

# Wisselstroomtheorie wordt minder complex dankzij de complexe getallen.

---

## Inhoud

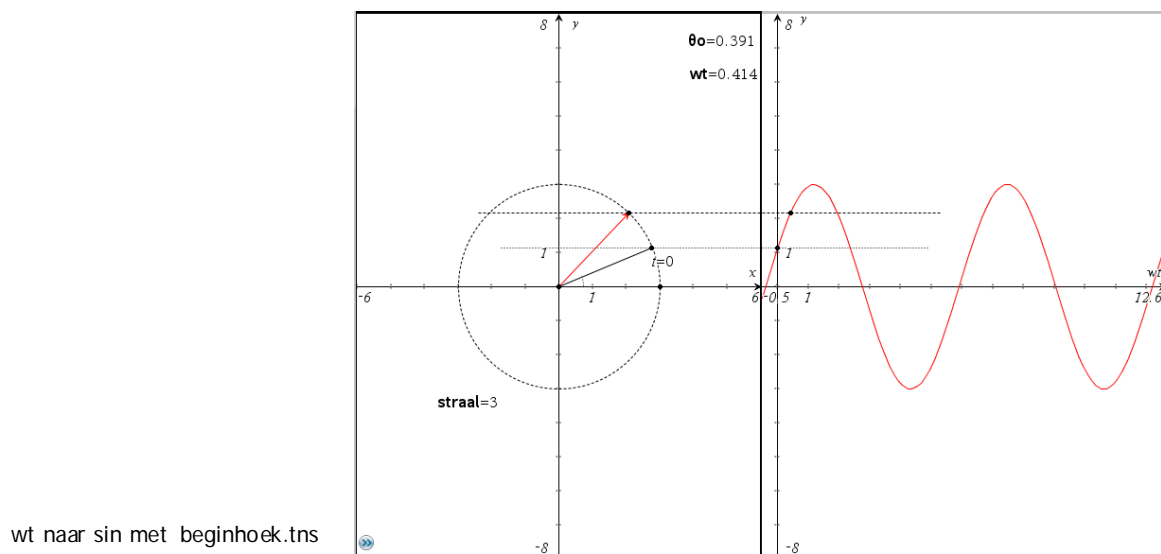
1.	Het voorstellen van sinusvormige grootheden door fasors.....	2
2.	De “wet van Ohm” in wisselstroomkringen. ....	4
2.1.	Bij een zuivere weerstand .....	4
2.1.1.	Tijdsvoorstelling – goniometrische vergelijking. ....	4
2.1.2.	Complexe voorstelling. (op $t=0$ ) .....	5
2.1.3.	De impedantie $Z$ . ....	5
2.2.	Keten met ideale condensator. ....	6
2.2.1.	Tijdsvoorstelling – goniometrische vergelijking. ....	6
2.2.2.	Complexe voorstelling. (op $t=0$ ) .....	7
2.2.3.	De impedantie $Z_C$ . ....	7
2.3.	Keten met ideale spoel.....	8
2.3.1.	Tijdsvoorstelling – goniometrische vergelijking. ....	8
2.3.2.	Complexe voorstelling. (op $t=0$ ) .....	9
2.3.3.	De impedantie $Z_L$ . ....	9
2.4.	Samenvatting.....	10
3.	Seriekringen.....	10
3.1.	Serieschakeling van een weerstand en een condensator. ....	11
3.2.	Voorbeeld. ....	11
3.3.	Serieschakeling van een weerstand en een spoel.....	13
3.4.	Serieschakeling van een weerstand, een spoel en een condensator. ....	14
4.	Parallelkringen.....	18
4.1.	Parallelschakeling van een weerstand, een spoel en een condensator.....	18
5.	Gemengde kringen. ....	20
5.1.	Voorbeeld 1: .....	20
5.2.	Voorbeeld 2: .....	21
5.3.	Voorbeeld 1: .....	22

## 1. Het voorstellen van sinusvormige grootheden door fasors.

Het is mogelijk om sinusvormige grootheden voor te stellen als ronddraaiende vectoren (fasor genoemd) in het complexe vlak.

De modulus (lengte) komt overeen met de amplitude van de grootheid. Het argument komt overeen met de hoek van de sinus op een bepaald ogenblik. De ogenblikkelijke waarde van de grootheid kan bepaald worden door de faser te projecteren op de Imaginaire as. De imaginaire waarde van de faser is de ogenblikkelijke waarde van de grootheid.

In het onderstaand bestand kan de beginplaats van de zwarte faser (op  $t=0$ ) gekozen worden en kan de rode faser verplaatst worden om het verband tussen beide grafieken duidelijk te maken. Ook de straal (modulus) kan aangepast worden.



In de elektriciteit worden die fasors gebruikt om de berekeningen bij wisselstroomtheorie te vereenvoudigen. Elke wisselstroom en wisselspanning (met vaste frequentie) kan voorgesteld worden als een faser.

