvis r bliver større, stiger båndbredden.

Normalt tilstræber man så lille en båndbredde som mulig.

Når man kender kredsløbets båndbredde og resonansfrekvens, kan man finde Q .

Q er et udtryk for kredsløbets "kvalitet". Det skal være så stort som muligt.

$$Q = f_{res} / b_3.$$

$$\text{Her er det } 100\text{kHz} / 1\text{kHz} = \underline{100}$$

Man kan også vise, at Q er bestemt af forholdet mellem XL og r

$$Q = XL / r$$

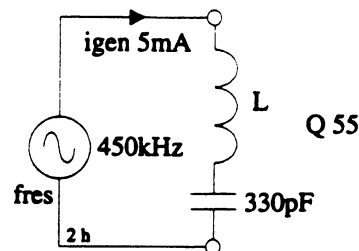
$$Q = 1\text{k}\Omega / 10\Omega = \underline{100}$$

Man kan også vise, at spændingen over spolen eller kondensatoren er Q gange større end spændingen over hele kredsløbet.

Det sidste gælder dog kun ved resonansfrekvensen.

$$u_L = Q \times u_{gen} = 100 \times 10\text{V} = \underline{1000\text{V}}$$

Eksempel 3.



For det viste kredsløb skal følgende beregnes.

$$L = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$XL = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Z_{res} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_{kreds} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$u_L = \underline{\hspace{2cm}}$$

Prøv at løse opgaverne, og brug så det efterfølgende som facitliste.

Først beregnes L .

$$L = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 \times C} = \frac{1}{(2\pi 450\text{kHz})^2 \times 330\text{pF}} = \underline{379\mu\text{H}}$$

Herefter beregnes XL

$$XL = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{379\mu\text{H}}{330\text{pF}}} = \underline{1,07\text{k}\Omega}$$

Når XL og Q er kendt kan Z_{res} beregnes

$$Z_{res} = r = XL / Q = 1,07\text{k}\Omega / 55 = \underline{19,5\Omega}$$

$$b_3 = f_{res} / Q = 450\text{kHz} / 55 = \underline{8,2\text{kHz}}$$

Når Z_{res} og $igen$ er kendte, kan u_{kreds} beregnes

$$u_{kreds} = Z_{res} \times igen = 19,5\Omega \times 5\text{mA} = \underline{97,5\text{mV}}$$

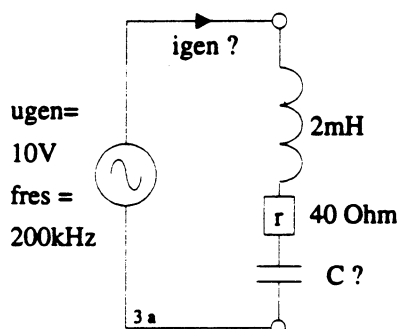
Når X_L og I_{gen} er kendte, kan U_L findes.

$$U_L = X_L \times I_{gen} = 1,07k \times 5m = \underline{5,4volt}$$

Man kan også finde U_L ved at bruge U_{kreds} og Q .

$$U_L = U_{kreds} \times Q = 97,5mv \times 55 = \underline{5,4volt}$$

3. Beregningseksempel



Opgaven går ud på at beregne følgende:

$$C = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$X_L = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Z_{res} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$I_{3} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Q = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$I_{gen} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_L = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_C = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_L = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_C = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_{kreds} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Prøv at løse opgaverne, og brug det efterfølgende som facitliste.

Først beregnes kondensatoren. Det kan gøres på flere måder. Man kan f.eks gå ud fra grundformlen for resonansfrekvensen, og løse den med hensyn til C .

$$C = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 \times L} = \frac{1}{(2\pi 200kHz)^2 \times 2mH} = \underline{317pF}$$

Nu kan X_L beregnes. Det kan også gøres på flere måder. Her bruges formelen, der gælder ved resonansfrekvensen.

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{2mH}{317pF}} = \underline{2,5k\Omega}$$

Herefter beregnes resonansimpedansen. Ved resonansfrekvensen er X_L og X_C lige store, men da de er i "modfase" ophæver de hinanden. Derfor er resonansimpedansen den samme som r .

$$Z_{res} = r = \underline{40\Omega}$$

Når X_L og Z_{res} er fundet, kan Q beregnes.

$$Q = X_L / r = 2,5k / 40 = \underline{62,5}$$

Ved resonansfrekvensen optræder kredsløbet som en lille modstand Z_{res} . Når den er fundet, og når man kender spændingen over kredsløbet, kan man finde generatorstrømmen.

$$I_{gen} = U_{gen} / Z_{res} = 10v / 40\Omega = \underline{250mA}$$

Når generatorstrømmen og spolens og kondensatorens vekselstrømsmodstand er kendte, kan man finde spændingen over spolen og kondensatoren.

$$U_L = I_{gen} \times X_L = 250mA \times 2,5k\Omega = \underline{625volt}$$

$$U_C = I_{gen} \times X_C = 250mA \times 2,5k\Omega = \underline{625volt}$$

Man kan også benytte sig af det forhold, at spændingen over de enkelte komponenter i et seriekredsløb, er Q gange større end spændingen over hele kredsløbet.

$$U_L = Q \times U_{gen} = 62,5 \times 10v = \underline{625volt}$$

$$U_C = Q \times U_{gen} = 62,5 \times 10v = \underline{625volt}$$

Båndbredden findes på følgende måde.

$$b_3 = f_{res} / Q = 200\text{kHz} / 62,5 = \underline{\underline{3,2\text{kHz}}}$$

Når effekten i spolen eller kondensatoren skal findes, skal man huske på det faktum, at strøm og spænding ikke er i fase i disse komponenter. I spolen er spændingen 90° før strømmen, og i kondensatoren er det strømmen, der er 90° før spændingen. Den effekt der optages fra generatoren i en spole eller kondensator i den ene halvperiode, afleveres igen til generatoren i den anden halvperiode.

$PL = u_L \times \text{igen} \times \cos \Phi$, hvor Φ er fasedrejningen mellem strøm og spænding i komponenten.

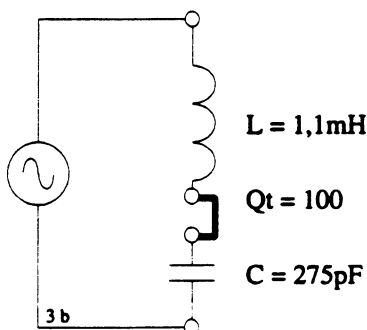
$$PL = 625\text{V} \times 250\text{mA} \times \cos 90^\circ = \underline{\underline{0 \text{ Watt}}}$$

$$PC = u_C \times \text{igen} \times \cos \Phi = \\ 625\text{V} \times 250\text{mA} \times \cos 90^\circ = \underline{\underline{0 \text{ Watt}}}$$

Effekten der optages i svingningskredsen, afsættes i serietabsmodstanden r også kaldet Z_{res} .

$$P_{kreds} = u_{kreds} \times \text{igen} = 10\text{V} \times 250\text{mA} = \underline{\underline{2,5 \text{ Watt}}}$$

Ubelastet svingningskreds.



Mellem spolen og kondensatoren er der indsat en kortslutningsbøjle på 0Ω .

Følgende skal beregnes i den viste opgave.

$$f_{res} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$b_3 = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$Z_{res} = \underline{\hspace{5cm}}$$

Prøv at løse opgaven, og brug så det efterfølgende som facitliste.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,1\text{mH} \times 275\text{pF}}} = \underline{\underline{290\text{kHz}}}$$

For at finde båndbredden skal man kende Q og f_{res} .

Her er Q_t opgivet.

Q_t er benævnelsen for Q tomgang, som igen betyder at kredsløbet ikke er belastet.

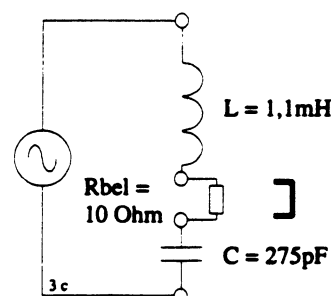
$$b_3 = f_{res}/Q_t = 290\text{kHz} / 100 = \underline{\underline{2,9\text{kHz}}}$$

For at finde Z_{res} er det nødvendigt at kende X_L .

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1,1\text{mH}}{275\text{pF}}} = \underline{\underline{2\text{k}\Omega}}$$

$$Z_{res} = X_L / Q_t = 2\text{k}\Omega / 100 = \underline{\underline{20\Omega}}$$

Belastet svingningskreds.



Kortslutningsbøjlen er erstattet af en modstand på 10Ω

Opgaven går ud på at finde ud af, hvad der sker med Q , båndbredden og resonansimpedansen, når en seriesvingningskreds belastes af en seriemodstand.

I kredsløbet er der indført en seriemodstand på 10Ω .

Man kan nu finde den belastede resonansimpedans.

$$Z_{res \text{ bel}} = Z_{res} + R_{bel} = 20\Omega + 10\Omega = \underline{\underline{30\Omega}}$$

Når kredsløbet belastes af en seriemodstand, "belastes" Q_t .

Q_{bel} findes her på følgende måde.

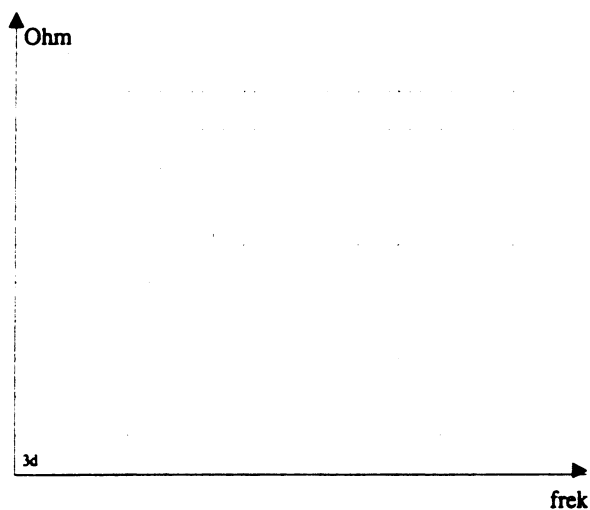
$$Q_{bel} = X_L / Z_{res\ bel} = 2k\Omega / 30\Omega = \underline{\underline{66,7}}$$

Når Q falder stiger båndbredden.

$$b_{3\ bel} = f_{res} / Q_{bel} = 290kHz / 66,7 = \underline{\underline{4,4kHz}}$$

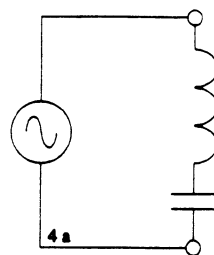
I koordinatsystemet skal du antyde, hvordan impedansforløbet for det ubelastede og det belastede kredsløb kommer til at se ud.

Påfør selv passende værdier på x- og y-aksen.



4. Opgaver.

Opgave 1.



$$u_L = 24V$$

$$X_L = 800\ \text{ohm}$$

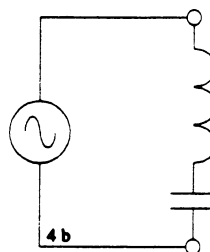
$$L = 1\ \text{mH}$$

Beregn C og igen.

$$C = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\text{igen} = \underline{\hspace{10cm}}$$

Opgave 2.



$$Q = 34$$

$$L = 14\ \text{mH}$$

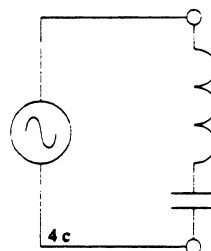
$$C = 1,2\ \text{nF}$$

Beregn f_{res} og Z_{res} .

$$f_{res} = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$Z_{res} = \underline{\hspace{10cm}}$$

Opgave 3.



$$Q = 100$$

$$Z_{res} = 15\ \text{ohm}$$

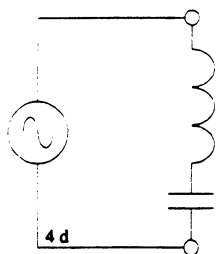
$$C = 680\ \text{pF}$$

Beregn L og f_{res}

$$L = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$f_{res} = \underline{\hspace{10cm}}$$

Opgave 4.



$$L = 10\text{mH}$$

$$f_{\text{res}} = 100\text{kHz}$$

$$u_{\text{gen}} = 100\text{mV}$$

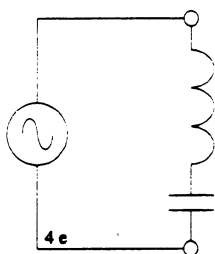
$$u_L = 8\text{V}$$

Beregn C og Q

C = _____

Q = _____

Opgave 5.



$$L = 1\mu\text{H}$$

$$Q = 53,5$$

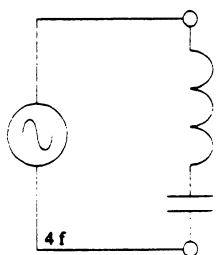
$$C = 220\text{pF}$$

Beregn b_3 og Z_{res}

$b_3 =$ _____

$Z_{\text{res}} =$ _____

Opgave 6.



$$u_{\text{gen}} = 2,3\text{V}$$

$$b_3 = 68\text{kHz}$$

$$C = 100\text{pF}$$

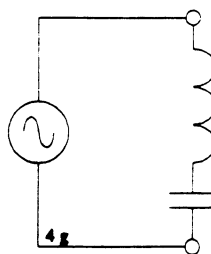
$$f_{\text{res}} = 6,8\text{MHz}$$

Beregn L og igen.

L = _____

igen = _____

Opgave 7.



$$Q = 45$$

$$b_3 = 10\text{kHz}$$

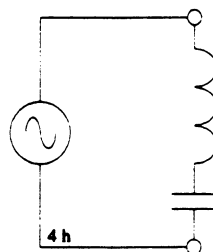
$$C = 393\text{pF}$$

Beregn f_{res} , L og Z_{res}

L = _____

$Z_{\text{res}} =$ _____

Opgave 8.



$$u_L = 10\text{V}$$

$$i_L = 10\text{mA}$$

$$u_{\text{gen}} = 100\text{mV}$$

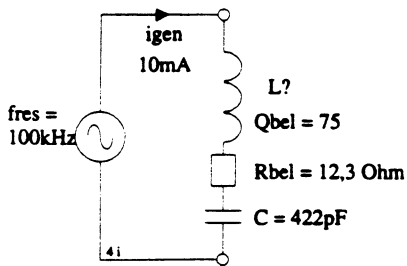
$$f_{\text{res}} = 100\text{kHz}$$

Beregn L og b_3 .

L = _____

$b_3 =$ _____

Opgave 9.

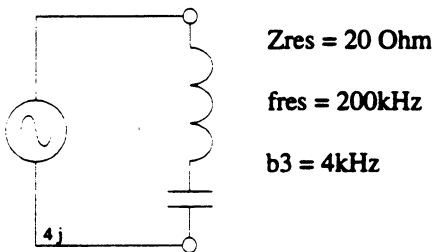


I den viste opstilling måles Q_{bel} til 75 når belastningsmodstanden på $12,3\Omega$ er indsat.
 $i_{gen} = 10\text{mA}$ og $C = 422\text{pF}$.
 Beregn L og Q_t .

$L =$ _____

$Q_t =$ _____

Opgave 10.

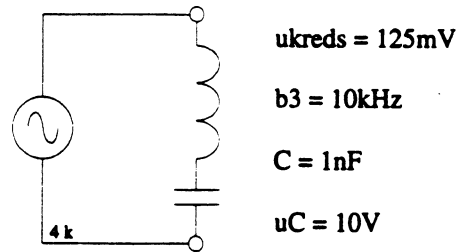


Beregn L og C

$L =$ _____

$C =$ _____

Opgave 11.



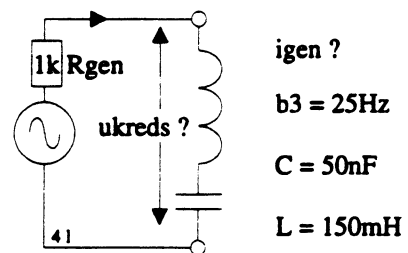
Beregn L , f_{res} og Z_{res}

$L =$ _____

$f_{res} =$ _____

$Z_{res} =$ _____

Opgave 12.



