

## 02.03 Spoel

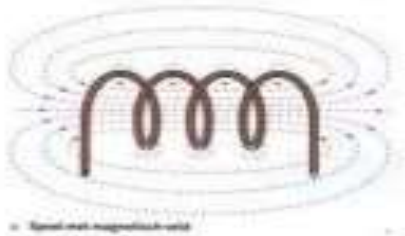
jj\_02\_03\_001

### Spoel



Een stuk opgerold (koper)draad , veroorzaakt een magnetisch veld als er stroom door loopt.

Een wisselstroom weerstand bij een bepaalde frequentie.

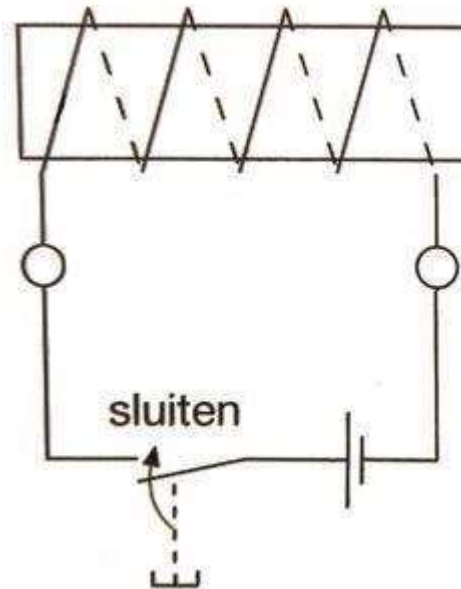


Als er door de spoel een gelijkstroom wordt gestuurd, dan ontstaat er een magnetisch veld

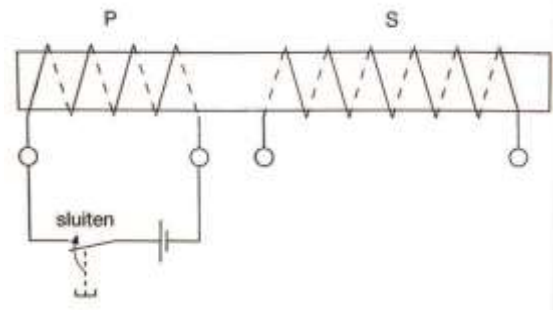
Hoe groter de stroom ( $I$ ) hoe sterker het magnetisch veld .

Een extra ijzern kern versterkt het magnetisch veld.

### Inductiespanning



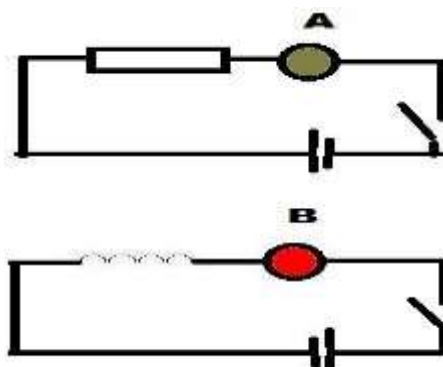
Als de stroom op de spoel wordt onderbroken ontstaat er een hoge inductiespanning



Stroom overbrengen op de andere spoel door inductie

Een Trafo doet precies hetzelfde

### Zelfinductie



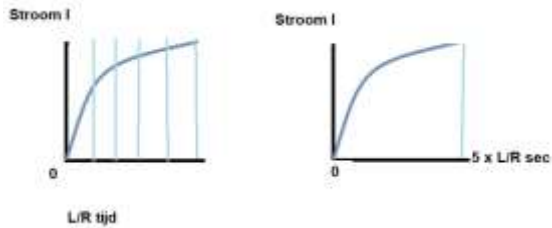
We stelden vast dat de lamp slechts na enig vertraging aanging bij het sluiten van

## 02.03 Spoel

de schakelaar, en ook na het weer openen pas na een tijdje weer doofde.  
Deze proef illustreert het effect van zelfinductie.

Met een magneet is de inductie tegengesteld aan de magneet richting

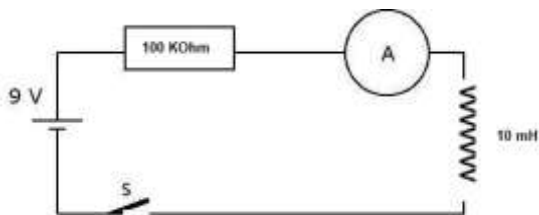
### De reactantie [schijnbare weerstand]



### Wet van LENZ

Elk gevolg van een oorzaak werkt de oorzaak tegen

### REKENEN



$$I = U/R \quad 9 / 100 \text{ K} = 90 \text{ microA}$$

$$\text{tijd} = L/R$$

$$10 \text{ mH} / 100 \text{ K} = 100 \text{ nano}_{\text{sec}}$$

$$\text{Na } 5 \times L/R = 5 \times 100 = 500 \text{ n}_{\text{sec}} = I^{\text{max}} 90 \text{ microA}$$