### 1.1. Tijdsafhankelijke notatie van de faser en de grootheid

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \alpha)$$

$$\bar{i}_1 = I_{1m} * e^{j(\omega t + \alpha)}$$

$$\bar{i}_1 = I_{1m} \angle \omega t + \alpha$$

$$\bar{i}_1 = I_m * \cos(\omega t + \alpha) + j I_m \sin(\omega t + \alpha)$$

Je bemerkt dat het imaginair getal  $i$  hier vervangen wordt door de letter  $j$ . Dat is om verwarring te vermijden met de letter  $i$  die gebruikt wordt voor de stroom.

Gaan we ervan uit dat de frequentie niet wijzigt, dan is het het signaal volledig bepaald door de fasor op  $t=0$ . We kunnen bijgevolg gebruik maken van een tijdsafhankelijke vergelijking:

## 1.2. Tijdsafhankelijke notatie (= op $t = 0$ )

$$i_1 = I_{1m} \sin \alpha$$

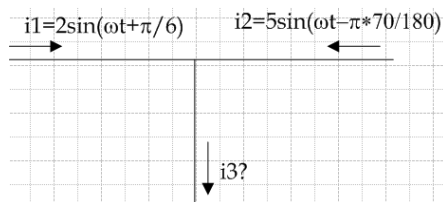
$$\bar{i}_1 = I_{1m} * e^{j\alpha}$$

$$\bar{i}_1 = I_{1m} \angle \alpha$$

$$\bar{i}_1 = I_m * \cos(\alpha) + j I_m \sin(\alpha)$$

Door gebruik te maken van complexe getallen worden de hoofdbewerkingen (som, verschil, vermenigvuldiging en deling) van sinusvormige grootheden herleid tot dezelfde eenvoudigere bewerkingen met complexe getallen.

Voorbeeld:



$$\bar{i}_1 = 2e^{j\frac{\pi}{6}} = 2\angle 30^\circ = 1,73 + j1$$

$$\bar{i}_2 = 5e^{j\frac{-70}{180}\pi} = 5\angle -70^\circ = 1,71 - j4,698$$

Om  $i_3 = i_1 + i_2$  te bepalen kan men zowel rekenen in radialen als in graden. Het rekentoestel wordt als volgt ingesteld:



5 Instellingen & status

2 Instellingen

1 Algemeen

Hoek: Radialen

Reëel of complex: Polair

De getallen (met het argument in radialen) kunnen zowel ingevoerd worden als

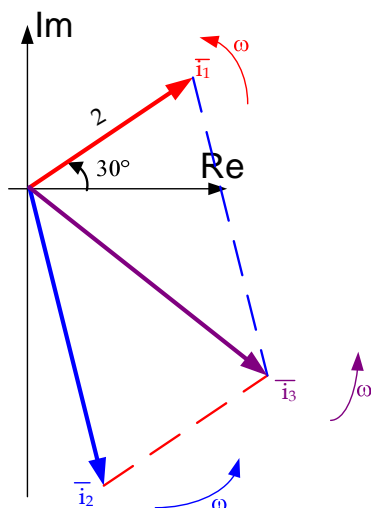
$(5e^{j\frac{-70}{180}\pi})$ , als  $(5\angle \frac{-70}{180}\pi)$ , of als

$(5\angle -70^\circ)$

Waarbij je de symbolen vindt onder  $\text{Ⓢ} \alpha \beta^\circ$ .

Het resultaat is  $e^{-0,8213j} \cdot 5,052$

Dus  $i_3 = 5,052 \sin(-0,8213 + \omega t)$



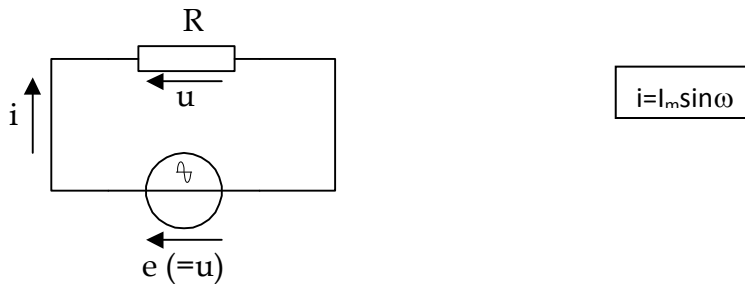
Merk op dat als het rekentoestel ingesteld is in graden, het resultaat in de Amerikaanse vorm wordt weergegeven:  $(5,052\angle -47,05)$

## 2. De “wet van Ohm” in wisselstroomkringen.

De wet van Ohm is de basiswet van de elektriciteit:  $U=R \cdot I$

Deze wet is ook geldig bij wisselstroomtheorie, op voorwaarde dat men complex werkt.