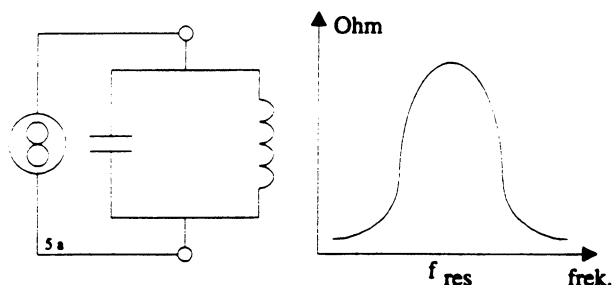
Givet: Generatorens tomgangsspænding = 10V ,
 $L = 150\text{mH}$ og $C = 50\text{nF}$.

Beregn u_{kreds} og i_{gen}

$u_{kreds} =$ _____

$i_{gen} =$ _____

5. Parallelkreds.



På tegningen er impedansforløbet for parallelsvingningskredsen vist.

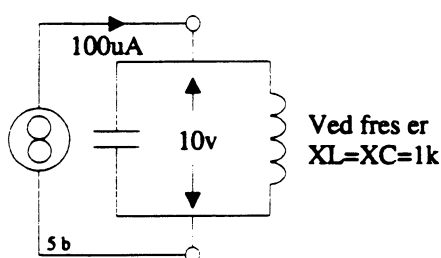
Ved den frekvens hvor spolens- og kondensatorens reaktans er lige store, findes resonansfrekvensen.

Ved resonansfrekvensen "optræder" kredsen som en meget stor modstand, der er bestemt af spolens tabsmodstand.

Hvis man kunne finde komponenter uden tab, ville kredsen optræde som en uendelig stor modstand.

Ved resonansfrekvensen er generatorstrømmen og generatorspændingen i fase. Derfor siger man, at kredsløbet er "Ohmsk".

Eksempel 1



Ved resonansfrekvensen er $X_L = X_C$.

I det viste eksempel er $X_L = X_C = 1k\Omega$.

Generatorstrømmen er målt til $100\mu A$ og generatorspændingen er $10V$.

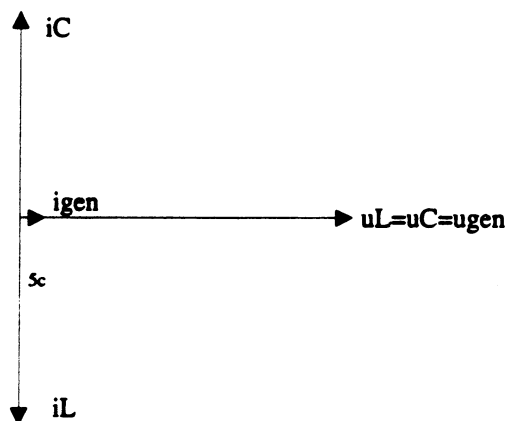
Da det er en parallelkreds, er det spændingen over komponenterne, der er fælles.

Når man kender spændingen og komponenternes reaktans, kan man finde strømmen i spolen og kondensatoren.

$$i_L = u_{gen} / X_L = 10V / 1k\Omega = \underline{10mA}$$

$$i_C = u_{gen} / X_C = 10V / 1k\Omega = \underline{10mA}$$

Hvis det havde været 2 almindelige modstande, havde den samlede generatorstrøm været $20mA$. **MEN DET ER DET IKKE, DERFOR BLIVER RESULTATET ET ANDET.**



Af vektor diagrammet fremgår det, at spændingen er fælles, derfor er den tegnet på den vandrette akse.

I en kondensator er strømmen 90° før spændingen, derfor er den tegnet opad.

I en spole er strømmen 90° efter spændingen, derfor er den tegnet nedad.

Strømmene i kondensatoren og spolen er lige store, men de er i modfase. Derfor siger man, at de to strømme ophæver hinanden. Den samlede strøm fra generatoren, vil nærme sig $0A$.

Hvis komponenterne havde været uden tab, ville generatorstrømmen være $0A$.

I det viste eksempel er strømmen $100\mu A$.

Når man kender generatorspændingen og generatorstrømmen, kan man finde kredsløbets resonansimpedans.

$$Z_{res} = u_{gen} / i_{gen} = 10V / 100\mu A = \underline{100k\Omega}$$

Ved resonansfrekvensen optræder kredsløbet som en stor "Ohmsk" modstand, da generatorstrømmen og generatorspændingen er i fase.

Fra seriekredsen er det kendt, at det er spolens serietabsmodstand der bestemmer resonansimpedansen.

I parallelkredsen kan også man vise, at det er spolens tabsmodstand, der bestemmer resonansimpedansen.

Spolens serietabsmodstand r , bliver transformeret op, så den nu optræder som en stor parallelmodstand R .

I en parallelsvingningskreds er R = resonansimpedansen.

$$Z_{res} = R$$

Formlen for resonansfrekvensen er den samme som for seriekredsen.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Når man kender L og C , kan man finde X_L og X_C ved resonansfrekvensen.

$$X_L = X_C = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

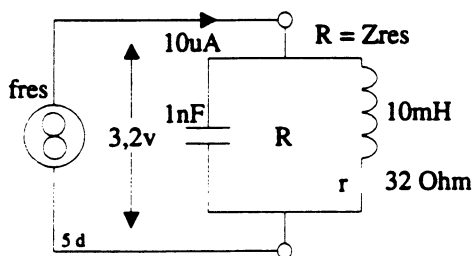
Hvis man kender spolens serietabsmodstand og X_L , kan man finde kredsløbets Q .

$$Q = X_L / r$$

Man kan også finde kredsløbets Q , hvis man kender resonansimpedans og X_L .

$$Q = Z_{res} / X_L$$

Eksempel 2.



For kredsløbet er følgende opgivet.

$L = 10\text{mH}$, - $C = 1\text{nF}$, - $i_{gen} = 10\mu\text{A}$, $r = 32\Omega$
og $u_{kreds} = 3,2\text{Volt}$.

For det viste kredsløb skal følgende beregnes.

f_{res} , - X_L , - Q , - b_3 , - Z_{res} , - i_C , - i_L ,
effekten der afsættes i r ,
og effekten der afsættes i parallelkredsen.

Når L og C er opgivet, kan resonansfrekvensen findes.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10\text{mH} \times 1\text{nF}}} = \underline{\underline{50\text{kHz}}}$$

Ved resonansfrekvensen er $X_L = X_C$

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{10\text{mH}}{1\text{nF}}} = \underline{\underline{3,2\text{k}\Omega}}$$

Nu kan spolens Q og dermed kredsløbets Q findes.

$$Q = X_L / r = 3,2\text{k}\Omega / 32\Omega = \underline{\underline{100}}$$

Når man kender resonansfrekvensen og Q , kan man finde kredsløbets båndbredde.

$$b_3 = f_{res} / Q = 50\text{kHz} / 100 = \underline{\underline{500\text{Hz}}}$$

Når man kender generatorstrømmen og generatorspændingen, kan man finde kredsløbets resonansimpedans.

$$Z_{res} = R = u_{gen} / i_{gen} = 3,2\text{v} / 10\mu\text{A} = \underline{\underline{320\text{k}\Omega}}$$

Her er en anden måde at finde kredsløbet Q på.

$$Q = Z_{res} / X_L = 320\text{k}\Omega / 3,2\text{k}\Omega = \underline{\underline{100}}$$

Strømmen i spolen kan findes på flere måder.

Når man kender spændingen over spolen og spolens reaktans, kan den findes.

$$i_L = u_{kreds} / X_L = 3,2\text{v} / 3,2\text{k}\Omega = \underline{\underline{1\text{mA}}}$$

Man kan også finde strømmen i spolen, når man kender generatorstrømmen og kredsløbets Q .

$$i_L = Q \times i_{gen} = 100 \times 10\mu\text{A} = \underline{\underline{1\text{mA}}}$$

Strømmen i kondensatoren kan findes på flere måder. Når man kender spændingen over kondensatoren og kondensatorens reaktans, kan den findes.

$$i_C = u_{\text{kreds}} / X_C = 3,2\text{V} / 3,2\text{k}\Omega = \underline{1\text{mA}}$$

Man kan også finde strømmen i kondensatoren, når man kender generatorstrømmen og kredsløbets Q.

$$i_C = i_{\text{gen}} \times Q = 10\mu\text{A} \times 100 = \underline{1\text{mA}}$$

Af det viste fremgår det, at $i_C = i_L$ ved resonansfrekvensen.

Effekt der afsættes i tabsmodstanden kan findes, da strømmen gennem den kendes.

$$P_r = i_r^2 \times r = 1\text{mA}^2 \times 32\Omega = \underline{32\mu\text{Watt}}$$

Effekten der afsættes i hele kredsløbet kan findes når generatorstrømmen og generatorspændingen er kendte.

$$P_{\text{kreds}} = P_R = i_{\text{gen}} \times u_{\text{gen}} = 10\mu\text{A} \times 3,2\text{V} = \underline{32\mu\text{Watt}}$$

Den kan også findes ved at bruge Z_{res} og igen.

$$P_R = i_{\text{gen}}^2 \times Z_{\text{res}} = 10\mu\text{A}^2 \times 320\text{k}\Omega = \underline{32\mu\text{Watt}}$$

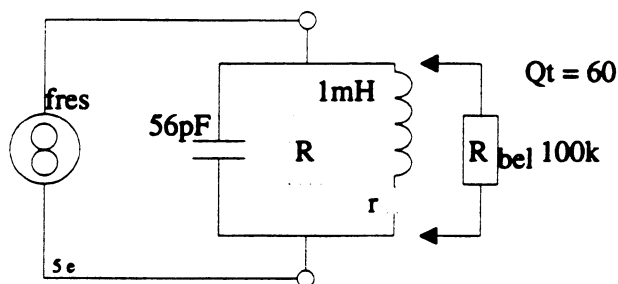
Det viser sig, at den effekt der afsættes i hele kredsløbet, er den samme som effekten der afsættes i spolens serietabsmodstand r .

Man kan vise, at r transformeres op til R i en parallelsvingningskreds.

$$Z_{\text{res}} = R = r \times (Q^2 + 1) = 32 \times (100^2 + 1) = \underline{320\text{k}\Omega}$$

I HF-Teknik side 39 og 40 er formelen udledt.

Eksempel 3.



For kredsløbet er følgende opgivet:

$$L = 1\text{mH}, - C = 56\text{pF}, - Q_t = 60 \text{ og } R_{\text{bel}} = 100\text{k}\Omega.$$

Følgende skal beregnes:

$$f_{\text{res}}, - b_3, - Z_{\text{res}}, - r, - Z_{\text{res bel}}, - Q_{\text{bel}} \text{ og } - b_3 \text{ bel.}$$

Først skal der regnes på kredsløbet, uden at belastningsmodstanden er tilsluttet.

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1\text{mH} \times 56\text{pF}}} = \underline{673\text{kHz.}}$$

Q_t er kredsløbets Q, inden der tilsluttes en belastningsmodstand.

I eksemplet er den opgivet til 60.

$$b_3 = f_{\text{res}} / Q_t = 673\text{kHz} / 60 = \underline{11,2\text{kHz.}}$$

For at finde resonansimpedansen skal man kende X_L og Q .

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1\text{mH}}{56\text{pF}}} = \underline{4,23\text{k}\Omega}$$

$$Z_{\text{res}} = X_L \times Q_t = 4,23\text{k}\Omega \times 60 = \underline{253,5\text{k}\Omega}$$

$$r = X_L / Q_t = 4,23\text{k}\Omega / 60 = \underline{70\Omega}$$

Det skal her vises, hvad der sker, hvis en parallel-svingningskreds belastes.

I eksemplet er belastningsmodstanden på $100\text{k}\Omega$.

Først beregnes den belastede resonansimpedans.

En parallelsvingningskreds optræder ved resonans-frekvensen som en stor "Ohmsk" modstand.

Når der sættes en belastningsmodstand parallelt over svingningskredsen, vil den samlede modstand blive mindre end den mindste modstand.

Da det er 2 "Ohmske" modstande, bruges den almindelige formel for beregning af parallelforbindelser.

$$Z_{\text{res bel}} = Z_{\text{res}} // R_{\text{bel}} = 253,5\text{k}\Omega // 100\text{k}\Omega = \underline{\underline{71,7\text{k}\Omega}}$$

Herefter kan det belastede Q beregnes.

Når kredsløbets samlede modstand er blevet mindre, falder Q.

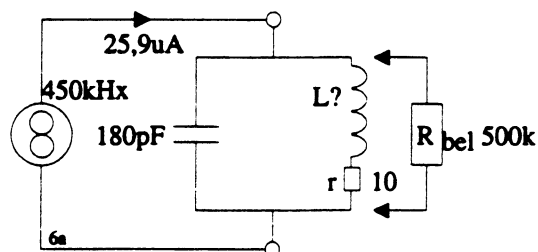
$$Q_{\text{bel}} = Z_{\text{res bel}} / X_L = 71,7\text{k}\Omega / 4,23\text{k}\Omega = \underline{\underline{17}}$$

Når Q er faldet, vil båndbredden blive større.

$$b_{3\text{bel}} = f_{\text{res}} / Q_{\text{bel}} = 673\text{kHz} / 17 = \underline{\underline{40\text{kHz}}}.$$

Af eksemplet fremgår det, at båndbredden altid vil blive større, når en svingningskreds belastes.

6. Beregningseksempel



For kredsløbet er følgende opgivet.

$I_{\text{gen}} = 25,9\mu\text{A}$, $f_{\text{res}} = 450\text{kHz}$, $C = 180\text{pF}$, $R_{\text{bel}} = 500\text{k}\Omega$ og $r = 10\Omega$.

Følgende skal beregnes.

L , - X_L , - Q_t , - Z_{res} , - i_C og b_3 .

Herefter tilsluttes belastningsmodstanden, og følgende skal beregnes.

$Z_{\text{res bel}}$, - Q_{bel} og $b_{3\text{bel}}$.

Herefter skal det beregnes, hvilken modstand der skal sættes i serie med r , for at "erstatte" R_{bel} .

Prøv først at løse opgaverne, og noter resultatet herunder.

I det efterfølgende er det vist, hvordan opgaven kan løses. Det kan du bruge som facitliste.

$L =$ _____

$X_L =$ _____

$Q_t =$ _____

$Z_{\text{res}} =$ _____

$i_C =$ _____

$b_3 =$ _____

$Z_{\text{res bel}} =$ _____

$Q_{\text{bel}} =$ _____

$b_{3\text{bel}} =$ _____

Seriemodstanden til $r =$ _____

Først beregnes spolen. Det gøres, ved at løse grundformlen for resonansfrekvensen med hensyn til L.

$$L = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 \times C} = \frac{1}{(2\pi 450 \text{ kHz})^2 \times 180 \text{ pF}} = \underline{\underline{695 \mu\text{H}}}$$

Når man kender L og C, kan XL ved resonansfrekvensen beregnes.

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{695 \mu\text{H}}{180 \text{ pF}}} = \underline{\underline{1965 \Omega}}$$

Når XL og spolens serietabsmodstand er kendte, kan Qt beregnes.

$$Q = Q_t = X_L / r = 1965 \Omega / 10 \Omega = \underline{\underline{196,5}}$$

Resonansimpedansen kan beregnes på flere måder, når man kender Q, r og XL.

$$Z_{res} = Q \times X_L = 196,5 \times 1965 \Omega = \underline{\underline{386 \text{ k}\Omega}}$$

$$Z_{res} = (Q^2 + 1) \times r = (196,5^2 + 1) \times 10 = \underline{\underline{386 \text{ k}\Omega}}$$

Kredsløbet optræder ved resonansfrekvensen som en "Ohmsk" modstand på 386 kΩ.