### Het Vermogen P:

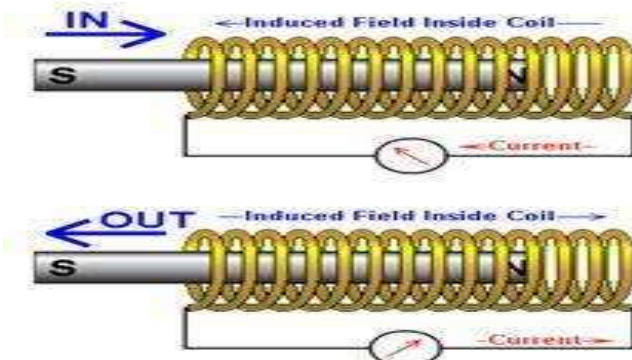
Wordt alleen bepaald door de weerstand.  
De L neemt GEEN vermogen op.

$$P = U \times I = 9 \times 90 \text{ micro} = 810 \text{ microW}$$

$$P = [U \times U] / R = [9 \times 9] / 100 \text{ K} = 810 \text{ microW}$$

$$P = (I \times I) \times R = (90 \times 90 \text{ micro}) \times 100 \text{ K} = 810 \text{ microW}$$

### Magnetische inductie



## 02.03 Spoel

jj\_02\_03\_002

De eenheid Henry.

Onder Henry zijn ook onderverdelingen:

Henry	1 H
milli Henry	1 mH
micro Henry	1 uH
nano Henry	1 nH

jj\_02\_03\_003

Het effect van aantal windingen, diameter, lengte en kernmateriaal op de zelfinductie.

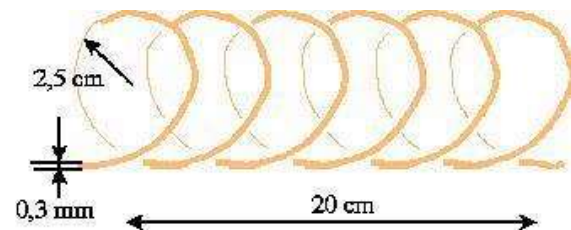
**Zelfinductie is afhankelijk van:**

Het aantal windingen van de spoel .

De grootte van de windingen.

Toegepaste draad voor de spoel.

**Wel of geen ijzeren kern (versterkt het magnetisch veld)**



1. Als het aantal windingen groter wordt, dan wordt het magnetisch veld sterker.

2. Het aantal windingen, wekt een spanning op.

Dus  $n \times$  windingen =  $n \times$  spanning zo groot.

3. Bij het verdubbelen van het aantal windingen neemt de zelfinductie kwadratisch toe.

4. Als de lengte van de spoel groter wordt, en we houden een vast aantal windingen dan wordt de zelfinductie kleiner.

5. Hoe hoger de frequentie van de wisselspanning, hoe hoger de inductiespanning. Hoe groter de wisselstroom-weerstand

$$L = \frac{D^2 \cdot n^2}{25 \cdot (18 \cdot D + 40 \cdot L)}$$

L=spoel in uH

d=diameter in cm

n=aantal windingen

l=spoellengte in cm

## 02.03 Spoel

jj\_02\_03\_004

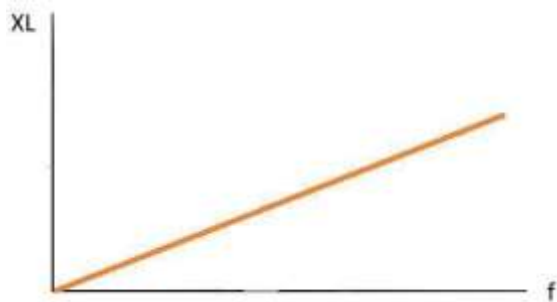
### Wet van LENZ.

Elk gevolg van een oorzaak werkt de oorzaak tegen.

Mede hierdoor vertraagd de stroom, hoe hoger de frequentie, hoe meer tegenwerking, = weerstand.

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

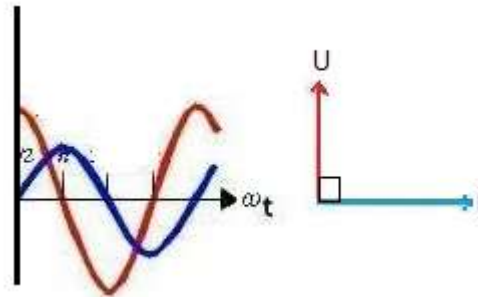
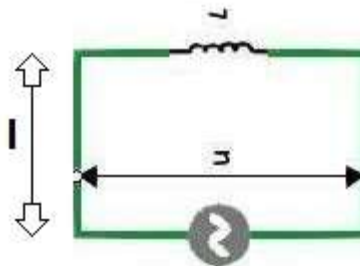
De zelfinductie is er de oorzaak van dat de spoel een schijnbare weerstand vormt voor wisselstromen