### 2.1. Bij een zuivere weerstand

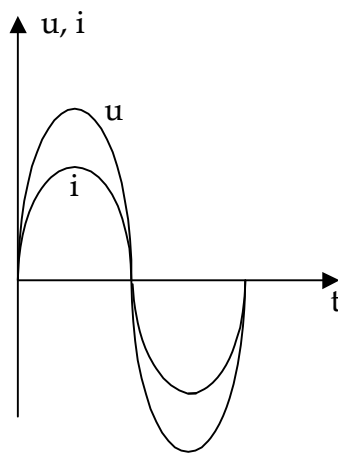


Figuur 1 de ideale weerstand

#### 2.1.1. Tijdsvoorstelling – goniometrische vergelijking.

Op elk ogenblik geldt de wet van Ohm:  $u = R \cdot i$

$$u = R \cdot i = R \cdot I_m \sin \omega t = U_m \sin \omega t \quad (\text{zie figuur 2})$$



Figuur 2  $u$  en  $i$  bij een ideale weerstand

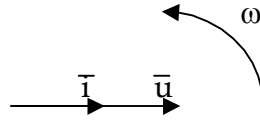
Deze spanning is eveneens sinusoïdaal en in fase met de stroom.

Er doen zich geen overgangsverschuiven **voor**, noch bij het sluiten van de kring noch bij het openen ervan.

### 2.1.2. Complexe voorstelling. (op t=0)

De complexe vergelijkingen kunnen we onmiddellijk afleiden uit de goniometrische vergelijkingen.

$$\bar{i} = I_m \angle \omega t \Leftrightarrow \bar{u} = R * I_m \angle \omega t = U_m \angle \omega t$$



Figuur 3  $\bar{u}$  en  $\bar{i}$  bij een ideale weerstand

### 2.1.3. De impedantie Z.

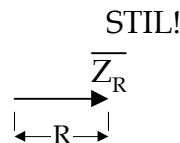
De impedantie is de wisselstroomweerstand. In overeenstemming met de gelijkstroomweerstand, wordt de impedantie Z gedefinieerd als de verhouding tussen de wisselspanning over en de wisselstroom door het element. Deze definitie kan zowel toegepast worden op de goniometrische vergelijking als op de complexe vergelijking. In de toekomst zal meestal de complexe vorm weerhouden worden.

$$Z = u / i \quad \bar{Z} = \bar{u} / \bar{i}$$

Toegepast op de ideale weerstand vinden we:

$$\bar{Z}_R = \frac{\bar{u}}{\bar{i}} = \frac{U_m \angle \omega t}{I_m \angle \omega t} = \frac{I_m * R}{I_m} \angle \omega t - \omega t = R \angle 0 = R + j0$$

De impedantie  $\bar{Z}_R$  blijkt een vaste, niet draaiende vector met lengte R te zijn, gelegen op de reële as. Waaruit blijkt dat?

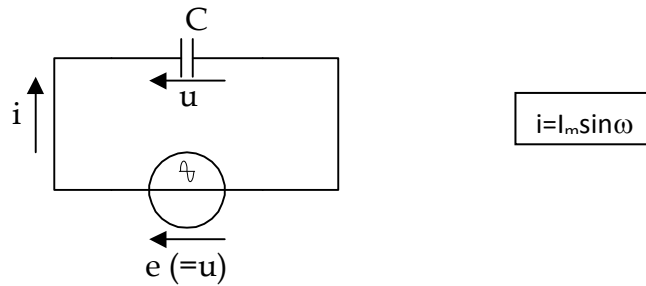


Figuur 4 vectordiagram bij een ideale weerstand

De impedantie is de weerstandwaarde zelf en wordt uitgedrukt in ohm.

## 2.2. Keten met ideale condensator.

Een ideale condensator is een condensator met een zuivere capaciteit zonder ohmse weerstand noch zelfinductieverschijnselen.



$$i = I_m \sin \omega t$$

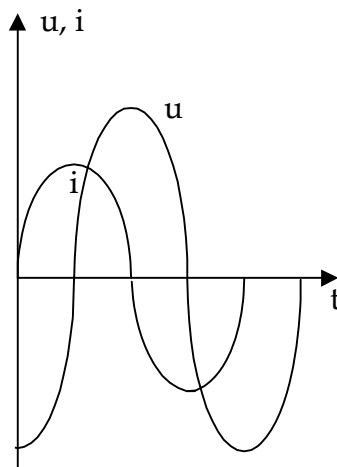
Figuur 5 de ideale condensator

### 2.2.1. Tijdsvoorstelling – goniometrische vergelijking.

Het kan bewezen worden dat

$$u = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - \pi/2)$$

Deze spanning is eveneens sinusoïdaal maar is 90° naijlend op de stroom. Hoe zie



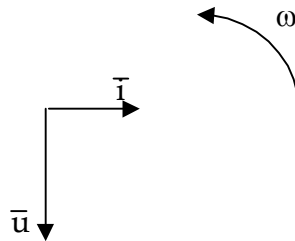
Figuur 6 u en i bij een ideale condensator

je dat in de formules?