Når generatorstrømmen samtidig er kendt, kan man beregne generatorspændingen.

$$U_{kreds} = Z_{res} \times I_{gen} = 386 \text{ k}\Omega \times 25,9 \mu\text{A} = \underline{\underline{10 \text{ V}}}$$

iC kan også findes på flere måder, når man kender igen, ukreds, Q og XC.

$$i_C = Q \times I_{gen} = 196,5 \times 25,9 \mu\text{A} = \underline{\underline{5,1 \text{ mA}}}$$

$$i_C = U_{kreds} / X_C = 10 \text{ V} / 1965 \Omega = \underline{\underline{5,1 \text{ mA}}}$$

Båndbredden kan findes, når resonansfrekvensen og Q er kendte.

$$B_3 = f_{res} / Q_t = 450 \text{ kHz} / 196,5 = \underline{\underline{2,3 \text{ kHz}}}$$

Når kredsløbet belastes af en modstand på 500 kΩ, bliver resonansimpedansen mindre.

Den belastede resonansimpedans kaldes Zres bel.

$$Z_{res \text{ bel}} = Z_{res} // R_{bel} = 386 \text{ k}\Omega // 500 \text{ k}\Omega = \underline{\underline{218 \text{ k}\Omega}}$$

Når resonansimpedansen er blevet mindre, bliver Q også mindre.

$$Q_{bel} = Z_{res \text{ bel}} / X_L = 218 \text{ k}\Omega / 1965 \Omega = \underline{\underline{111}}$$

Når Q falder, stiger båndbredden.

$$B_3 \text{ bel} = f_{res} / Q_{bel} = 450 \text{ kHz} / 111 = \underline{\underline{4,1 \text{ kHz}}}$$

Nu skal det beregnes, hvilken modstand der skal serieforbindes med r, for at få den samme virkning, som den Rbel forårsagede.

Man kan vise, at en lille seriemodstand kan gøre den samme skade som en stor parallelmodstand.

Man går ud fra grundformlen for Zres.

$$Z_{res} = (Q^2 + 1) \times r.$$

Når Q er større end 10 kan formelen forenkles.

$$Z_{res} = Q^2 \times r.$$

Løses den med hensyn til r fås følgende.

$$r = Z_{res} / Q^2$$

Da kredsløbet blev belastet med en modstand på 500 kΩ faldt Q til 111 og Zres blev 218 kΩ.

Det er det belastede kredsløb der skal regnes på, derfor er det de belastede størrelser der skal bruges.

$$r_{\text{total}} = Z_{res \text{ bel}} / Q_{bel}^2 = 218 \text{ k}\Omega / 111^2 = \underline{\underline{17,7 \Omega}}$$

r total består af r på 10 Ω og en seriemodstand R der er ukendt.

$$r_{\text{total}} = r + R \text{ det medfører at } R = r_{\text{total}} - r$$

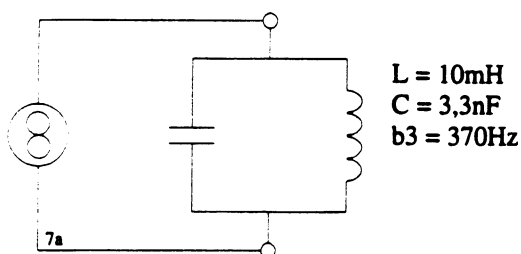
$$R = 17,7 \Omega - 10 \Omega = \underline{\underline{7,7 \Omega}}$$

Hvis der indsættes en seriemodstand i spolen på 7,7 Ω, giver det samme virkning, som hvis spolen parallelforbinder med en modstand på 500 kΩ.

Man kan transformere en lille seriemodstand op til en stor parallelmodstand.

7. Opgaver

Opgave 1.

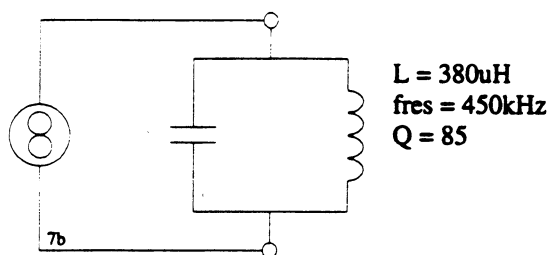


Beregn fres og Q.

fres = _____

Q = _____

Opgave 2.

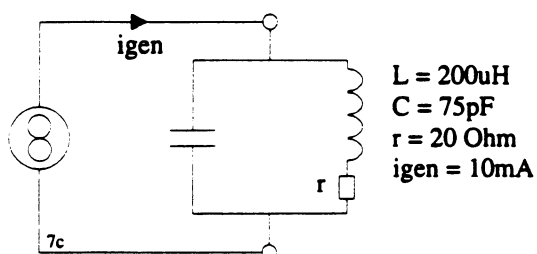


Beregn Zres og C.

Zres = _____

C = _____

Opgave 3.



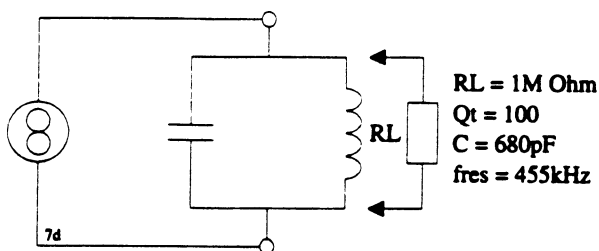
Beregn Zres, ukreds og iC.

Zres = _____

ukreds = _____

iC = _____

Opgave 4.



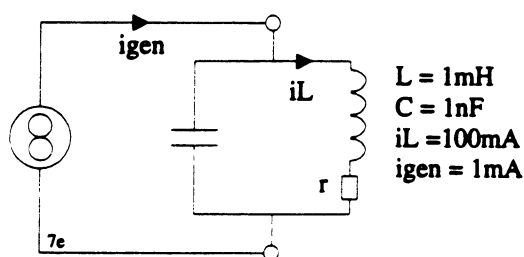
Beregn L, Zresbel og Qbel

L = _____

zresbel = _____

Qbel = _____

Opgave 5.



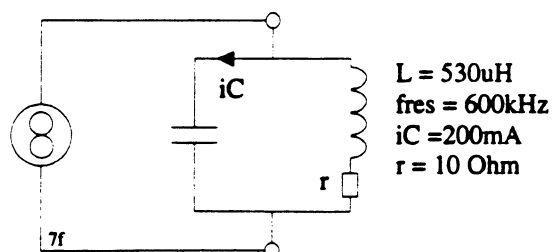
Beregn Zres, ukreds og r.

Zres = _____

ukreds = _____

r = _____

Opgave 6.

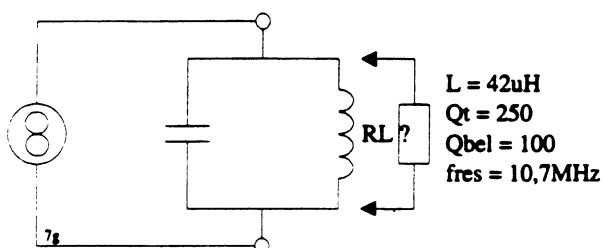


Beregn C, ukreds og Zres.

C = _____

ukreds = _____

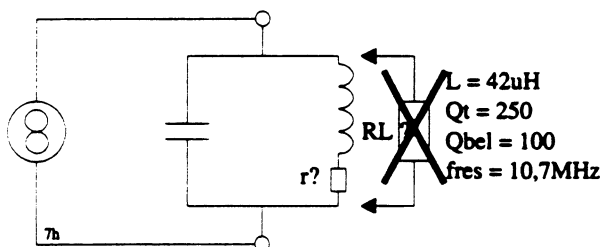
Zres = _____

Opgave 7.

Beregn C og Rbel

C = _____

Rbel = _____

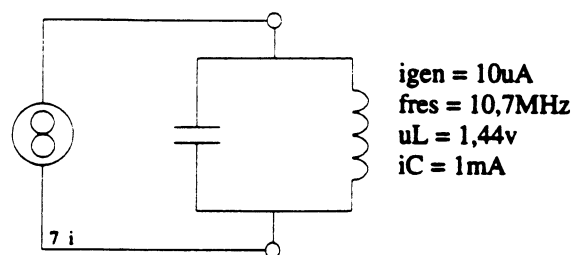
Opgave 8.

Det er den samme postilling som i opgave 7.

En stor parallelmodstand der belaster spolen, kan erstattes af en lille seriemodstand.

Beregn den modstand, der skal serieforbindes med spolen, så kredsløbet har samme egenskaber som det belastede kredsløb i opgave 7.

Rserie = _____

Opgave 9.

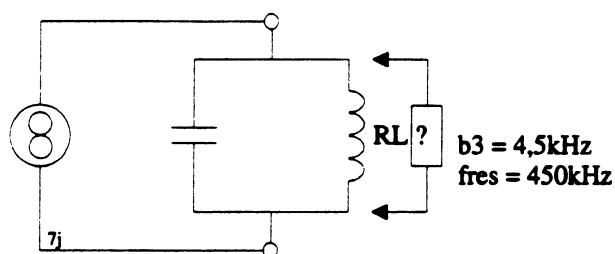
Beregn L, C, Q og Zres.

L = _____

C = _____

Q = _____

Zres = _____

Opgave 10.

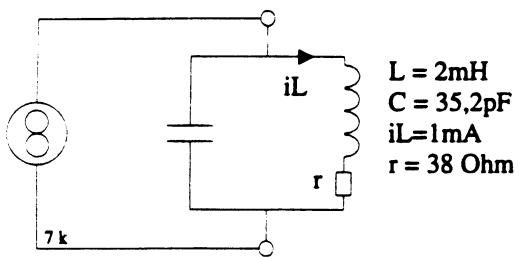
Når kredsløbet belastes med $10\text{k}\Omega$, stiger båndbredden til 9kHz .

Beregn L og C.

L = _____

C = _____

Opgave 11.



Beregn f_{res} , Q , igen og ugen.

$f_{\text{res}} =$ _____

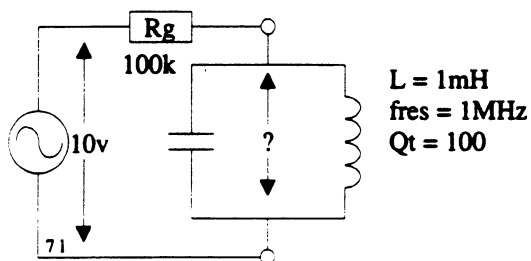
$Q =$ _____

igen = _____

ugen = _____

Opgave 12.

1



Kredsløbets Q er 100. Når generatoren tilsluttes belastes det af R_g på $100\text{k}\Omega$.

Beregn Q_{bel} , $Z_{\text{res bel}}$ og ukreds når generatoren tilsluttes.

$Q_{\text{bel}} =$ _____

$Z_{\text{res bel}} =$ _____

ukreds = _____

Impedanstransformering.

Disposition.

1. Indledning.
2. Transformering generelt.
3. Opgaver.
4. Impedanstransformering med induktivt udtag.
5. Opgaver.
6. Impedanstransformering med kapacitivt udtag.
7. Opgaver.

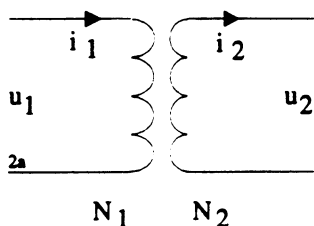
1. Indledning.

Impedanstransformering kan foretages af to grunde.

- a. Enten fordi man ønsker, at en lav belastningsmodstand skal transformeres op, så den ikke belaster den tilhørende svingningskreds.
- b. Eller fordi man ønsker impedanstilpasning imellem en generatormodstand og en belastningsmodstand. Herved får man overført maksimal effekt til belastningen.

2. Transformering.

Vi skal starte med at se på den teoretiske transformer. At den er teoretisk betyder her, at der ikke er taget hensyn til tab i den.



n = Omsætningsforholdet

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{i_2}{i_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = n$$

u_1 = primærspændingen.

u_2 = sekundærspændingen.

N_1 = antallet af vindinger på primærviklingen.

N_2 = antallet af vindinger på sekundærviklingen.

For den viste transformator kan man opstille en formel for spændingstransformeringen. Man kan vise, at u_1 forholder sig til u_2 , som N_1 forholder sig til N_2 .

$$u_1 / u_2 = N_1 / N_2$$

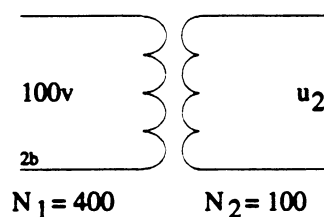
Ved omskrivning af formelen fås:

$$u_2 = (u_1 \times N_2) / N_1$$

Hvis man kender indgangsspændingen og vindings-tallet på primær- og sekundærsiden, kan udgangsspændingen findes.

Indgangsspændingen kan transformeres om til en udgangsspænding.

På tegningen ses formelen for omsætningsforholdet.



$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{u_1}{u_2} = n$$

$$u_2 = \frac{u_1 \times N_2}{N_1} = \frac{u_1}{n}$$

I det viste eksempel er $u_1 = 100v$, $N_1 = 400$ og $N_2 = 100$.

Omsætningsforholdet er da

$$N_1 / N_2 = 400 / 100 = \underline{4}$$

Nu kan udgangsspændingen beregnes.

$$u_2 = u_1 / n = 100\text{v} / 4 = \underline{25\text{v}}$$

Da indgangsspændingen er over viklingen med de mange vindinger, er der tale om en nedtransformering.

Hvis man ser på indgangsspændingen og vindings-tallet N_1 , kan man beregne det man kalder volt pr. vinding.

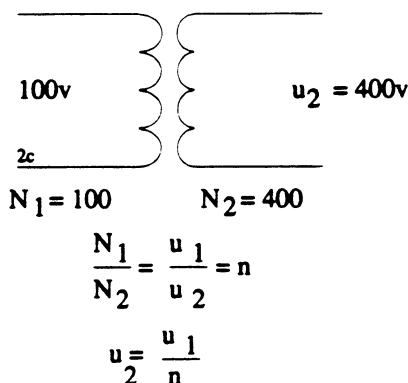
$$u_1 / N_1 = 100\text{v} / 400 = \underline{0,25\text{v}}$$

Her er det 0,25v pr. vinding.

Da transformatoren betragtes som tabsfri, er der også 0,25v pr. vinding på sekundærsiden.

Da der er 100 vindinger, bliver udgangsspændingen

$$100 \times 0,25\text{v} = \underline{25\text{v}}$$



Når transformatoren vendes, vil der på primærsiden være 100v over 100 vindinger. Hvis det regnes om til volt pr. vinding giver det 1v pr. vinding. På sekundærsiden er der nu 400 vindinger. Det giver derfor en udgangsspænding på 400v.

Omsætningsforholdet er

$$n = N_1 / N_2 = 100 / 400 = \underline{0,25}$$

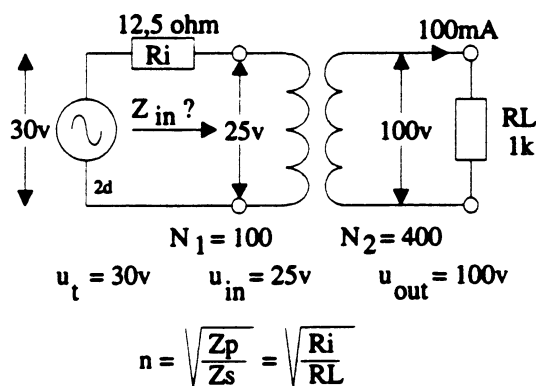
Når formlen bruges ser beregningen ud som følger:

$$u_2 = u_1 / n = 100\text{v} / 0,25 = \underline{400\text{v}}$$

Når man tilfører indgangsspændingen til viklingen med de få vindinger, får man transformeret spændingen op.

Hvis man derimod tilfører indgangsspændingen til viklingen med de mange vindinger, får man transformeret spændingen ned.

Man kan efter behov transformere en spænding op eller ned.



Det skal nu vises, at man kan transformere modstande, eller impedanser, op eller ned efter behov.

I eksempelet afgiver generatoren en spænding på 25v til transformatoren. På sekundærsiden måles en spænding på 100v over en belastningsmodstand på 1k Ohm.