Hoe hoger de frequentie  $f$ , hoe groter de  $X_L$

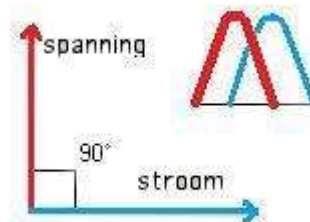
jj\_02\_03\_005

### Voor een spoel:



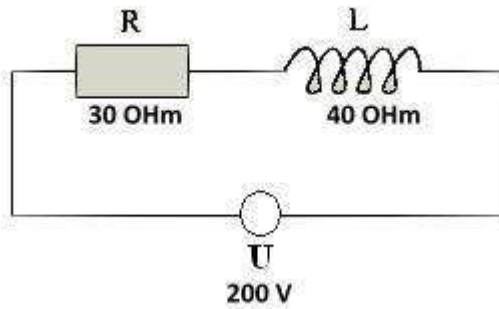
### LEICIER

- L voor een spoel
- E (=U) spanning, 90graden voor op de stroom
- I stroom. 90graden na op de spanning



## 02.03 Spoel

### Z Impedantie



### LEICIER

spoel

spanning

stroom

condensator

stroom

spanning

weerstand

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ Ohm}$$

$$Z = \sqrt{30^2 + 40^2} \text{ Ohm} = 50 \text{ Ohm}$$

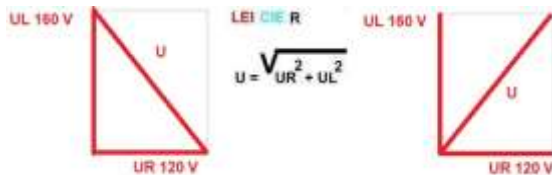
$$I = U/Z \quad 200/50 = 4 \text{ A}$$

$$U_R = I \cdot R \quad 4 \cdot 30 = 120 \text{ V}$$

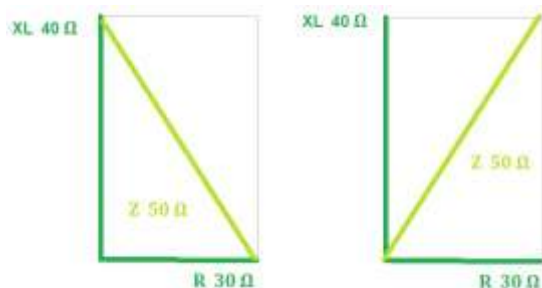
$$U_L = I \cdot X_L \quad 4 \cdot 40 = 160 \text{ V}$$

$$\text{Samen} \quad 280 \text{ V}$$

Hoger als aangelegde spanning, door de fase draaiing



De spanningen staan ZO dus met de Stelling van Pythagoras zijn de verhoudingen weer te zien.



$$P = U \cdot I = 120 \times 4 = 480 \text{ W}$$

$$P = [U \cdot U] / R = [120 \times 120] / 30 = 480 \text{ W}$$

$$P = [I \cdot I] \cdot R = [4 \times 4] \cdot 30 = 480 \text{ W}$$

Een L neemt **geen** vermogen op

## 02.03 Spoel

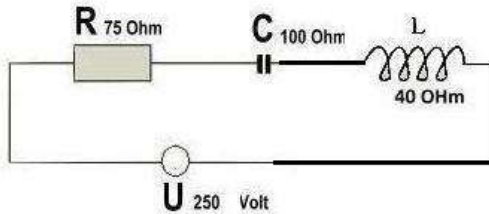
jj\_02\_03\_006

De vraag was steeds...

Als er nu een C en een L samen in serie staan????

Nu willen we de volgende figuur>>>

**RCL in serie:**



De totale weerstand

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ Ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + [X_c - X_l]^2}$$

Want een spoel en een condensator werken elkaar tegen

$$Z = \sqrt{R^2 + [X_c - X_l]^2}$$

$$Z = \sqrt{75^2 + [100 - 40]^2} = 96 \text{ Ohm}$$

$$I = U/Z = 250/96 = 2.6 \text{ A}$$

$$U_r = I \times R = 2.6 \times 75 = 195 \text{ V}$$

$$U_c = I \times X_c = 2.6 \times 100 = 260 \text{ V}$$

$$U_l = I \times X_l = 2.6 \times 40 = 104 \text{ V}$$

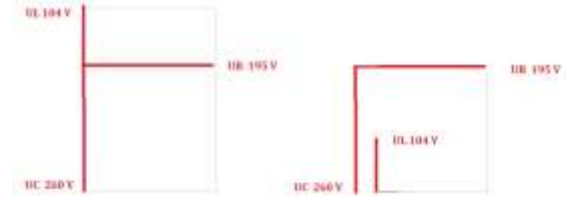
$$P = U \times I = 195 \times 2.6 = 507 \text{ W}$$

$$P = [U \times U]/R = [195 \times 195]/75 = 507 \text{ W}$$

$$P = [I \times I] \times R = [2.6 \times 2.6] \times 75 = 507 \text{ W}$$

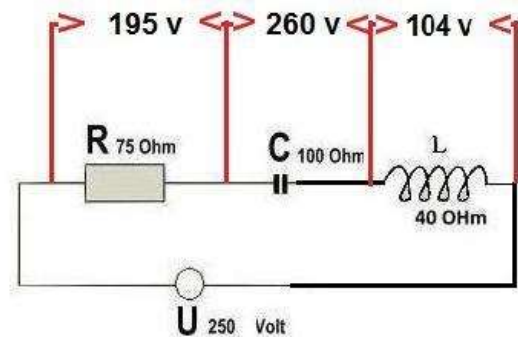
**Een C en een L nemen geen vermogen op**

**Dit zijn de spanningen:**



De spanning UL en Uc werken elkaar tegen

$$U = \sqrt{156^2 + 195^2} = 250 \text{ V}$$



## 02.03 Spoel

jj\_02\_03\_007

Frequentie en Q-factor.