### 2.2.2. Complexe voorstelling. (op $t=0$ )

De complexe vergelijkingen kunnen we onmiddellijk afleiden uit de goniometrische vergelijkingen.

$$\bar{i} = I_m \angle \omega t \Leftrightarrow \bar{u} = \frac{I_m}{\omega C} \angle \omega t - \frac{\pi}{2}$$



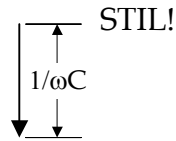
Figuur 7  $\bar{u}$  en  $\bar{i}$  bij een ideale condensator

### 2.2.3. De impedantie $Z_C$ .

$$\bar{Z}_C = \frac{\bar{u}}{\bar{i}} = \frac{U_m \angle \omega t - \frac{\pi}{2}}{I_m \angle \omega t} = \frac{I_m * \frac{1}{\omega C} \angle \omega t - \frac{\pi}{2}}{I_m \angle \omega t} = \frac{1}{\omega C} \angle -\frac{\pi}{2} = -\frac{1}{\omega C} j = -\frac{1}{\omega C} j * \frac{j}{j} = \frac{1}{j\omega C}$$

De impedantie  $\bar{Z}_C$  blijkt een vaste, niet draaiende vector met lengte  $1/\omega C$  te zijn, gelegen op het negatieve imaginair deel van de imaginaire as. Waaruit blijkt dat?

Bemerk dat de impedantie  $\omega$ -afhankelijk, dus frequentieafhankelijk is. Als de frequentie stijgt, dan stijgt de pulsatie  $\omega$  en daalt de impedantie. Waarom?



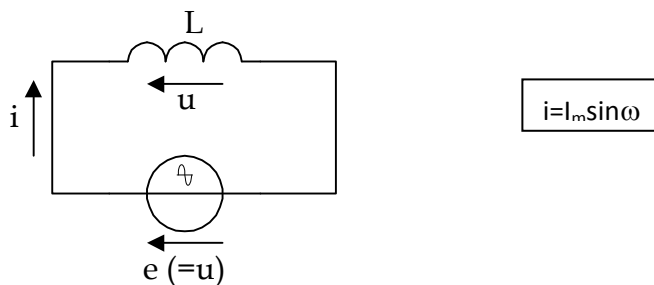
Figuur 8 vectordiagram bij een ideale condensator

$1/\omega C$  noemt men de capacatieve reactantie of capacitantie, uitgedrukt in ohm.

### 2.3. Keten met ideale spoel.

Een ideale spoel is een spoel met een zuivere inductantie zonder ohmse weerstand noch capacatieve verschijnselen.

Een praktische spoel heeft steeds een weerstanddeel nl. de draadweerstand waarmee ze gemaakt is.

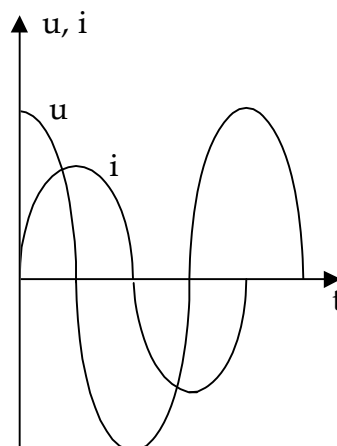


Figuur 9 de ideale spoel

#### 2.3.1. Tijdsvoorstelling – goniometrische vergelijking.

Ook hier geldt de wet van Ohm niet. Enkel de wet van Lenz is hier algemeen geldig. Hiermee kan bewezen worden dat:  $u = \omega L * I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

Deze spanning is eveneens sinusoidaal maar is  $90^\circ$  voorijlend op de stroom. Hoe zie je dat in de formules?

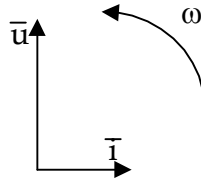


Figuur 10 u en i bij een ideale spoel



### 2.3.2. Complexe voorstelling. (op t=0)

De complexe vergelijkingen kunnen we onmiddellijk afleiden uit de goniometrische vergelijkingen.  $\bar{i} = I_m \angle \omega t \Leftrightarrow \bar{u} = \omega L * I_m \angle \omega t + \frac{\pi}{2}$



Figuur 11  $\bar{u}$  en  $\bar{i}$  bij een ideale spoel

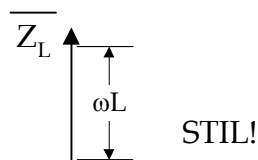
### 2.3.3. De impedantie $Z_L$ .

$$\bar{Z}_L = \frac{\bar{u}}{\bar{i}} = \frac{U_m \angle \omega t + \frac{\pi}{2}}{I_m \angle \omega t} = \frac{I_m * \omega L \angle \omega t + \frac{\pi}{2}}{I_m \angle \omega t} = \omega L \angle + \frac{\pi}{2} = j\omega L$$

De impedantie  $\bar{Z}_L$  blijkt een vaste, niet draaiende vector met lengte  $\omega L$  te zijn, gelegen op het positieve imaginair deel van de imaginaire as. Waaruit blijkt dat?