Først beregnes strømmen i R_L .

$$i_{RL} = u_{RL} / R_L = 100\text{v} / 1\text{k} = \underline{100\text{mA}}$$

Når man kender strømmen i sekundærviklingen, kan man beregne den i primærviklingen.

$$i_{\text{primær}} = i_{\text{sekundær}} / n = 100\text{mA} / 0,25 = \underline{400\text{mA}}$$

Når spændingen og strømmen på primærsiden er fundet, kan man beregne den modstand transformator "ser" ud i, eller belastes af. Den benævnes Z_{in} .

$$Z_{in} = u_{primær} / i_{primær} = 25\text{V} / 400\text{mA} = \underline{\underline{62,5 \text{ ohm}}}.$$

Når der er 25V over primærviklingen, og når strømmen i primærviklingen er 400mA, så er modstanden i primærsiden 62,5 ohm.

Da transformatoren her regnes for tabsfri, er det RL der er transformeret om til primærsiden.

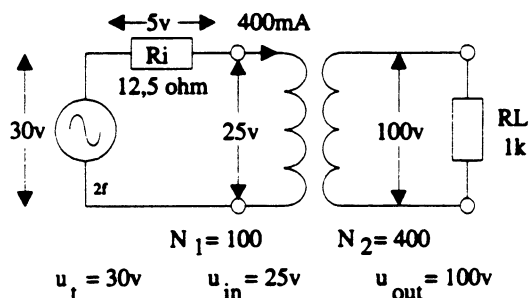
RL sidder på den vikling med de mange vindinger, den bliver derfor transformeret ned.

Det er tidligere vist at omsætningsforholdet = $n = N_1 / N_2 = u_1 / u_2$.

Det kan her vises at omsætningsforholdet kan beregnes ved hjælp af impedanser.

$$n = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{\frac{62,5}{1000}} = 0,25$$

Her er Z_1 = den impedans generatoren ser ind i, og Z_2 er = RL.



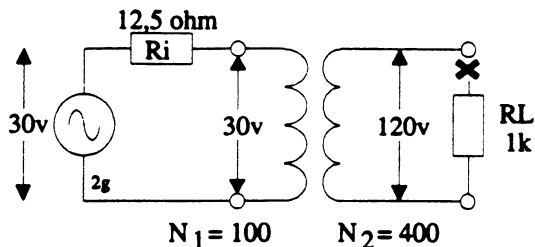
På tegningen er generatorens $R_i = 12,5 \text{ Ohm}$.

Det skal her vises hvilken værdi den transformeres om til på udgangen.

$$R_i' = R_i / n^2 = 12,5 / 0,25^2 = \underline{\underline{200 \text{ Ohm}}}.$$

R_i vil set fra udgangen af transformatoren have en værdi på 200 Ohm.

At det er rigtigt, kan man vise på følgende måde.

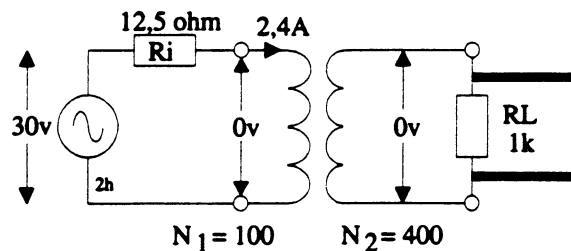


Hvis R_L fjernes, går der ingen strøm i sekundærviklingen, og dermed går der heller ikke strøm i primærviklingen. Over indgangen er der 30V, det er generatorens tomgangsspænding.

Når der er 100 vindinger, er det 0,3V pr. vinding. Da der på udgangen er 0,3V pr. vinding, giver det en tomgangsspænding på $400 \times 0,3\text{V} = \underline{\underline{120\text{V}}}.$

Bruges formelen fås følgende:

$$u_2 = u_1 / n = 30\text{V} / 0,25 = 120\text{V}.$$



Hvis R_L kortsluttes, er der 0V på udgangen.

Der er 0V pr. vinding.

Når udgangen kortsluttes er der også 0V på indgangen. Man kan nu beregne strømmen i primærviklingen.

$$u_{tomgang} / R_i = 30\text{V} / 12,5\text{Ohm} = \underline{\underline{2,4\text{A}}}$$

Når man kender kortslutningsstrømmen i primærviklingen, kan kortslutningsstrømmen i sekundærviklingen beregnes.

$$i_{sekundær} = i_{primær} \times n = 2,4\text{A} \times 0,25 = \underline{\underline{600\text{mA}}}.$$

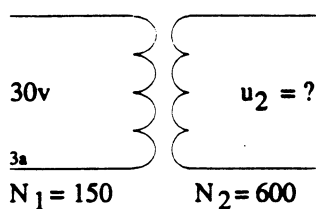
Når man kender tomgangsspændingen og kortslutningsstrømmen kan man finde R_i .

$$R_i = U_t / i_k = 120\text{V} / 600\text{mA} = \underline{\underline{200 \text{ Ohm}}}.$$

Med en transformator kan man transformere impedanser fra den ene side til den anden. På den side hvor der er flest vindinger, er den største impedans, og på den side hvor der er færrest vindinger, er den mindste impedans.

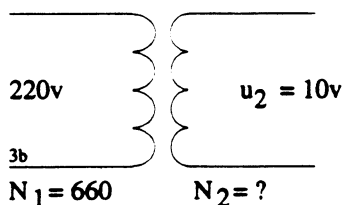
3 Opgaver.

Opgave 1.



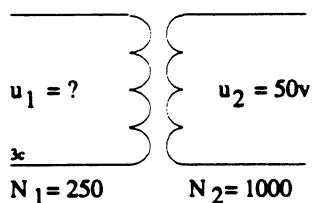
Beregn u_2 . _____

Opgave 2



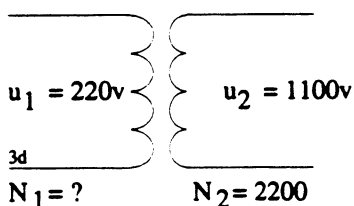
Beregn N_2 . _____

Opgave 3



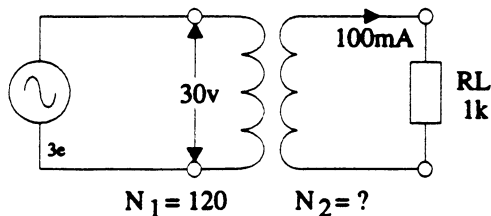
Beregn u_1 . _____

Opgave 4.



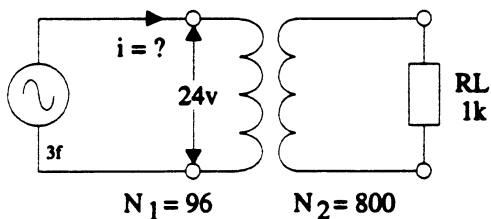
Beregn N_1 . _____

Opgave 5.



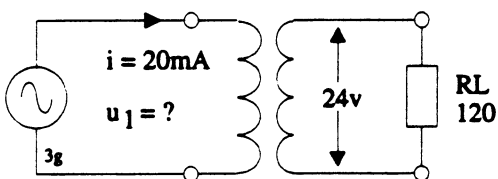
Beregn N_2 . _____

Opgave 6.



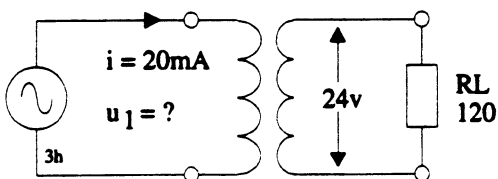
Beregn i_1 . _____

Opgave 7.



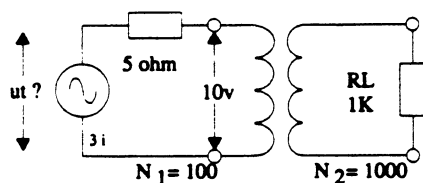
Beregn u_1 . _____

Opgave 8.



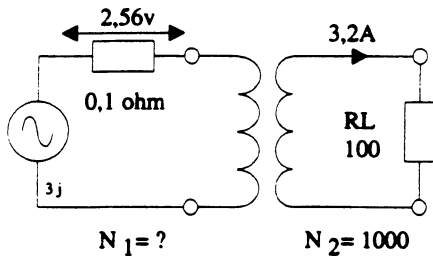
Beregn N_2 . _____

Opgave 9.

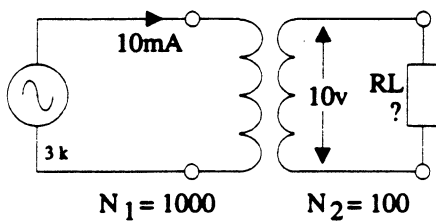


Beregn u_t . _____

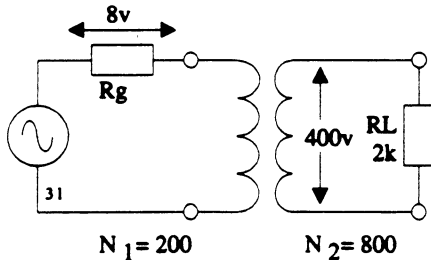
Opgave 10.

Beregn N_1 . _____

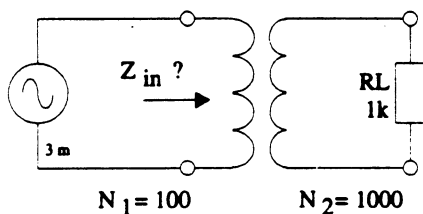
Opgave 11

Beregn R_L . _____

Opgave 12.

Beregn R_g . _____

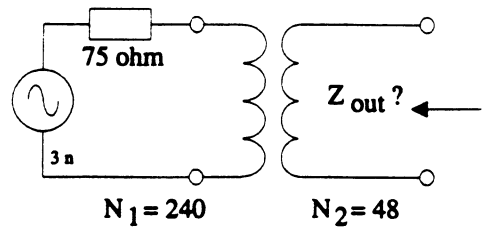
Opgave 13.



Hvilken impedans ser generatoren ind i?

 $Z_{in} =$ _____

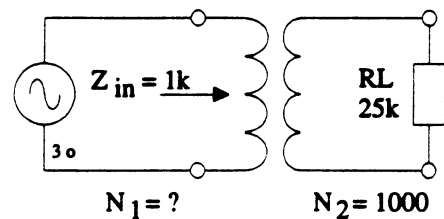
Opgave 14.



Hvilken impedans kan man måle på udgangen?

 $Z_{out} =$ _____

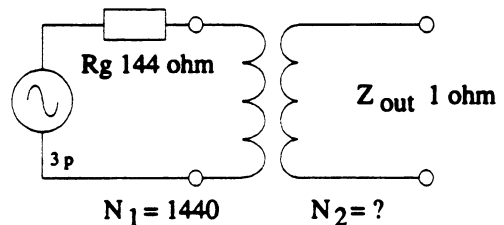
Opgave 15.



Generatoren ser ind i en impedans på 1k ohm.

Beregn N_1 . _____

Opgave 16.



Transformatorens udgangsimpedans er 1 ohm.

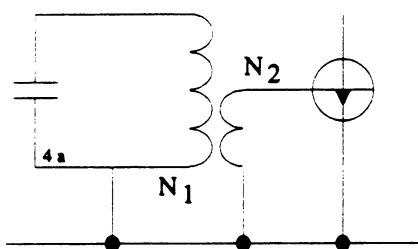
Beregn N_2 . _____

4. Impedanstransformering med induktivt udtag.

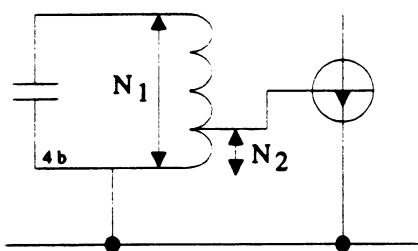
I det følgende skal vi se på impedanstransformeringen i en parallelsvingningskreds. Grunden til at man laver impedanstransformering på en svingningskreds er, at man vil nedsætte belastningen af kredsen. Det kan gøres enten ved hjælp af et udtag, eller ved hjælp af en link.

Når en svingningskreds belastes, falder Q' et, og derved stiger båndbredden.

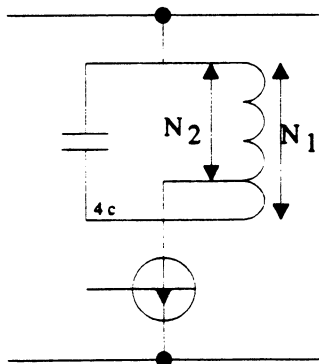
Her er vist 3 eksempler på impedanstransformering ved tilkobling af en transistor til en parallelkreds.



Tilkobling via en link.



Tilkobling via et udtag.



Tilkobling via et udtag.

Først betragtes den ubelastede svingningskreds, og samtidig repeteres noget af det, der er gennemgået i tidligere afsnit.

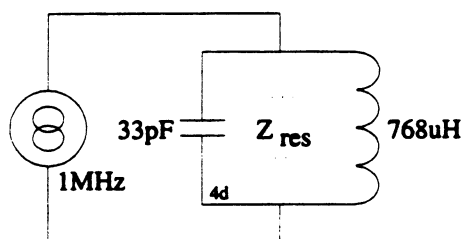
Resonansfrekvensen skal være 1MHz.

Beregn C og afrund til nærmeste standardværdi når X_C skal være 4,8kOhm.

$$C = \underline{\hspace{2cm}}$$

Beregn L så resonansfrekvensen bliver 1MHz.

$$L = \underline{\hspace{2cm}}$$

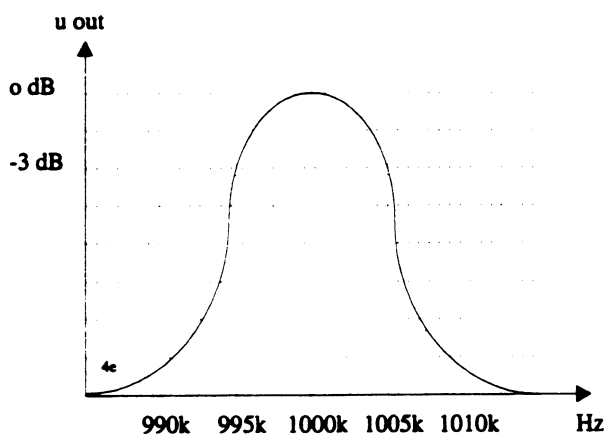


På tegningen ses komponentværdierne. Herefter skal kredsløbets resonansimpedans beregnes.

På næste tegning ses gennemgangskurven.

Ud fra den skal du finde svingningskredsens Q .

$$Q = \underline{\hspace{2cm}}$$



$$Q' \text{ et er } f_{\text{res}} / b_3 = 1\text{MHz} / 10\text{kHz} = \underline{100}$$

Når man kender Q og X_C kan man beregne Z_{res} .

$$Z_{\text{res}} = Q \times X_C = 100 \times 4,8\text{k} = \underline{480\text{k Ohm}}$$

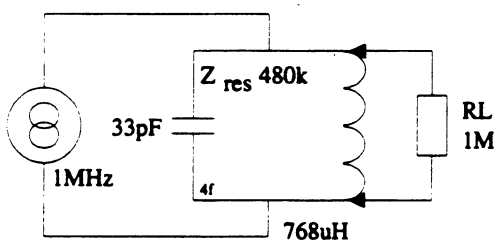
Ved resonansfrekvensen optræder kredsen som en meget stor modstand. Hvis man belaster kredsen med f.eks en transistor, falder Q, dermed stiger båndbredden.

På den næste tegning er kredsløbet forsynet med en belastningsmodstand RL.

Beregn Zres bel. - Qbel. og b3 bel.

Zres bel. = _____

Q bel. = _____ b3bel= _____



Ved resonansfrekvensen optræder kredsen som en stor modstand. Når man tilslutter en belastningsmodstand falder den samlede impedans.