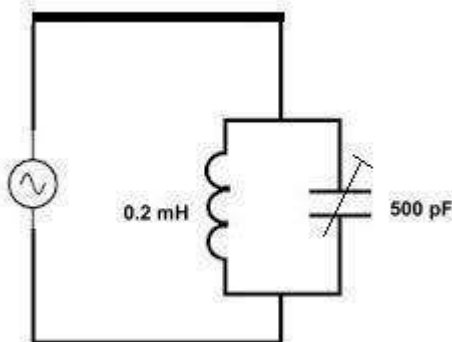
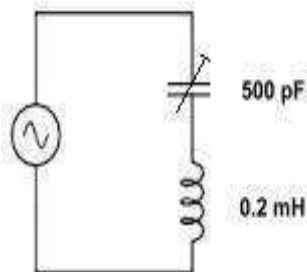
### Frequentie

Een afgestemde kring bestaande uit een spoel L (met de eenheid Henry) en een condensator C (met de eenheid Farad) heeft een bepaalde resonantie frequentie.

Deze **Fres** komt alleen voor bij 1 bepaalde frequentie van de wisselstroom/wisselspanning. Dan werken de spoel L en de condensator C elkaar **maximaal** tegen.

Voorbeeld:

Een spoel van 0,2 mH (0,0002 Henry) is verbonden met een (draai)-condensator van 500 pF (0,000.000.000.500 Farad)



$$f.res = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C})$$

(L.C) LC =

$$0.2 \text{exp-}3 * 500 \text{exp-}12 = 1 \text{exp-}13$$

$$\sqrt{L.C} \sqrt{1 \text{exp-}13} =$$

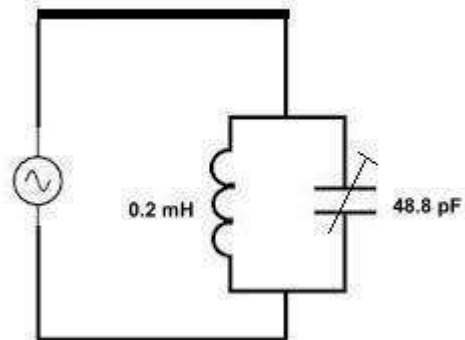
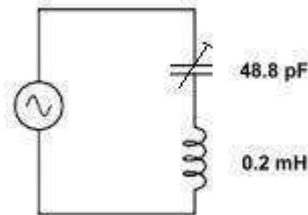
$$3.162 \text{exp-}7$$

$$2 * \pi * 3.162 \text{exp-}7 = 1.987 \text{exp-}6$$

$1 / 1.987 \text{exp-}6 = 503 \text{ KHz}$  dit is dus de afgestemde frequentie.

Voorbeeld verder

De spoel van 0.2 mH verandert niet , maar de draai-condensator stellen we nu af op 48.8 pF.



$$f.res = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C})$$

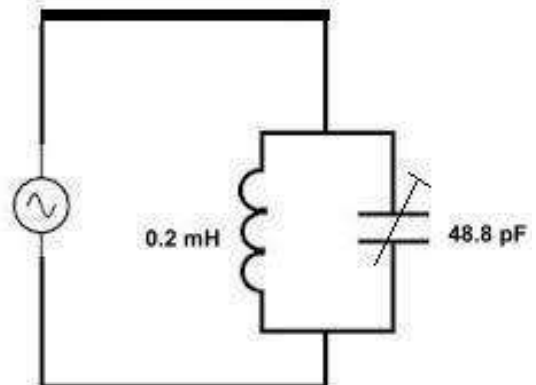
$$LC = 0.2 \text{exp-}3 * 48.8 \text{exp-}12 = 9.76 \text{exp-}15$$

$$\sqrt{9.76 \text{exp-}15} = 9.879 \text{exp-}8$$

$$2 * \pi * 9.879 \text{exp-}8 = 6.207 \text{exp-}7$$

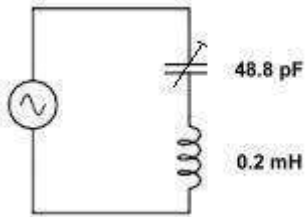
$1 / 6.207 \text{exp-}7 = 1611 \text{ KHz}$  dit is dus de afgestemde frequentie.

Met deze LC kring is het dus mogelijk om over de hele middengolfband af te stemmen.