Bemerk dat de impedantie  $\omega$ -afhankelijk, dus frequentieafhankelijk is. Als de frequentie stijgt, dan stijgt de pulsatie  $\omega$  en stijgt de impedantie. Waarom?

$\omega L$  noemt men de inductieve reactantie of inductantie, uitgedrukt in ohm.



Figuur 12 vectordiagram bij een ideale spoel

## 2.4. Samenvatting.

ONTHOUDEN!	
Element	Impedantie
Weerstand	$\bar{Z}_R = R$
Condensator	$\bar{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$
Spoel	$\bar{Z}_L = j\omega L$
$\bar{u} = \bar{Z} * \bar{i}$	

## 3. Seriekringen.

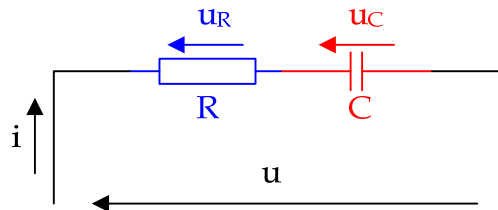
Bij gelijkstroomtheorie geldt bij een seriekring van weerstanden:

$$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

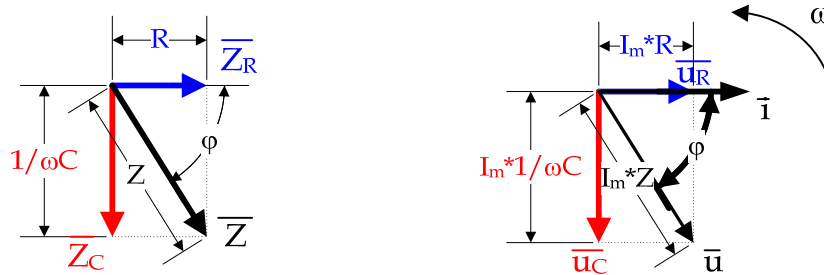
Dezelfde wet kan gebruikt worden op voorwaarde dat er complex gewerkt wordt:

$$\bar{Z}_T = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \dots + \bar{Z}_n$$

### 3.1. Serieschakeling van een weerstand en een condensator.



Figuur 13: RC-seriekring



Figuur 14: Impedantie- en spanningsdriehoek bij RC-seriekring

$$\bar{Z} = R + \frac{1}{j\omega C} = \bar{Z} \angle \varphi \quad \text{met } \varphi < 0$$

$$\bar{u}_R = R * I_m \angle \omega t$$

$$\bar{u}_C = \frac{1}{j\omega C} * I_m \angle \omega t$$

$$\bar{u} = \bar{u}_R + \bar{u}_C = R * I_m \angle \omega t + \frac{1}{j\omega C} * I_m \angle \omega t$$

$$= \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) * I_m \angle \omega t = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) * \bar{i}$$

### 3.2.Voorbeeld.

R=1000Ω; C=4700nF; f=50Hz.

Bereken de totale impedantie.

Afhankelijk van de gekozen instelling krijgt men het antwoord in een andere vorm: rechthoekige - polaire of Amerikaanse notatie.

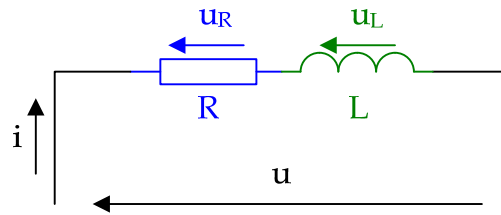
r:=1000	1000	c:=4.7E-6	0.000005
f:=50	50	zc:= $\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c \cdot i}$	-677.255 · i
zt:=r+zc	1000.-677.255 · i	zt:=r+zc	$e^{-0.595297 \cdot i} \cdot 1207.76$
zt:=r+zc	$e^{-0.595297 \cdot i} \cdot 1207.76$	zt:=r+zc	(1207.76 ∠ -34.108)

Wat gebeurt er als de frequentie stijgt of daalt?

1.1	*impedantied...oek	
$R=100$		100
$z_t = r + z_c$		$(1207.76 \angle -34.108)$
$z_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c \cdot i}$		$(338.628 \angle -90.)$
$z_t = r + z_c$		$(1055.78 \angle -18.7075)$
$z_t = r + z_c$		$1000. - 338.628 \cdot i$
		12/99

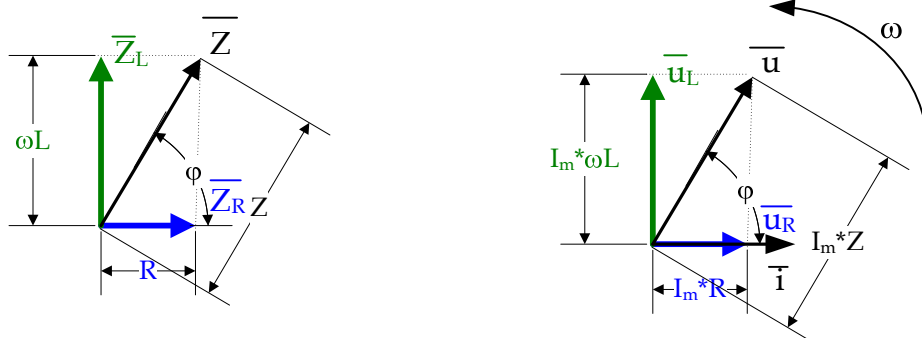
Bij stijgende frequentie daalt de impedantie van de condensator (logisch want de frequentie staat in de noemer), waardoor de modulus kleiner wordt en het argument minder negatie wordt. De schakeling wordt minder capacitief. Het argument kan nooit positief worden.