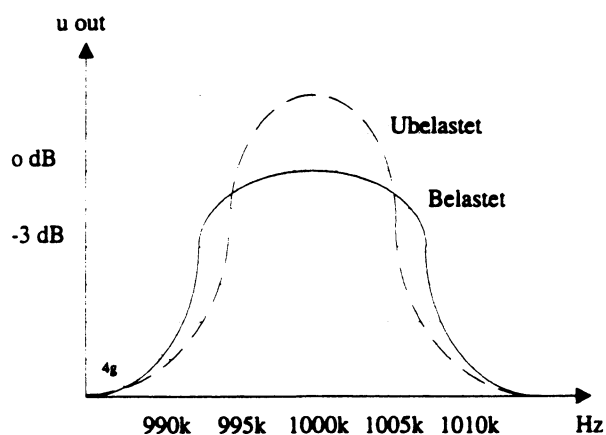
$$Z_{res\ bel.} = Z_{res} // RL = 480k // 1M = \underline{\underline{323k.}}$$

Når Zres kendes kan Qbel findes.

$$Q_{bel} = Z_{res\ bel.} / X_c = 323k / 4,8k = \underline{\underline{68}}$$

Når man kender Qbel. kan man finde b3 bel.

$$b3\ bel. = f_{res} / Q_{bel.} = 1MHz / 68 = \underline{\underline{14,7kHz.}}$$



Tegningen viser gennemgangskurverne for den ubelastede- og den belastede svingningskreds.

Hvis belastningsmodstanden bliver mindre vil båndbredden stige endnu mere.

Beregn Zres bel. - Qbel. og b3 bel. hvis RL er 480k.

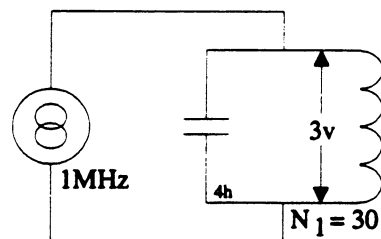
Zres bel. = _____

Qbel. = _____

b3 bel. = _____

Hvis parallelsvingningskredsen tilsluttes en transistor med en udgangsimpedans på 10k Ohm, så går det helt galt.

Løsningen er impedanstransformering.

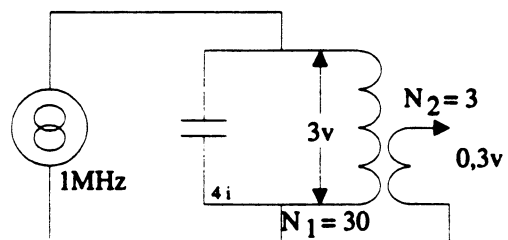


Af tegningen fremgår det at spolen har 30 vindinger. Over hele spolen kan man måle 3v.

Fra tidligere er det kendt, at man kan beregne, hvor mange volt der er pr. vinding.

Her er det 0,1v pr. vinding.

Hvis der tilsluttes en vikling med 3 vindinger, kan det der er beskrevet tidligere i afsnittet bruges.



$$Z_{res} = 480k \quad L = 768uH \quad c = 33pF$$

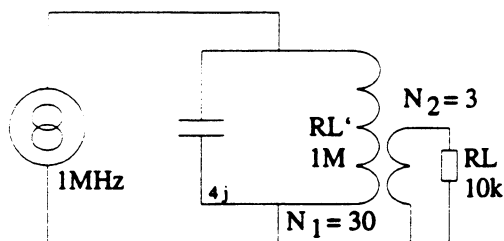
Når man kender vindingstallet på primær- og sekundærviklingen, kan man finde omsætningsforholdet.

$$n = N_1 / N_2 = 30 / 3 = \underline{\underline{10}}$$

Spændingen på udgangen er her:

$$u_2 = u_1 / n = 3v / 10 = \underline{\underline{0,3v}}$$

Når man kender spændingsomsætningsforholdet, benævnt med n , kan man finde impedansomsætningsforholdet. Det er n^2



$$Z_{res} = 480k \quad L = 768\mu H \quad c = 33pF$$

Af tegningen fremgår det at RL er transformeret ind i svingningskredsen, her er den benævnt med RL' .

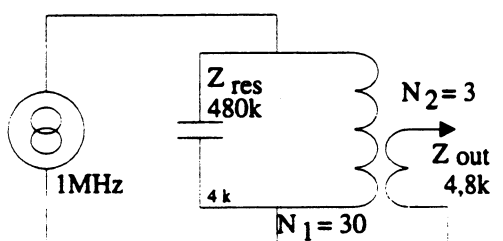
$$RL' = RL \times n^2 = 10k \times 10^2 = \underline{1M \text{ ohm.}}$$

Hvis det er svingningskredsen fra side 7 spalte 1, falder Q fra 100 til 68, og båndbredden stiger fra 10kHz til 14,7kHz.

Det er et resultat man må akseptere.

Hvis RL var lagt direkte over kredsen, var Q faldet til ca. 2. Det er ikke brugbart.

Hvis man regner den anden vej, kan man finde ud af hvor stor udgangsimpedansen af svingningskredsen er.



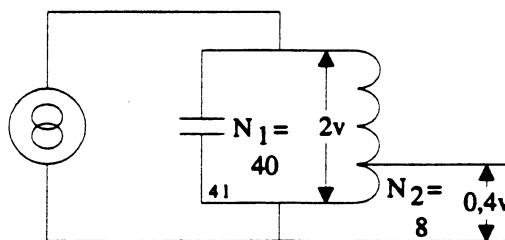
$$Z_{res} = 480k \quad L = 768\mu H \quad c = 33pF$$

Vi ved at Q tomgang er 100, Z_{res} er 480k Ohm og $n = 10$.

Udgangsimpedansen af kredsen bliver transformeret ned med n^2

$$Z_{out} = Z_{res} / n^2 = 480k / 10^2 = \underline{4,8k}$$

Impedanstransformering med udtag.



Over den viste svingningskreds er der 2v.

Da indgangsviklingen har 40 vindinger er der 50mv pr. vinding.

Det betyder, at der på udgangen kan måles en spænding på $50mv \times 8 = \underline{400mv}$.

Der er sket en nedtransformering af spændingen.

Omsætningsforholdet kan findes på følgende måde:

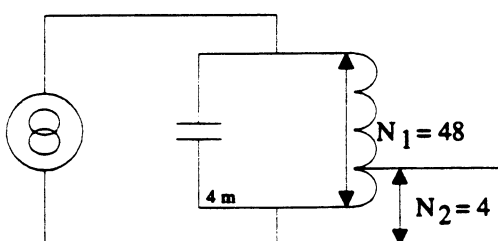
$$n = N1 / N2 = 40 / 8 = \underline{5}$$

Når spændingsomsætningsforholdet kan beregnes, kan man beregne impedansomsætningsforholdet. Det er n^2

$$\text{Her er det } 5^2 = \underline{25}$$

I en parallelsvingningskreds, kan man lige som i en transformator, transformere spændinger og impedanser op og ned efter behov.

Over viklingen med de få vindinger er den mindste spænding og impedans, og over de mange vindinger er den største spænding og impedans.



For den viste kreds er følgende givet.

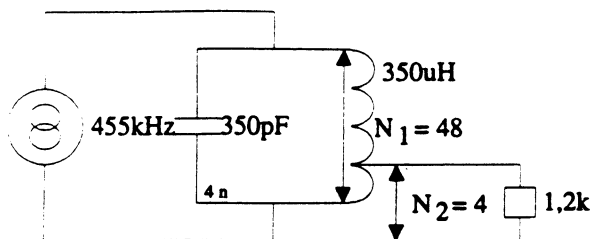
$$L = 350\mu H, \quad c = 350pF \quad b3 = 5kHz.$$

Beregn f_{res} , Z_{res} og Q .

$$f_{res} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$Z_{res} = \underline{\hspace{5cm}}$$

$$Q = \underline{\hspace{5cm}}$$



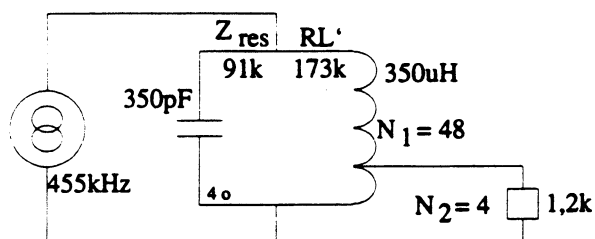
På tegningen kan du kontrollere de beregninger du lige har foretaget.

Med den tilsluttede belastningsmodstand skal du beregne $Z_{res\ bel}$, $Q\ bel$ og $b3\ bel$.

$Z_{res\ bel} =$ _____

$Q\ bel =$ _____

$b3\ bel =$ _____



Af tegningen fremgår det at R_L er transformeret ind i svingningskredsen, her benævnes den R_L' .

$$R_L' = R_L \times n^2 = 1,2k \times 12^2 = \underline{173k}$$

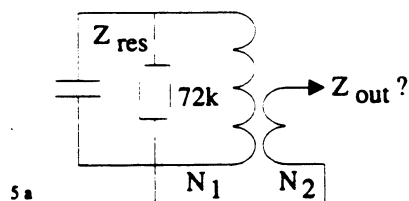
$$Z_{res\ bel} = Z_{res} \parallel R_L' = 91k \parallel 173k = \underline{60k}$$

$$Q\ bel = Z_{res\ bel} / X_L = 60k / 1k = \underline{60}$$

$$b3\ bel = f_{res} / Q\ bel = 455k / 60 = \underline{7,4k}$$

5. Opgaver

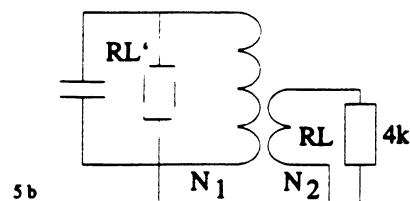
Opgave 1.



Givet $N_1 = 30$, $N_2 = 5$ og $Z_{res} = 72k$
Beregn Z_{out} .

$Z_{out} =$ _____

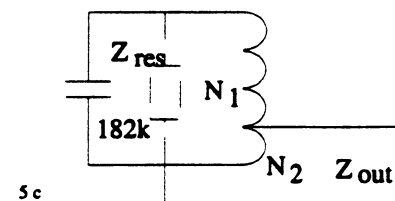
Opgave 2.



Givet $N_1 = 48$, $N_2 = 8$ og $R_L = 4k$
Beregn R_L' .

$R_L' =$ _____

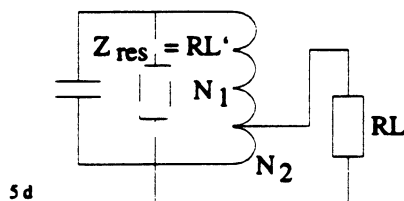
Opgave 3.



Givet $N_1 = 36$, $N_2 = 4$ og $Z_{res} = 182k$
Beregn Z_{out}

$Z_{out} =$ _____

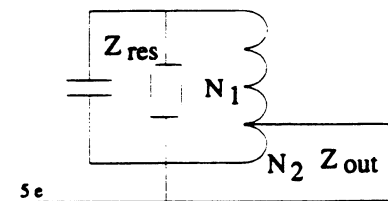
Opgave 4.



Givet $N_1 = 18$, $N_2 = 4$ og $R_L = 3k$
Beregn R_L' .

$R_L' =$ _____

Opgave 5.

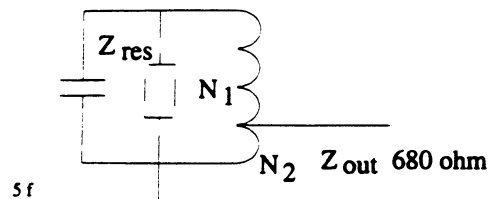


Givet $L = 6,8mH$, $c = 372pF$, $Q = 0$, $N_1 = 30$ og $N_2 = 6$.
Beregn Z_{res} og Z_{out} .

$Z_{res} =$ _____

$Z_{out} =$ _____

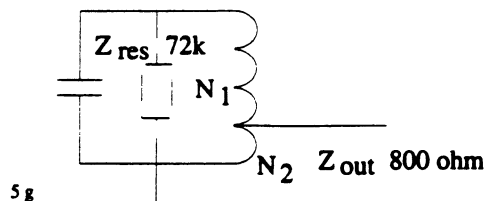
Opgave 6.



Givet $L = 56\mu\text{H}$, $c = 68\text{pF}$, $Z_{\text{out}} = 680\text{ ohm}$,
 $N_1 = 33$ og $N_2 = 4$.
 Beregn båndbredden.

$b_3 =$ _____

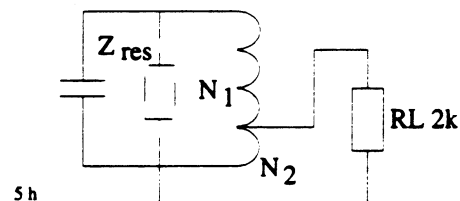
Opgave 7.



Givet $Z_{\text{res}} = 72,8\text{k}$, $Z_{\text{out}} = 800\text{ ohm}$, $N_1 = 27$.
 Beregn N_2 .

$N_2 =$ _____

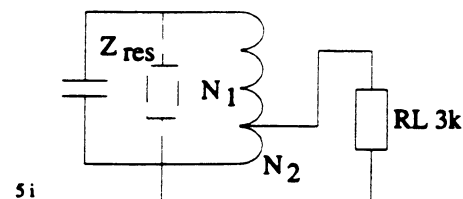
Opgave 8.



Givet $L = 100\mu\text{H}$, $c = 1\text{nF}$, $N_2 = 8$, $R_L = 2\text{k}$
 $Q_{\text{ubelastet}} = Q_t = 86$, $Q_{\text{bel}} = 51,5$
 Beregn N_1 .

$N_1 =$ _____

Opgave 9.

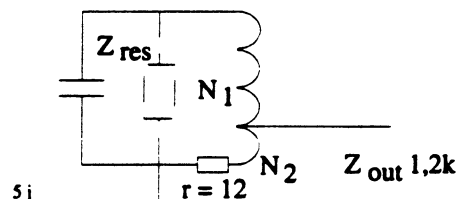


Givet $Q_t = 78$, $L = 120\mu\text{H}$, $c = 240\text{pF}$, $R_L = 3\text{k}$,
 $N_1 = 60$ og $N_2 = 12$.
 Beregn Q_{bel} og $b_{3\text{bel}}$

$Q_{\text{bel}} =$ _____

$b_{3\text{bel}} =$ _____

Opgave 10.



Givet $L = 191\mu\text{H}$, $c = 133\text{pF}$, $Z_{\text{out}} = 1,2\text{k}$, $N_2 = 10$
 og spolens tabsmodstand $r = 12\text{ ohm}$.
 Spolens tabsmodstand udgør de samlede tab i kredsen.

Beregn Z_{res} og N_1

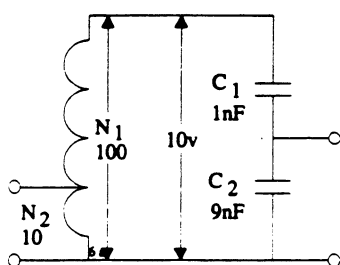
$Z_{\text{res}} =$ _____

$N_1 =$ _____

6. Impedanstransformering med kapacitivt udtag.

I det følgende skal det vises, at man kan lave impedanstransformering ved at tage signalet ud mellem 2 kondensatorer.

På tegningen ses en svingningskreds med et kapacitivt- og et induktivt udtag. Her skal de to måder, at lave udtag på, sammenlignes.



På det induktive udtag er der et omsætningsforhold på 10.

Her betyder det at der er 1V på udgangen.

På det capacitive udtag er der også 1V. Selv om man ikke kender frekvensen, kan man beregne spændingen på udgangen, da forholdet mellem X_{C1} og X_{C2} er konstant ved alle frekvenser.

Man kan vise at

$$u_{out} = (u_{in} \times c1) / c1 + c2 = (10 \times 1nF) / 1nF + 9nF = \underline{1V}.$$

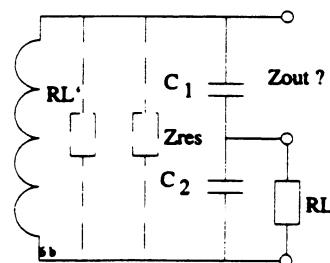
Spændingerne på udtage er transformeret ned med en faktor 10.