## 02.03 Spoel

### Serieresonantie:



De L en de C werken elkaar tegen.  
Dus ze heffen elkaar op.

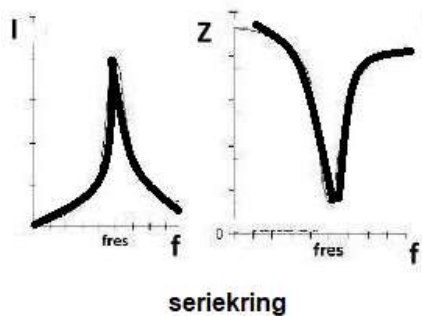
Zonder R zal dus de stroom zeer HOOG zijn  
en de Z bijna NUL.

Bij de resonantie frequentie is de impedantie van een seriekring het kleinst, de stroom door de kring zal dan ook het hoogst zijn.

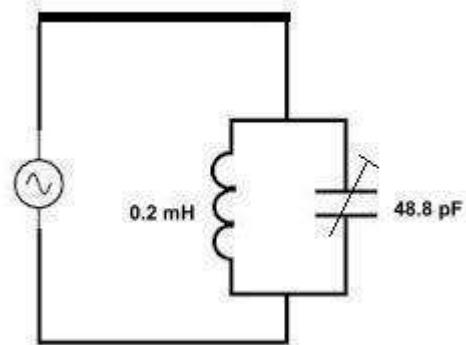
Immers  $X_c = X_L$  en werken elkaar tegen  
dus  $Z = 0 \text{ Ohm}$ .

**Bij een serie schakeling kijken we naar de R**

Boven of onder de resonantie frequentie zal de stroom door de kring afnemen



### Parallelresonantie:

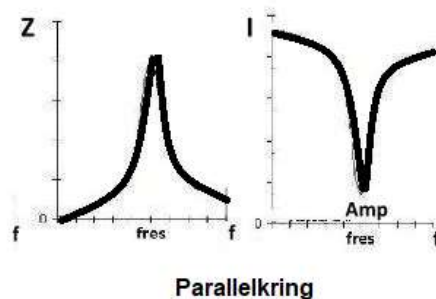


De L en de C werken elkaar tegen  
er is stroom of door L of stroom door C.  
er is spanning of op C of op L.  
De spanning zeer HOOG zijn en de Z HOOG.

**Bij een parallel schakeling kijken we naar de I**

Bij de resonantie frequentie is de impedantie van een parallelkring het hoogst, de spanning over de kring zal dan ook het hoogst zijn en de stroom nagenoeg NUL

Boven of onder de resonantie frequentie zal de spanning over de kring afnemen.





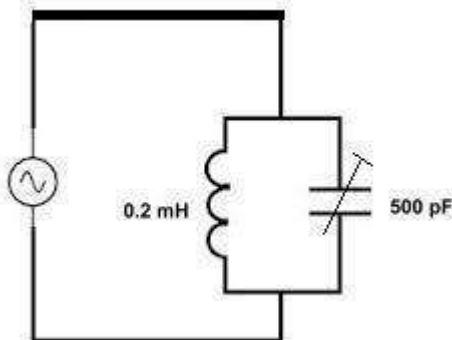
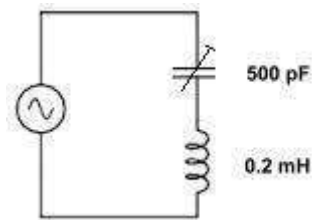
## 02.03 Spoel

### Frequentie:

Een afgestemde kring bestaande uit een spoel L (met de eenheid Henry) en een condensator C (met de eenheid Farad) heeft een bepaalde resonantie frequentie. Deze **F<sub>res</sub>** komt alleen voor bij 1 bepaalde frequentie van de wisselstroom//wisselspanning. Dan werken de spoel L en de condensator C elkaar **maximaal** tegen

### Voorbeeld:

Een spoel van 0,2 mH (0,0002 Henry) is verbonden met een (draai)-condensator van 500 pF (0,000.000.000.500 Farad).



$$f.res=1/(2.pi.\sqrt{(L.C)})$$

(L.C)

$$LC = 0.2exp-3 * 500exp-12 = 1exp-13$$

$$\sqrt{(L.C)} \sqrt{1exp-13} = 3.162exp-7$$

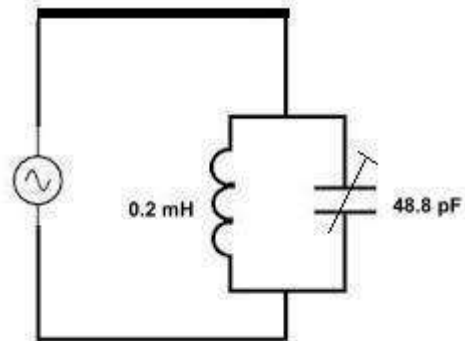
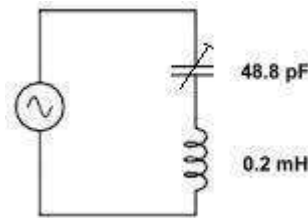
$$2 * pi * 3.162exp-7 = 1.987exp-6$$

$$1 / 1.987exp-6 = 503 \text{ KHz}$$

dit is dus de afgestemde frequentie

### oorbeeld verder

De spoel van 0.2 mH verandert niet , maar de draai-condensator stellen we nu af op 48.8 pF.