### 3.3.Serieschakeling van een weerstand en een spoel.



Figuur 15: RL-seriekring

We kunnen hier op dezelfde manier de impedantiedriehoek en de spanningsdriehoek bepalen en tekenen als bij een RC-kring. Ditmaal zal de totale impedantie zich steeds in het eerste kwadrant bevinden.



Figuur 16: RL-seriekring

$$\bar{Z} = R + j\omega L = \bar{Z} \angle \varphi \quad \text{met } \varphi > 0$$

$$\bar{i} = I_m \angle \omega t$$

$$\bar{u}_R = R * I_m \angle \omega t$$

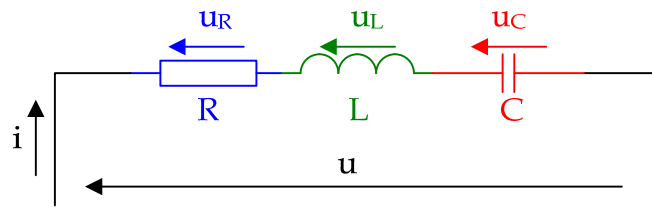
$$\bar{u}_L = j\omega L * I_m \angle \omega t$$

$$\bar{u} = \bar{u}_R + \bar{u}_L = R * I_m \angle \omega t + j\omega L * I_m \angle \omega t$$

$$= (R + j\omega L) * I_m \angle \omega t = (R + j\omega L) * \bar{i}$$

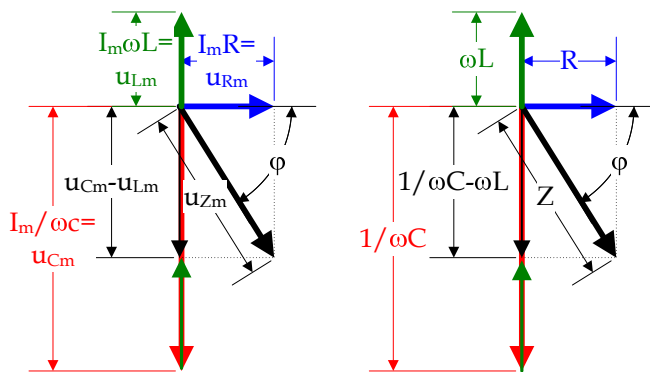
Hier zal bij een stijgende frequentie de kring zich meer inductief gedragen:  $\varphi$  stijgt.

### 3.4.Serieschakeling van een weerstand, een spoel en een condensator.

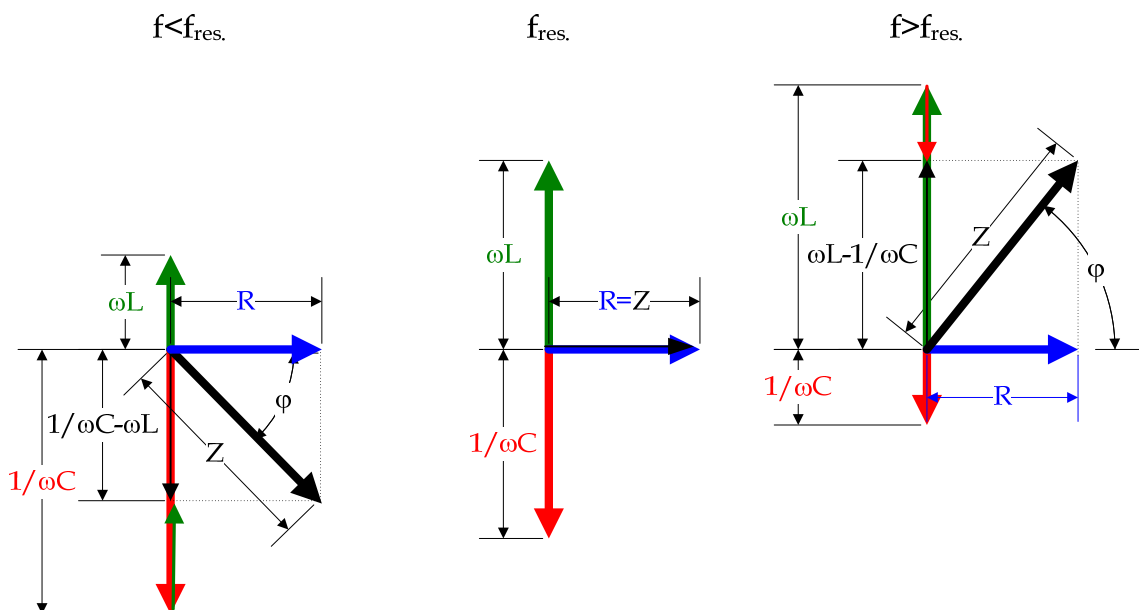


Figuur 17: RLC-seriekring

Plaatsen we 3 verschillende elementen in serie, dan moeten hun respectievelijke vectoren opnieuw worden opgeteld.