Når man kender $N1$ og $N2$ eller $c1$ og $c2$ kan omsætningsforholdet beregnes.

$$n = (c1 + c2) / c1 = (1nF + 9nF) / 1nF = \underline{10}.$$

Læg mærke til, at man skal dividere med den kondensator, man ikke tager signalet ud over.

Eksempel.



For det viste kredsløb er følgende opgivet.

$L = 40\mu H$, $c1 = 47pF$, $c2 = 270pF$, $RL = 2,7k$ og $Qt = 95$.

Følgende skal beregnes.

Prøv at beregne opgaven inden du går videre i teksten. Det efterfølgende kan du bruge som facitliste.

fres = _____

b3 = _____

Zres = _____

n = _____

$RL' =$ _____

Zres bel = _____

Qbel, b3 bel = _____

Z out over c1 = _____

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{tot}}} = \underline{4\text{MHz}}$$

$$b_3 = f_{res}/Q_t = 4\text{M} / 95 = \underline{42\text{kHz}}$$

$$Z_{res} = Q \times X_L = 95 \times 1\text{k}\Omega = \underline{95\text{k}\Omega}$$

$$n = (c_1 + c_2) / c_1 = (47\text{pF} + 270\text{pF}) / 47\text{pF} = \underline{6,74}$$

$$RL' = RL \times n^2 = 1\text{k} \times 6,74^2 = \underline{123\text{k}\Omega}$$

$$Z_{res\text{ bel}} = RL' // Z_{res} = 123\text{k} // 95\text{k} = \underline{53,6\text{k}\Omega}$$

$$Q_{bel} = Z_{res\text{ bel}} / X_L = 53,6\text{k} / 1\text{k} = \underline{53,6}$$

$$b_3\text{ bel} = f_{res} / Q_{bel} = 4\text{MHz} / 53,6 = \underline{74,7\text{kHz}}$$

For at finde Z_{out} over c_1 , er man nødt til at finde n .

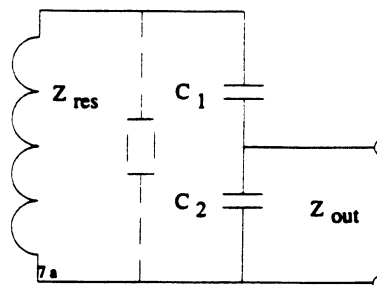
Her er det en ny n der er tale om, da det er over c_1 impedansen skal findes.

$$n = (c_1 + c_2) / c_2 = (47\text{p} + 270\text{pF}) / 270\text{pF} = \underline{1,17}$$

$$Z_{out\ c1} = Z_{res\text{ bel}} / n^2 = 53,6\text{k} / 1,17^2 = \underline{38,9\text{k}\Omega}$$

7. Opgaver.

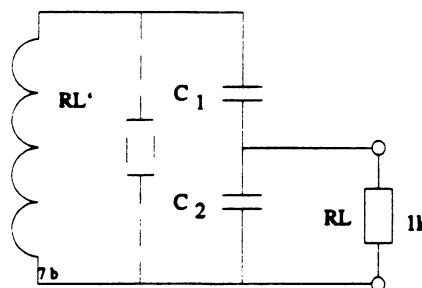
Opgave 1.



Givet $Z_{res} = 100\text{k}$, $c_1 = 3,3\text{nF}$ og $c_2 = 10\text{nF}$.
Beregn Z_{out} .

$Z_{out} =$ _____

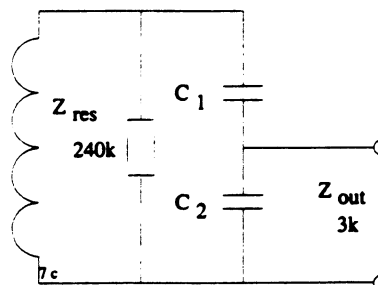
Opgave 2.



Givet $RL = 1\text{k}$, $c_1 = 1,2\text{nF}$ og $c_2 = 8,8\text{nF}$.
Beregn RL' .

$RL' =$ _____

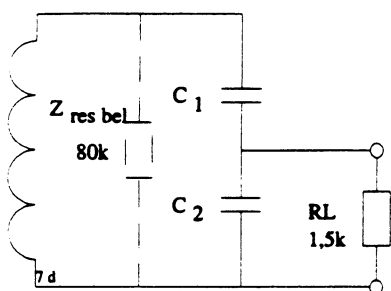
Opgave 3.



Givet $Z_{res} = 240\text{k}$, $Z_{out} = 3\text{k}$ og $c_1 = 33\text{pF}$.
Beregn c_2 .

$c_2 =$ _____

Opgave 4.

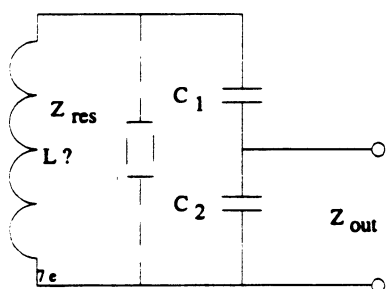


Givet $RL = 1,5k$, $Z_{res\ ubelastet} = 120k$,
 $Z_{res\ bel} = 80k$ og $c_2 = 120pF$.

Beregn c_1 .

$c_1 =$ _____

Opgave 5.



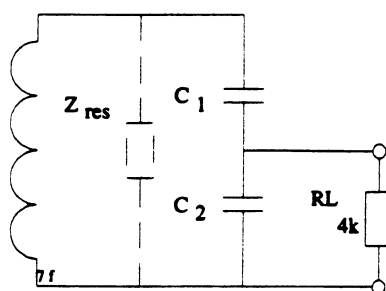
Givet $c_1 = 56pF$, $c_2 = 150pF$, $f_{res} = 10MHz$ og
 $Q_t = 80$.

Beregn L og Z_{out} .

$L =$ _____

$Z_{out} =$ _____

Opgave 6.

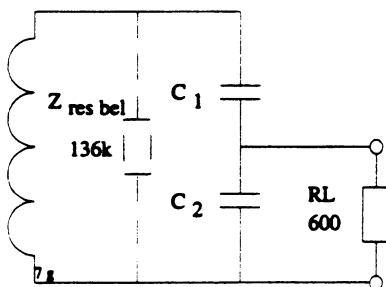


Givet $L = 10\mu H$, $c_1 = 27pF$, $f_{res} = 10,7MHz$,
 $RL = 4k$ og $Q_t = 108$.
 Beregn c_2 og b_3 bel.

$c_2 =$ _____

$b_3\ bel =$ _____

Opgave 7.

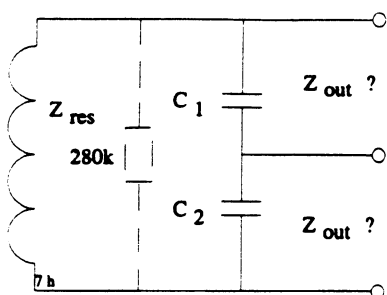


Givet $Z_{res\ bel} = 136k$, $c_1 = 10nF$, $c_2 = 560pF$ og
 $RL = 600\ ohm$.

Beregn $Z_{res\ ubelastet}$.

$Z_{res} =$ _____

Opgave 8.



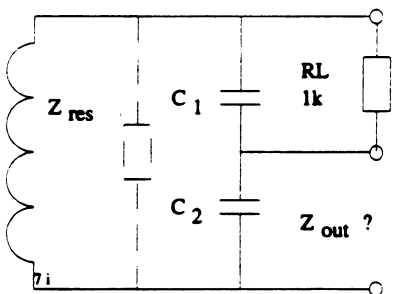
Givet $Z_{res} = 280k\Omega$, $c1 = 33nF$ og $c2 = 6,8nF$.

Hvilken impedans kan der måles over $c1$ og $c2$?

$Z_{c1} =$ _____

$Z_{c2} =$ _____

Opgave 9.

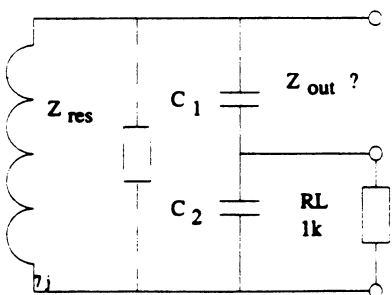


Givet $RL = 1k$, $c1 = 2,2nF$, $c2 = 450pF$ og Q_t er så stor at den ikke får indflydelse på resultatet. Beregn RL' og Z_{out} .

$RL' =$ _____

$Z_{out} =$ _____

Opgave 10.

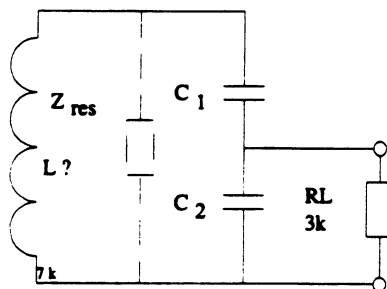


Givet $c1 = 10nF$, $c2 = 2nF$, $RL = 1k$ og Z_{res} ubelastet = $68k$.

Beregn Z_{out} .

$Z_{out} =$ _____

Opgave 11.



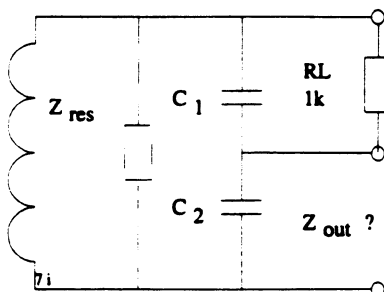
Givet $f_{res} = 455kHz$, $c1 = 470pF$, $c2 = 2,2nF$, $Q_t = 75$ og $RL = 3k$.

Beregn L og $b3$ bel.

$L =$ _____

$b3$ bel = _____

Opgave 12.



Givet $c1 = 3,3nF$, $u_{kreds} = 3V$, $u_{out} = 0,5V$ og $Z_{res} = 100k$.

Beregn $c2$ og Z_{out} .

$c2 =$ _____

$Z_{out} =$ _____

Transmissionslinier.

Disposition.

1. Indledning.
2. Transmissionskablet
3. Opgaver
4. Signalets udbredelseshastighed.
5. Stående bølger.
6. Beregningseksempel.
7. Opgaver.

En transmissionslinie er en leder, der overfører energi fra en generator til en belastning. Det kunne f. eks. være fra en sender til en antenne.

Når man skal overføre LF-signaler, kræves der kun af transmissionslinien, at den har en lav jævnstrømsmodstand.

Når man overfører LF-signaler, er ledningens reaktans næsten uden betydning, da den oftest er meget lille i forhold til den Ohmske modstand i ledningen.

Hvis frekvensen øges, stiger virkningen af den selvinduktion, der altid findes i ledningen. Samtidig stiger virkningen af den kapacitet, der er mellem lederne.

Når frekvensen bliver så høj, at transmissionslinien har en længde, der er større end $1/4$ bølgelængde, skal man være opmærksom på de særlige forhold, der gør sig gældende.

På et kabel der ikke er korrekt afsluttet, opstår der stående bølger.

Det betyder bl.a., at der ikke overføres den maksimale effekt til belastningen.

2. Transmissionskablet.

I dette afsnit behandles forholdene for et ideelt kabel. At det er ideelt betyder, at der ikke er taget hensyn til de tab, der i praksis vil være i kablet. Tabene kan skyldes udstråling, dårligt dielektrikum og den Ohmske modstand.

Et kabel består af 2 parallel ledere. Lederne kan opfattes som en selvinduktion, der er afhængig af kablets længde.

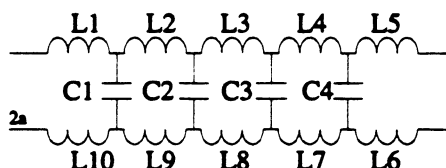
Øges kabellængden stiger selvinduktionen.

Det kan ligeledes opfattes som en kapacitet, der er afhængig af kablets dimensioner, afstanden mellem lederne.

Forøges afstanden falder kablets kapacitet.

I et kabel er selvinduktionen og kapaciteten jævnt fordelt i hele kablets længde.

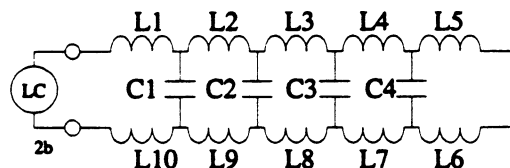
For at gøre det lettere at forstå virkemåden, betragtes kablet, som om det er opbygget af en række spoler med tilhørende kapaciteter.



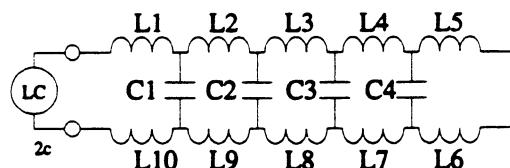
Kablets karakteristiske impedans.

Man kan finde et kables impedans, hvis man kender selvinduktionen og kapaciteten i kablet.

I praksis findes værdierne ved at bruge et LC-meter.



Selvinduktionen findes ved at kortslutte kablet i den ende, hvor instrumentet ikke er tilsluttet.



Kapaciteten findes ved at åbne kablet i den ende, hvor instrumentet ikke er tilsluttet.

Kablets karakteristiske impedans benævnes Z_0 .

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

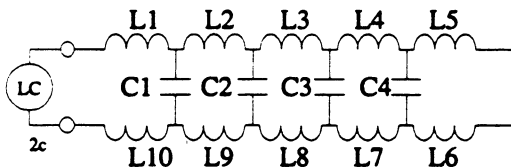
Det er den samme formel, der bruges i forbindelse med LC- svingningskredse.

Den samlede selvinduktion i et 5 meter langt kabel blev målt til $1\mu\text{H}$, og den samlede kapacitet blev målt til 400pF .

Den karakteristiske impedans kan nu beregnes.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-6}}{400 \times 10^{-12}}} = \underline{50\Omega}$$

På tegningen er kablet delt op i en række spoler og kondensatore. Find selvinduktionen for de enkelte spoler, og kapaciteten af de enkelte kondensatore.



$L =$ _____

$C =$ _____

Kablets længde forøges til det dobbelte.

Beregn nu den samlede selvinduktion og kapacitet. Beregn ligeledes den karakteristiske impedans.

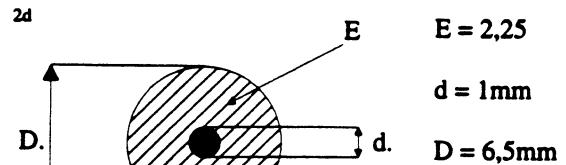
$L =$ _____

$C =$ _____

$Z_0 =$ _____

Som det fremgår af beregningerne, er kablets karakteristiske impedans uafhængig af kablets længde.

Der er også en anden måde til at bestemme kablets karakteristiske impedans på. Det gøres ved at se på kablets dimensioner.



$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{E}} \times \log \frac{D}{d} = \underline{75\Omega\text{m}}$$

$$D = \text{alog} \left(\frac{\sqrt{E} \times Z_0}{138} \right) \times d$$

På tegningen er det vist, hvordan de enkelte elementer findes.

E er dielektricitetskonstanten i isolationsmaterialet. Hvis man kender isolationsmaterialet, kan E aflæses i en teknisk formelsamling.

For antennekabler er E ca. 2.25.

Formlen der er brugt, er hentet fra HF-teknik side 176.

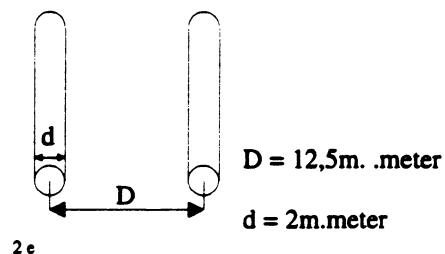
I det viste eksempel bliver impedansen 75Ω .

Beregn kablets karakteristiske impedans hvis inderlederens diameter øges til $1,85\text{mm}$.

$Z_0 =$ _____

Som det fremgår af beregningen, bliver impedansen mindre når inderlederens diameter øges.