$$f.res=1/(2.pi.\sqrt{(L.C)})$$

$$LC = 0.2exp-3 * 48.8exp-12 = 9.76exp-15$$

$$\sqrt{9.76exp-15} = 9.879exp-8$$

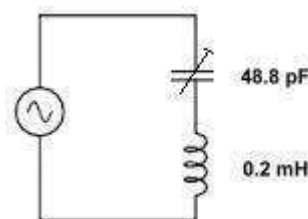
$$2 * pi * 9.879exp-8 = 6.207exp-7$$

$$1 / 6.207exp-7 = 1611 \text{ KHz}$$

dit is dus de afgestemde frequentie.

Met deze LC kring is het dus mogelijk om over de hele middengolffband af te stemmen.

### Serieresonantie:



De L en de C werken elkaar tegen. Dus ze heffen elkaar op.

Zonder R zal dus de stroom zeer HOOG zijn en de Z bijna NUL

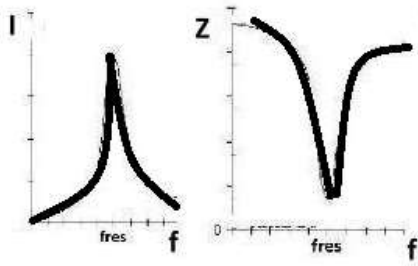
Bij de resonantie frequentie is de impedantie van een seriekring het kleinst, de stroom door de kring zal dan ook het hoogst zijn.

## 02.03 Spoel

Immers  $X_c = X_L$  en werken elkaar tegen dus  $Z = 0 \text{ Ohm}$ .

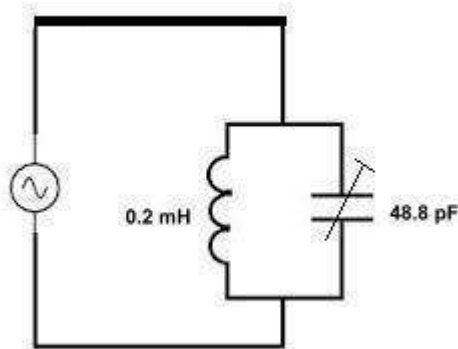
**Bij een serie schakeling kijken we naar de R**

Boven of onder de resonantie frequentie zal de stroom door de kring afnemen



seriekring

### Parallelresonantie:

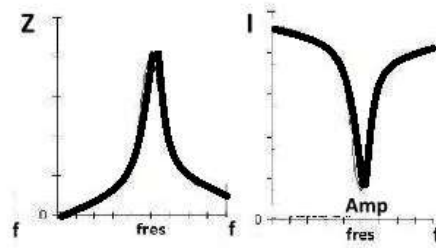


De L en de C werken elkaar tegen er is stroom of door L of stroom door C. er is spanning of op C of op L. De spanning zeer HOOG zijn en de Z HOOG.

**Bij een parallel schakeling kijken we naar de I**

Bij de resonantie frequentie is de impedantie van een parallelkring het hoogst, de spanning over de kring zal dan ook het hoogst zijn en de stroom nagenoeg NUL

Boven of onder de resonantie frequentie zal de spanning over de kring afnemen.



Parallelkring

$$f_{res} = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C})$$

$$(L \cdot C) \quad LC = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-12} = 1 \cdot 10^{-13}$$

$$\sqrt{L \cdot C} \quad \sqrt{1 \cdot 10^{-13}} = 3.162 \cdot 10^{-7}$$

$$2 \cdot \pi \cdot 3.162 \cdot 10^{-7} = 1.987 \cdot 10^{-6}$$

$1 / 1.987 \cdot 10^{-6} = 503 \text{ KHz}$  dit is dus de afgestemde frequentie.

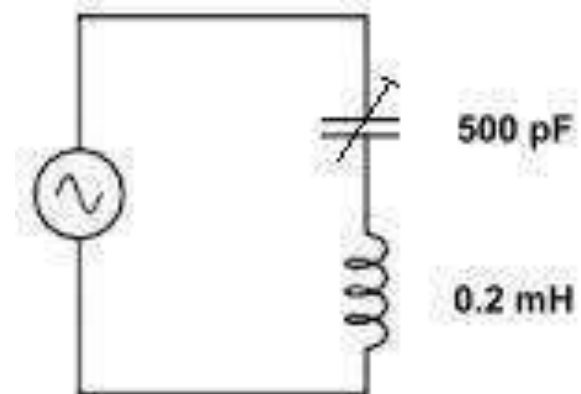
Frequentie en Q-factor.