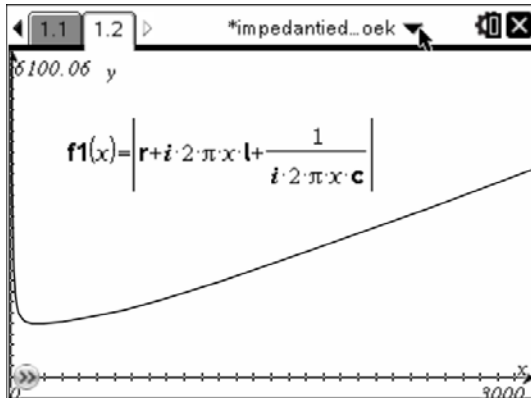


Wanneer de frequentie stijgt, wordt de vector van de spoel groter en de vector van de condensator kleiner. Hierbij kan er zich een vreemd fenomeen voordoen: bij een welbepaalde frequentie zal de vector van de spoel deze van de condensator volledig compenseren, waardoor enkel de vector van de weerstand overblijft. De frequentie waarbij dat zich voordoet noemt men de resonantiefrequentie.

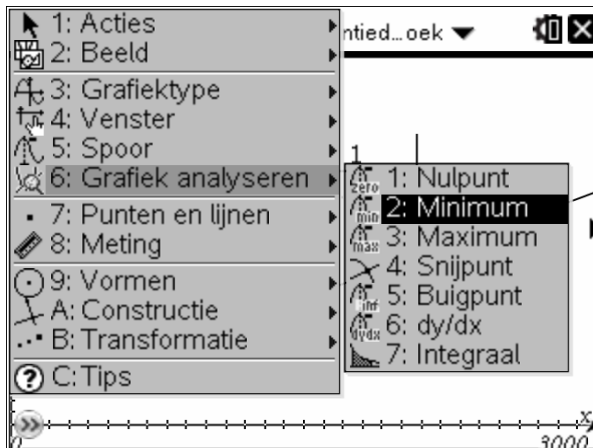


Met de TI-Nspire is het vrij gemakkelijk om de verbanden te zoeken en te tekenen tussen de frequentie en de totale impedantie, de fase, enz.

Hieronder werd de totale impedantie berekend in functie van de frequentie voor  $R=1000\Omega$ ;  $C=4700\text{nF}$  en  $L=0,2\text{H}$ .

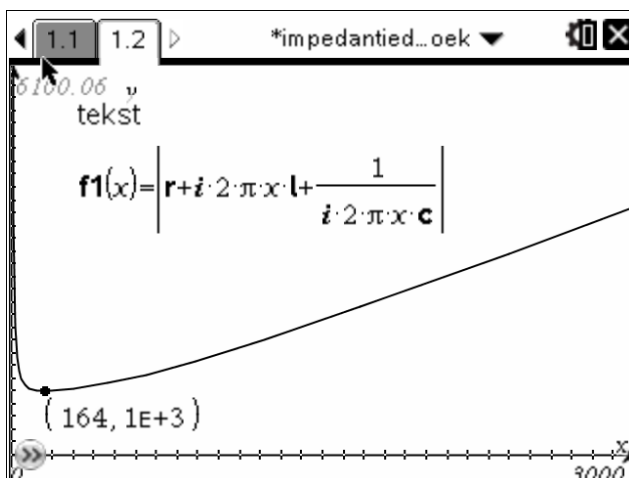


Op die grafiek kan men het minimum laten zoeken. Klik eerst op **menu** dan



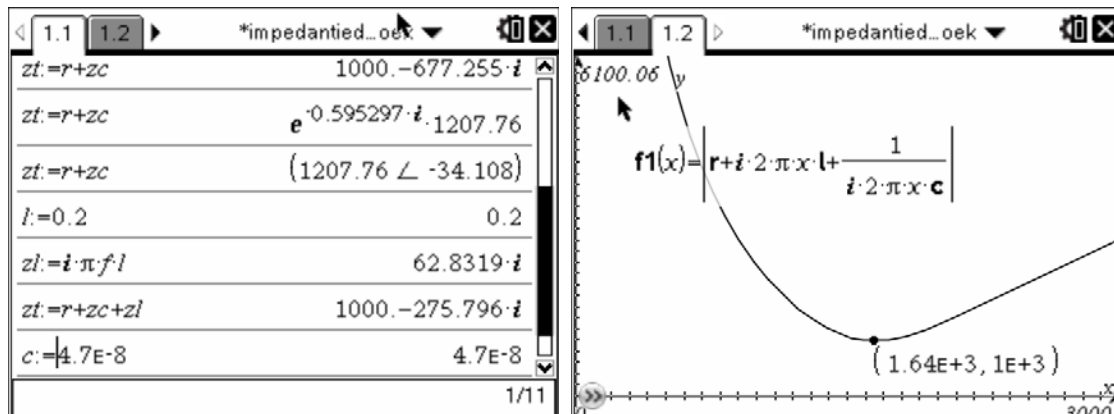
Vul de onder en bovengrens in (nul en 3000).