Man kan også bestemme impedansen af 2 parallel ledere i et frit rum.



$$Z_0 = 276 \times \log \frac{2D}{d}$$

$$Z_0 = 276 \times \log \frac{2 \times 12,5\text{m}}{2\text{m}} = \underline{303\Omega\text{m}}$$

Af tegningen fremgår det, hvordan impedansen beregnes. I det viste eksempel bliver den ca. 300Ω .

Beregn impedansen i de 2 parallelle tråde når afstanden mellem dem øges til det dobbelte.

$Z_0 =$ _____

3. Opgaver

Opgave 1

I et 20meter langt kabel måles den samlede selvinduktion til $8\mu\text{H}$ og den samlede kapacitet måles til 90pF .

Beregn kablets karakteristiske impedans.

$Z_0 =$ _____

Opgave 2.

Hvilken impedans har kablet fra opgave 1, hvis det forlænges til 40meter.

$Z_0 =$ _____

Opgave 3.

Hvilken selvinduktion og kapacitet kan der måles på kablet fra opgave 1, hvis det forlænges til 100meter.

$L =$ _____

$C =$ _____

Opgave 4.

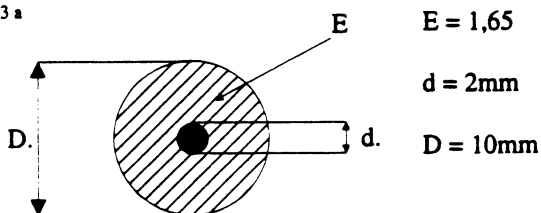
I et 600Ω s kabel på 25meter måles selvinduktionen til $10\mu\text{H}$.

Beregn kablets kapacitet.

$C =$ _____

Opgave 5.

3 a



For et kabel opgives dimensionerne som følger:
 $D = 10\text{mm}$ $d = 2\text{mm}$ $E = 1.65$.

Beregn kablets karakteristiske impedans.

$Z_0 =$ _____

Opgave 6.

Hvis kablet fra opgave 5 skal have en karakteristisk impedans på 50Ω , kan det f.eks gøres ved at bruge et andet isolationsmateriale.

Hvilken dielektricitetskonstant skal materialet have?

$E =$ _____

Opgave 7.

Hvis kablet fra opgave 5 skal have en karakteristisk impedans på 50Ω , kan det også gøres ved at ændre inderlederens dimensioner.

Beregn inderlederens diameter. $E = 1.65$

$d =$ _____

Opgave 8.

Hvis kablet fra opgave 5 skal have en karakteristisk impedans på 50Ω , kan det også gøres ved at ændre kablets ydre dimension.

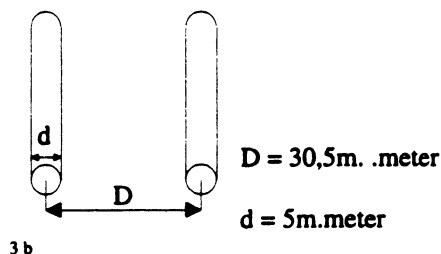
Beregn kablets diameter. $E = 1,65$

$D =$ _____

Opgave 9.

For en 2 trådslinie er følgende opgivet:

$D = 30,5\text{mm}$ $d = 5\text{mm}$



3 b

Beregn impedansen i linien.

$Z_0 =$ _____

Opgave 10.

Hvis 2 trådslinien fra opgave 9 skal have en impedans på 240Ω , kan det gøres ved at ændre afstanden mellem lederne.

Beregn afstanden.

$D =$ _____

Opgave 11.

Hvis 2 trådslinien fra opgave 9 skal have en impedans på 240Ω , kan det gøres ved at ændre diameteren på lederene.

Beregn den nye diameter.

$d =$ _____

4. Signalets udbredelseshastighed.

Radiobølger udbredes som bekendt med en hastighed af 300000km pr. sekund i et frit rum.

Når man kender udbredelseshastigheden og frekvensen, kan man finde bølgelængden af signalet i rummet

$$\lambda = V / \text{frek} = 300000\text{km} / \text{frekvensen.}$$

Beregn bølgelængden af følgende signaler.

Skibsradiofoni på 2000kHz = _____

Radiotelefonsignal på 150MHz = _____

TV signal på 600MHz = _____

NMT-signal på 900MHz = _____

Radasignal på 10GHz = _____

Udbredelseshastigheden i et kabel er mindre end i rummet.

Når man kender L og C for kablet, kan man finde forsinkelsen i kablet, t_k , og dermed udbredelseshastigheden V_k .

$$t_k = \sqrt{L \times C}$$

L og C i et 1 meter langt kabel er målt til 250nH og 100pF .

$$t_k = \sqrt{250\text{nH} \times 100\text{pF}} = \underline{\underline{5\text{n sekunden}}}$$

I det viste eksempel tager det 5n sek. for signalet at gennemløbe et kabel på 1 meter.

Udbredelseshastigheden i kablet kan nu findes.

$$V_k = 1/t_k = 1/5\text{nsek} = 200000\text{km pr. sekund.}$$

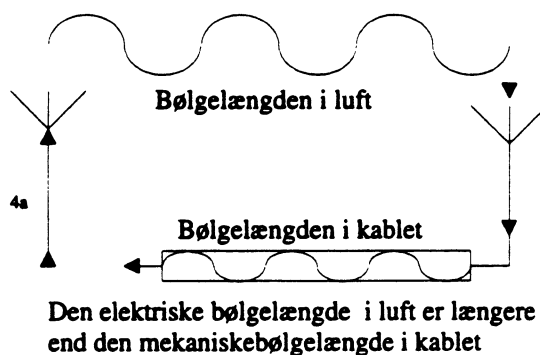
Beregn bølgelængden af følgende signaler i kablet.

Skibsradiofoni på 2000kHz = _____

Radiotelefonsignal på 150MHz = _____

TV signal på 600MHz = _____

NMT-signal på 900MHz = _____



Bølgelængden i kablet kaldes også den mekaniske bølgelængde.

Når man kender den mekaniske og den elektriske bølgelængde, kan man finde forkortningsfaktoren for kablet.

$$\text{Forkortningsfaktor} = \lambda_{\text{Kabel}} / \lambda_{\text{Luft}}$$

$$200000\text{km} / 300000\text{km} = \underline{\underline{0,66}}$$

$$\text{eller } t_{\text{Kabel}} / t_{\text{Luft}}$$

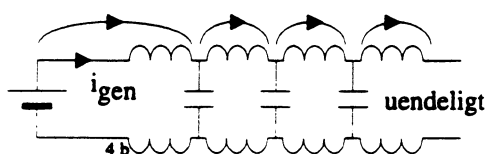
$$\text{Her er det } 3,3\text{nsek} / 5\text{nsek} = \underline{\underline{0,66}}$$

DC forhold i et kabel.

Hvis et åbent kabel tilføres en DC spænding i den ene ende, vil man naturligvis også kunne måle samme spænding i den anden ende.

Hvis man undersøger det nærmere, viser det sig, at det tager en tid inden spændingen kan måles i enden af kablet.

Strømmen er konstant i et uendeligt langt kabel.

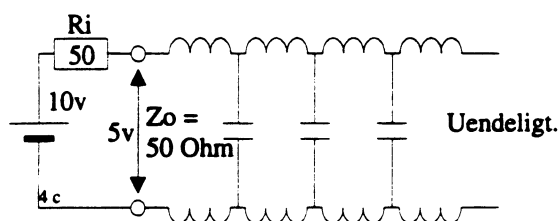


På tegningen er det vist, hvordan signalet går fra den ene svingningskreds til den anden.

I et 50Ωs kabel er udbredelseshastigheden ca. 200000km/sek.

Hvis man har et uendeligt langt kabel, vil hver enkelt svingningskreds modtage energi fra den foregående og aflevere energien til den næste. (Kablet er uden tab).

Kablet vil altså trække en konstant strøm fra generatoren, og det belaster generatoren, som om det var en Ohmsk modstand med kablets karakteristiske impedans, der var tilsluttet.

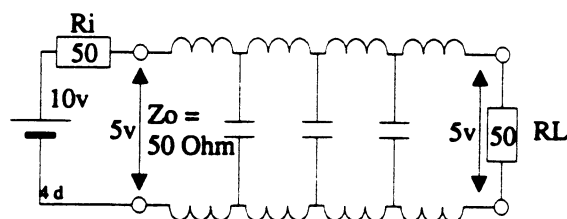


I det viste eksempel er spændingskilden 10volt og $R_i = Z_o = 50\Omega$.

Når kablet trækker en konstant strøm, er det fordi, det er uendeligt langt.

Spændingen på indgangen er det halve af generatorens tomgangsspænding.

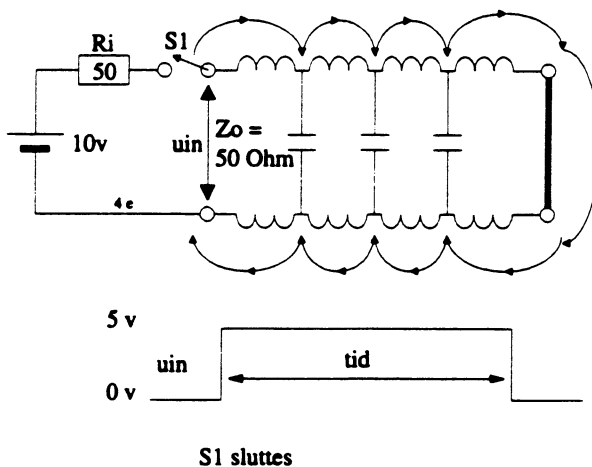
Hvis kablet afsluttes med en modstand, der er lig med kablets karakteristiske impedans, vil man kunne måle det samme som på et kabel der er uendeligt langt.



Af det viste eksempel fremgår det, at et 50Ωs kabel der er korrekt afsluttet, ikke påvirker det signal, der bliver overført via kablet, da der også er 5volt på udgangen

Det skal nu vises, hvad der sker, hvis kablet ikke er korrekt afsluttet.

Kortsluttet kabel.



Hvis kablet er kortsluttet i enden, vil man måle følgende på indgangen af kablet.

I det øjeblik S1 slutes, vil der på kablets indgangsterminal være 5volt.

Det betyder, at kablet i startøjeblikket belaster generatoren med 50 Ohm.

Af tegningen fremgår det, at der går strøm fra generatoren via L1 til C1.

C1 bliver opladet og sender en strøm videre til C2 osv.

Når strømmen når til enden af kablet, vil den fortsætte gennem kortslutningen.

Nu begynder strømmen at aflade kondensatorerne i kablet.

Efter et stykke tid er alle kondensatorerne afladet.

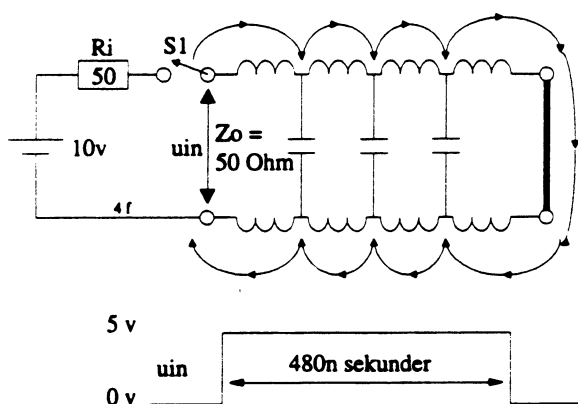
Når det er sket, falder spændingen på kablets indgang til 0 volt.

Tiden der går, inden spændingen bliver 0 volt, svarer til den tid, det tager for signalet, at nå ud til enden af kablet og tilbage igen.

Når man i forvejen kender udbredelseshastigheden for signalet i kablet, kan man regne ud, hvor langt der er til kortslutningen.

Teknikken bruges bl.a af telefonvæsnet og antennefirmaer.

Eksempel.



For det viste kabel er udbredelseshastigheden opgivet til 200000km pr. sekund.

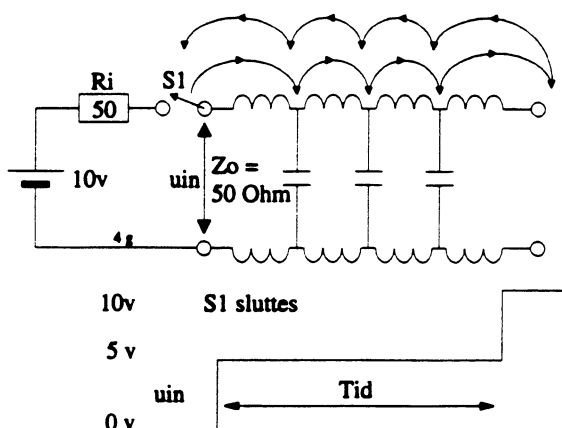
Pulsen er målt til 480nsekunder.

Beregn afstanden til kortslutningen.

Afstanden =
udbredelseshastigheden x pulstiden / 2

Afstanden = $200000\text{km} \times 480\text{n} / 2 = \underline{\underline{43\text{meter}}}$.

Afbrudt kabel.



Hvis kablet er åbent i enden, vi måle følgende på indgangen af kablet.

I det øjeblik S1 slutes, vil der være 5v på indgangen af kablet.

Det betyder, at kablet i startøjeblikket belaster generatoren med 50 Ohm.

Af tegningen fremgår det, at der går strøm fra generatoren via L1 til C1.

C1 bliver herved opladet, og sender strøm via L2 til C2.

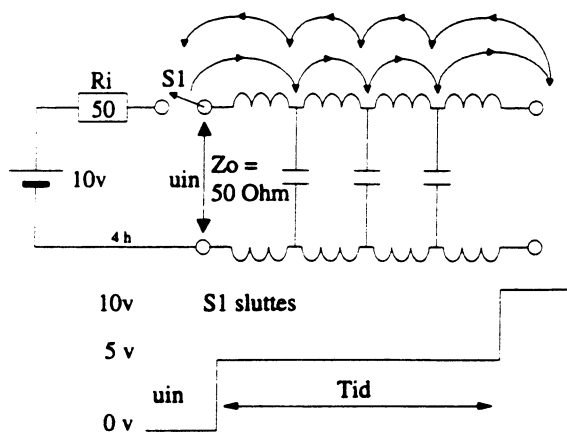
Når strømmen når til enden af kablet, vil der ske det, at den vender retning, (som et bølgeskulp i et langt trug med vand).

Der sker også det, at kondensatorerne bliver opladet til den fulde generatorspænding.

De kondensatorer der er længst væk fra kablet vil blive opladet først.

Efter et stykke tid er alle kondensatorer opladet.

Herefter er spændingen 10 volt på indgangen af kablet.



På det viste kabel er udbredelseshastigheden 240000km pr. sekund og pulsen er målt til 480nsekunder.

Beregn afstanden til kabelbruddet

Afstanden =
udbredelseshastigheden x pulstiden / 2

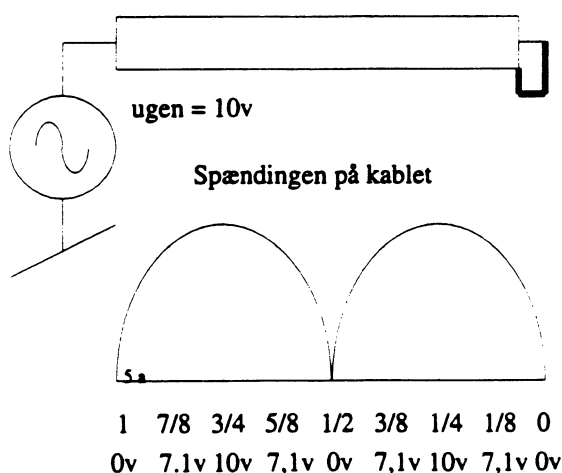
Afstanden = $240000\text{km} \times 480\text{n} / 2 = \underline{\underline{57,6\text{meter.}}}$

5. Stående bølger

Hvis et kabel ikke er korrekt afsluttet, vil der opstå stående bølger på kablet. Først i det øjeblik, hvor den udsendte effekt kan optages i belastningen, er der ikke stående bølger på kablet.

Stående bølger på et kabel, er en tilstand, der er u hensigtsmessig. Det skal her vises, hvad der sker, hvis kablet er kortsluttet i enden.

Kortsluttet kabel.