### Frequentie

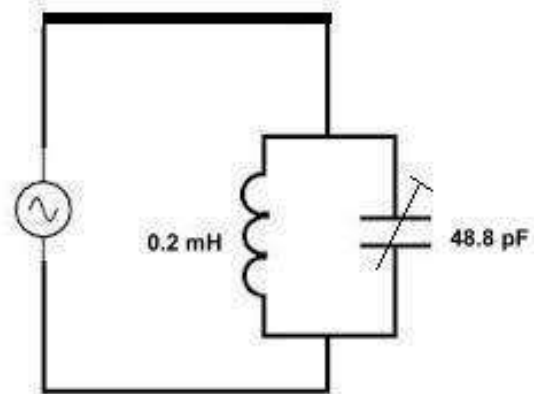
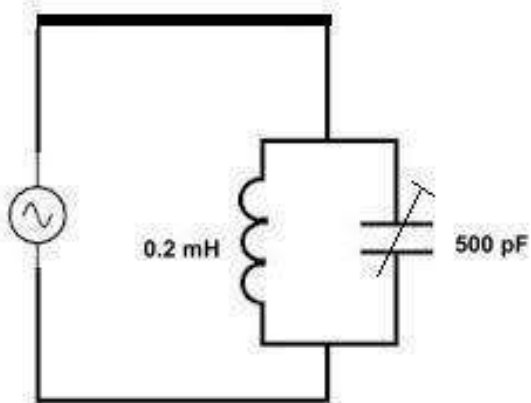
Een afgestemde kring bestaande uit een spoel L (met de eenheid Henry) en een condensator C (met de eenheid Farad) heeft een bepaalde resonantie frequentie. Deze **Fres** komt alleen voor bij 1 bepaalde frequentie van de wisselstroom//wisselspanning. Dan werken de spoel L en de condensator C elkaar **maximaal** tegen.

### Voorbeeld:

Een spoel van 0,2 mH (0,0002 Henry) is verbonden met een (draai)-condensator van 500 pF (0,000.000.000.500 Farad).

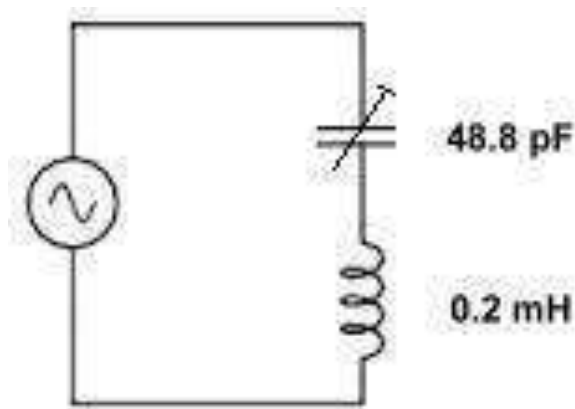


## 02.03 Spoel



### Voorbeeld verder

De spoel van 0.2 mH verandert niet, maar de draai-condensator stellen we nu af op 48.8 pF.



$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$LC = 0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 48.8 \cdot 10^{-12} = 9.76 \cdot 10^{-15}$$

$$\sqrt{9.76 \cdot 10^{-15}} = 9.879 \cdot 10^{-8}$$

$$2 \cdot \pi \cdot 9.879 \cdot 10^{-8} = 6.207 \cdot 10^{-7}$$

$1 / 6.207 \cdot 10^{-7} = 1611 \text{ KHz}$  dit is dus de afgestemde frequentie.

Met deze LC kring is het dus mogelijk om over de hele middengolfband af te stemmen.

### **Serieresonantie:**

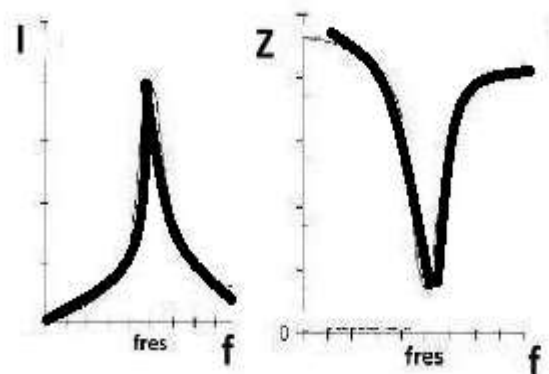
Bij de resonantie frequentie is de impedantie van een seriekring het kleinst, de stroom door de kring zal dan ook het hoogst zijn.

Immers  $X_c = X_L$  en werken elkaar tegen dus  $Z = 0 \text{ Ohm}$ . **Bij een serie schakeling kijken we naar de R**

Boven of onder de resonantie frequentie zal de stroom door de kring afnemen.

De L en de C werken elkaar tegen. Dus ze heffen elkaar op.

Zonder R zal dus de stroom zeer HOOG zijn en de Z bijna NUL.



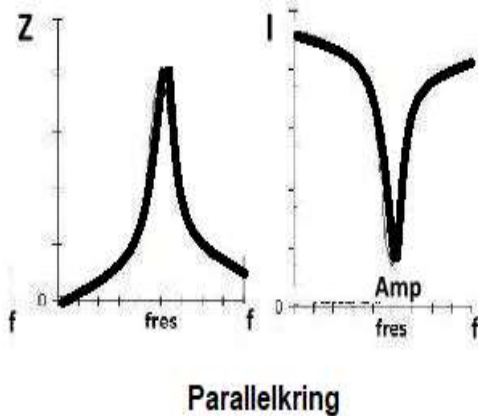
seriekring

## 02.03 Spoel

### Parallelresonantie:

Bij de resonantie frequentie is de impedantie van een parallelkring het hoogst, de spanning over de kring zal dan ook het hoogst zijn en de stroom nagenoeg **NUL**

Boven of onder de resonantie frequentie zal de spanning over de kring afnemen.

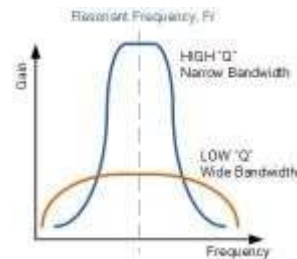
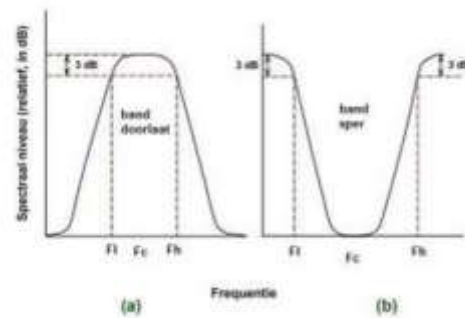


### Bandbreedte:

Boven of onder de resonantie frequentie zal de stroom [serie] of de spanning [parallel] over de kring afnemen. Er zijn twee frequenties waarbij de spanning over de kring tot een factor 0,707 is afgenomen, namelijk een frequentie vlak onder  $f_{res}$ , die noemen we  $f_l$  -de lage freq.- en een vlak boven  $f_{res}$ , die noemen we  $f_h$  -de hoge freq.-.

De afname van de spanning tot een factor 0,707 noemen we een afname van -3 dB. De stroom in de kring is daar ook met 0,707 afgenomen, en het vermogen in de kring is daar de helft ( $0,707 \times 0,707 = 0,5$ ).

De bandbreedte van de afgestemde kring is: **BW =  $f_h - f_l$**



### Q-factor

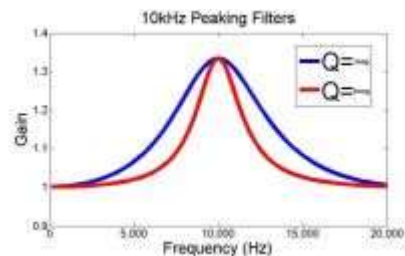
De Q-factor van de kring is

$$Q = f_{res} / BW$$

Hoe hoger de Q-factor van de kring, des te kleiner de bandbreedte, en dat is gunstig om naast elkaar gelegen zenders uit elkaar te kunnen houden.

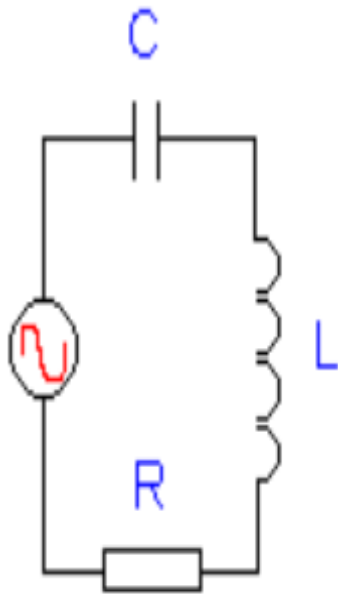
Hoe hoger de Q-factor, hoe hoger ook de spanning over de kring van het station dat we willen ontvangen, dus een hogere gevoeligheid van de ontvanger.

De Q-factor kan variëren van minder dan 100 voor spoelen met massief draad, tot 400 of meer voor spoelen met litze draad



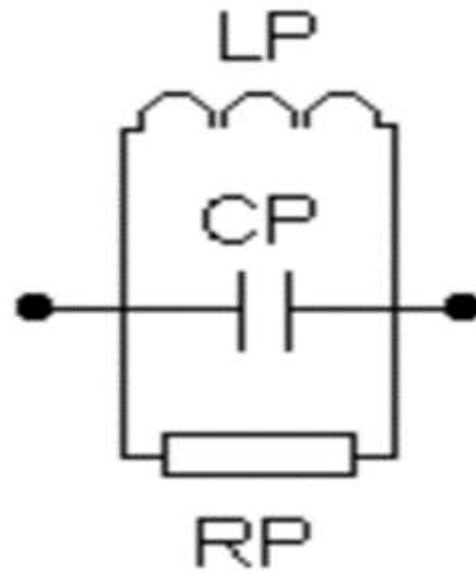
## 02.03 Spoel

Q-factor seriekring:



$$Q_s = X_L / R_s$$

Q-factor parallelkring:



$$Q_p = R_p / X_L$$