Som det fremgår af tegningen, er spændingen ved kortslutningen 0volt.

Når man skal finde ud af hvordan generatoren belastes af en kortslutning på kablet, skal man altid gå fra kortslutningen og tilbage mod generatoren. En hel bølglængde kan man dele op i 360 grader. Det skal her vises, hvordan man kan beregne størrelsen af den stående bølge, når man går fra kortslutningen og tilbage mod generatoren.

Går man 1/8 bølglængde tilbage, (45°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 45^\circ = 10\text{v} \times 0,71 = \underline{\underline{7,1\text{v}}}$

Går man 1/4 bølglængde tilbage, (90°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 90^\circ = 10\text{v} \times 1 = \underline{\underline{10\text{v}}}$

Går man 3/8 bølglængde tilbage, (135°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 135^\circ = 10\text{v} \times 0,71 = \underline{\underline{7,1\text{v}}}$

Går man 1/2 bølglængde tilbage, (180°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 180^\circ = 10\text{v} \times 0 = \underline{\underline{0\text{v}}}$

Går man 5/8 bølglængde tilbage, (225°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 225^\circ = 10\text{v} \times -0,71\text{v} = \underline{\underline{-7,1\text{v}}}$

Normalt ser man kun på den numeriske værdi af den stående bølge.
Derfor vil man sige ugen = $10\text{v} \times 0,71 = \underline{\underline{7,1\text{v}}}$

Går man 3/4 bølglængde tilbage, (270°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 270^\circ = 10\text{v} \times -1\text{v} = -10\text{v}$ eller blot 10v

Går man 7/8 bølglængde tilbage, (315°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 315^\circ = 10\text{v} \times -0,71 = -7,1\text{v}$ eller blot 7,1v

Går man 1 bølglængde tilbage, (360°) er spændingen på kablet
ugen x $\sin 360^\circ = 10\text{v} \times 0 = \underline{\underline{0\text{volt.}}}$

Det der bestemmer hvordan generatoren belastes, er afstanden fra kortslutningen.

Man skal altid gå ud fra kablets ende.

Er generatoren placeret $1/4$ bølgelængde fra kortslutningen, er der fuld spænding på udgangen af generatoren.

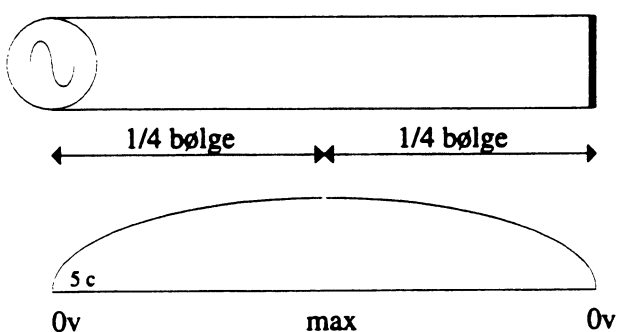
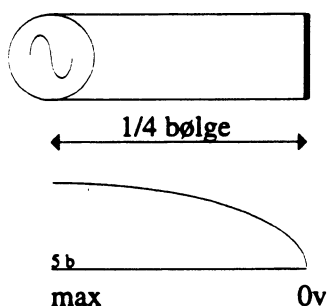
Den er derfor belastet af en stor modstand.

Det svarer til at den er belastet af en parallelsvingningskreds.

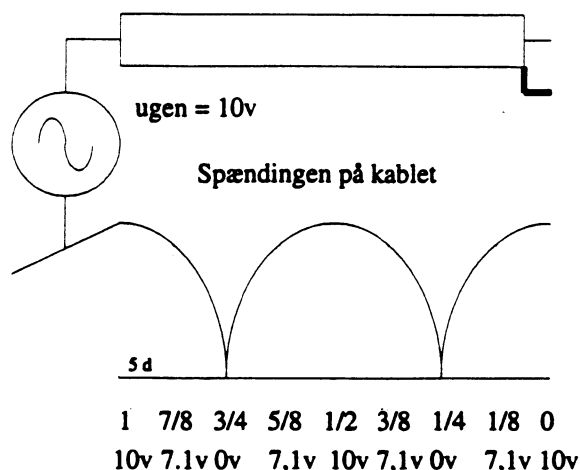
Er generatoren placeret $1/2$ bølgelængde fra kortslutningen, er spændingen på udgangen af generatoren 0.

Den er derfor belastet af en lille modstand. Det svarer til, at den er belastet af en seriesvingningskreds.

På tegningen kan man se, hvordan spændingen er på kablet hvis generatoren er placeret i forskellige afstande fra kortslutningen.



Åbent kabel



Som det fremgår af tegningen, er spændingen ved bruddet 10volt.

Når man skal finde ud af hvordan generatoren belastes af en afbrydelse på kablet, skal man altid gå fra bruddet og tilbage mod generatoren.

En hel bølgelængde kan man dele op i 360 grader. Det skal her vises, hvordan man kan beregne størrelsen af den stående bølge, når man går fra bruddet og tilbage mod generatoren.

Går man $1/8$ bølgelængde tilbage, (45°) er spændingen på kablet

$$\text{ugen} \times \cos 45^\circ = 10\text{v} \times 0,71 = \underline{7,1\text{v}}$$

Går man $1/4$ bølgelængde tilbage, (90°) er spændingen på kablet

$$\text{ugen} \times \cos 90^\circ = 10\text{v} \times 0 = \underline{0\text{v}}$$

Går man $3/8$ bølgelængde tilbage, (135°) er spændingen på kablet

$$\text{ugen} \times \cos 135^\circ = 10\text{v} \times -0,71 = -7,1\text{v}.$$

Eller blot 7,1v.

Går man $1/2$ bølgelængde tilbage, (180°) er spændingen på kablet

$$\text{ugen} \times \cos 180^\circ = 10\text{v} \times -1 = -10\text{v}. \underline{\text{Eller blot } 10\text{v}.}$$

Går man $5/8$ bølgelængde tilbage, (225°) er spændingen på kablet

$$\text{ugen} \times \cos 225^\circ = 10\text{v} \times -0,71\text{v} = -7,1\text{v}.$$

Eller blot 7,1v

Går man $3/4$ bølgelængde tilbage, (270°) er spændingen på kablet
 $u_{\text{gen}} \times \cos 270^\circ = 10\text{V} \times 0 = \underline{0\text{V}}$.

Går man $7/8$ bølgelængde tilbage, (315°) er spændingen på kablet
 $u_{\text{gen}} \times \cos 315^\circ = 10\text{V} \times 0,71 = \underline{7,1\text{V}}$.

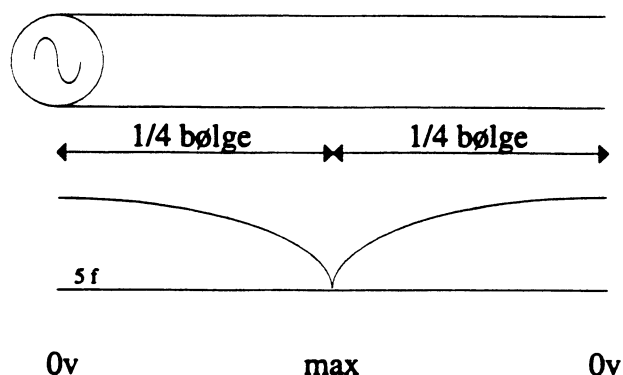
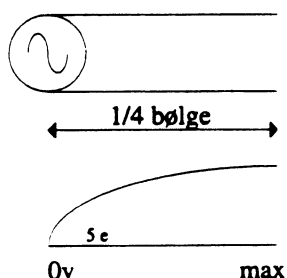
Går man 1 bølgelængde tilbage, (360°) er spændingen på kablet
 $u_{\text{gen}} \times \sin 360^\circ = 10\text{V} \times 1 = \underline{10\text{V}}$.

Det der bestemmer hvordan generatoren belastes, er afstanden fra belastningsmodstanden. Man skal altid gå ud fra kablets ende. Er generatoren placeret $1/4$ bølgelængde fra bruddet, er der ingen spænding på udgangen af generatoren. Den er derfor belastet af en lille modstand. Det svarer til, at den er belastet af en seriesvingningskreds.

Er generatoren placeret $1/2$ bølgelængde fra bruddet, er spændingen på udgangen af generatoren 10V.

Den er derfor belastet af en stor modstand. Det svarer til, at den er belastet af en parallelsvingningskreds.

På tegningen kan man se, hvordan spændingen er på kablet, hvis generatoren er placeret i forskellige afstande fra bruddet.



Standbølgeforhold.

Når et kabel ikke er korrekt afsluttet, opstår der stående bølger på kablet.

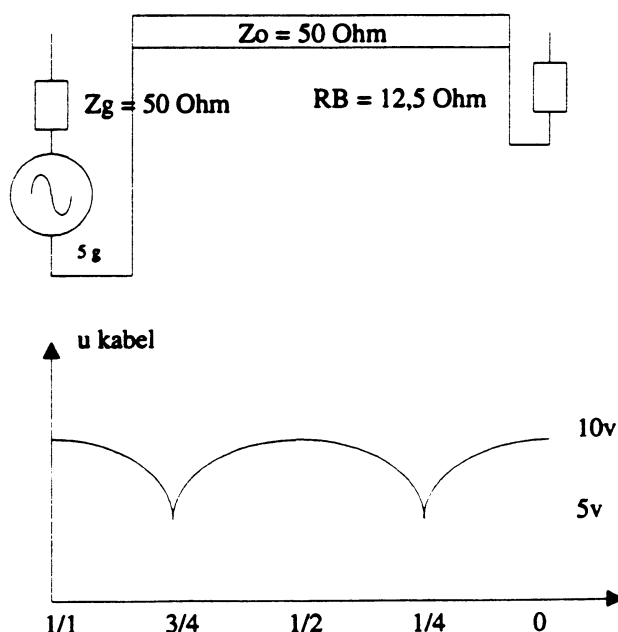
Standbølgeforholdet = SWR kan findes, hvis man kender den største og den mindste spænding på kablet.

Det kan også findes, hvis man kender generatormodstanden Z_0 og belastningsmodstanden Z_B .

$$\text{SWR} = U_{\text{max}} / U_{\text{min}}$$

$$\text{SWR} = Z_0 / Z_B \text{ eller } Z_B / Z_0.$$

Da standbølgeforholdet altid er større end 1, skal man bruge den rigtige formel.



Af tegningen fremgår det, at $U_{\max} = 10\text{v}$ og $U_{\min} = 5\text{v}$

$$\text{SWR} = U_{\max} / U_{\min} = 10\text{v} / 5\text{v} = \underline{2}$$

Når generatorens udgangsimpedans $Z_0 = 50\text{ Ohm}$ kan belastningsimpedansen findes.

$$\text{SWR} = Z_0 / Z_B$$

$$2 = 50 / Z_B$$

Det betyder at $Z_B = 50 / 2 = \underline{25\text{ Ohm}}$

I praksis finder man standbølgeforholdet ved at måle den fremadgående effekt P_{in} , og den effekt der kommer retur P_r .

Her kan du se formelen for SWR forholdet.

I det viste eksempel, er $P_{\text{in}} 25\text{W}$ og $P_r 1\text{W}$

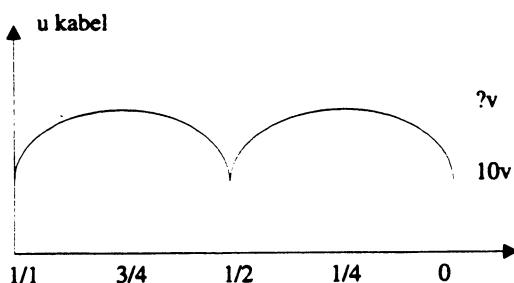
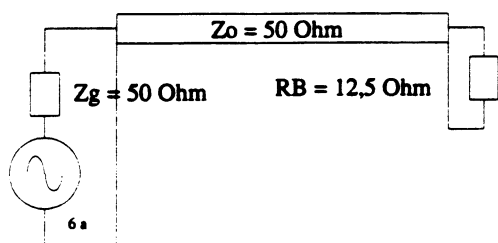
$$\text{SWR} = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_{\text{in}}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_{\text{in}}}}} = \frac{1 + \sqrt{\frac{1}{25}}}{1 - \sqrt{\frac{1}{25}}}$$

sh

$$\text{SWR} = 1,5$$

6. Beregningseksempel.

I det viste eksempel skal SWR, U_{\max} , og effekten der afsættes i Z_B beregnes.



6a 7,5

Først beregnes SWR.

$$\text{SWR} = Z_0 / Z_B = 50 / 12,5 = \underline{4}$$

Af tegningen fremgår det at belastningsmodstanden er den mindste, derfor er det over den at den mindste spænding er.

Går man 1/4 bølgelængde tilbage er spændingen max.

Max spænding på kablet er

$$U_{\min} \times \text{SWR} = 10\text{v} \times 4 = \underline{40\text{volt}}$$

Effekte der afsættes i modstanden er

$$P = U^2 / R = 10^2 / 12,5 = \underline{8\text{W}}$$

7. Opgaver.

Spørgsmål 1.

Hvordan kan der opstå stående bølger på et kabel?

Spørgsmål 2.

Hvad sker der med effekten fra en sender hvis der er stående bølger på antennekablet?

Spørgsmål 3.

Hvilke forhold er det der bestemmer et kables karakteristiske impedans?

Spørgsmål 4.

Hvordan kan man med måleinstrumenter finde et kables karakteristiske impedans?

Spørgsmål 5.

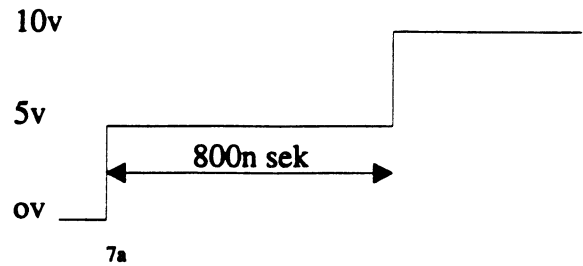
Hvad sker der med et koakskabets impedans hvis inderlederen gøres mindre?

Spørgsmål 6.

Hvordan er udbreddelseshastigheden for et signal i et kabel set i forhold til udbreddelseshastigheden i rummet? _____

Spørgsmål 7.

Hvad sker der med bølgelængden af et signal i et kabel, set i forhold til bølgelængden af det samme signal i rummet?

Spørgsmål 8.

Signalet er målt på et kabel med en forkortningsfaktor på 0,66.

Hvor langt fra måleinstrumentet er kabelfejlen?

Hvilken fejl er der på kablet?

Spørgsmål 9.

Understreg de rigtige svar.

Hvordan optræder et kabel der er uendeligt langt?

Induktiv - Kapacitivt - Som en ohmsk modstand der har samme impedans som kablet - Som en parallelkreds - Som en seriekreds.

Hvordan optræder et kabel der er korrekt afsluttet?

Induktiv - Kapacitivt - Som en ohmsk modstand der har samme impedans som kablet - Som en parallelkreds - Som en seriekreds.

Hvordan optræder et kabel der er kortsluttet 1/4 bølgelængde fra generatoren?

Induktiv - Kapacitivt - Som en ohmsk modstand der har samme impedans som kablet - Som en parallelkreds - Som en seriekreds.

Hvordan optræder et kabel der afbrudt 1/2 bølgelængde fra generatoren?

Induktiv - Kapacitivt - Som en ohmsk modstand der har samme impedans som kablet - Som en parallelkreds - Som en seriekreds.

Hvordan optræder et kabel der er afbrudt $1/4$ bølglængde fra generatoren?

Induktiv - Kapacitivt - Som en ohmsk modstand der har samme impedans som kablet - Som en parallelkreds - Som en seriekreds.

Hvordan optræder et kabel der er kortsluttet $1/2$ bølglængde fra generatoren?

Induktiv - Kapacitivt - Som en ohmsk modstand der har samme impedans som kablet - Som en parallelkreds - Som en seriekreds.

Spørgsmål 10.

På en sender måles den afgivne effekt til 90W og retur effekten måles til 10W.

Beregn SWR.

SWR = _____