En je vindt:

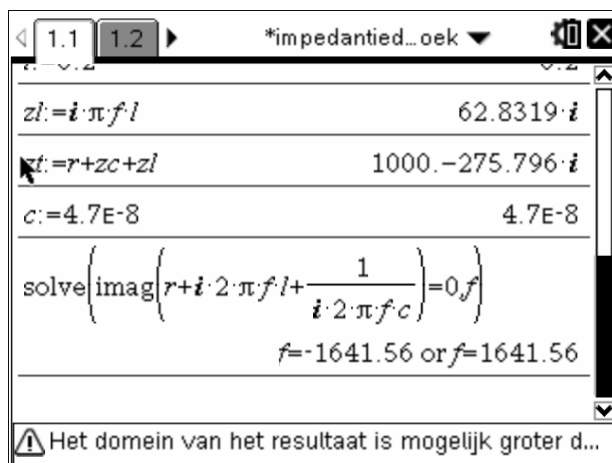


Hetzelfde is ook mogelijk voor de fase.

Wijzigt men de waarde van een element in het rekenblad, dan past de grafiek zich onmiddellijk aan. Hieronder wordt  $C=47\text{nF}$ .



De kring is in resonantie als de totale impedantie zuiver reëel is, m.a.w. als het imaginair deel van de totale impedantie nul is. Dat wordt als volgt berekend in het rekenblad:



Merk op dat men de resonantiefrequentie ook zou kunnen vinden door te zoeken achter de frequentie waarop het argument (=de fase) nul wordt.

Men kan de resonantiefrequentie ook symbolisch laten berekenen. Hiervoor beginnen we met een nieuwe opgave, zodat er nog geen variabelen zijn ( $\text{docv}$ ; 4; 1; 1).



1.1
1.2
2.1

\*impedantied...oek

$$\text{solve}\left(\text{imag}\left(r+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot l+\frac{1}{i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot c}\right)=0,f\right)$$

$$f=\frac{\sqrt{\frac{1}{c\cdot l}}}{2\cdot \pi} \text{ and } \frac{1}{c\cdot l}\geq 0 \text{ or } f=-\frac{\sqrt{\frac{1}{c\cdot l}}}{2\cdot \pi} \text{ and } \frac{1}{c\cdot l}\geq 0$$


---


$$\mathbb{I}$$

⚠ Het domein van het resultaat is mogelijk groter d...

## 4. Parallelkringen.

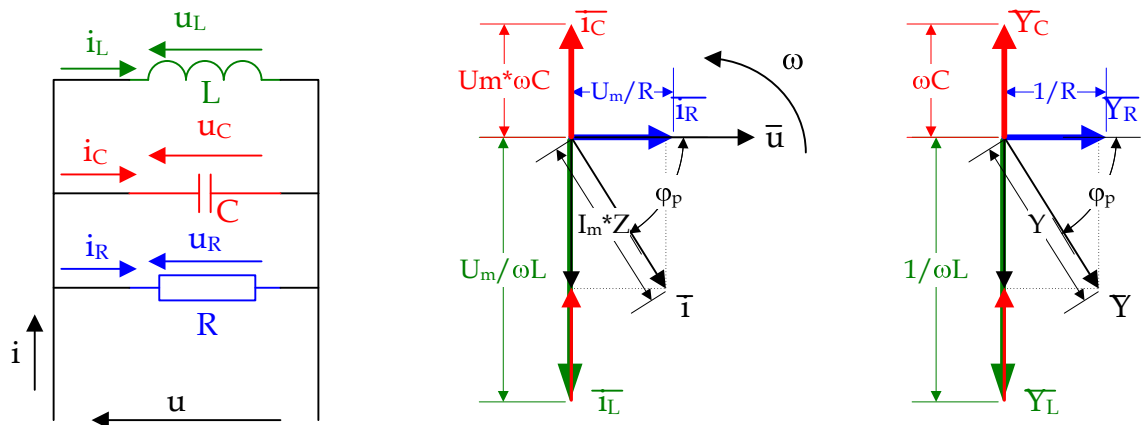
Bij gelijkstroomtheorie geldt bij een parallelkring van weerstanden:

$$R_T^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1} + \dots + R_n^{-1} \Leftrightarrow G_T = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

Dezelfde wet kan gebruikt worden op voorwaarde dat er complex gewerkt wordt:

$$\bar{Z}_T^{-1} = \bar{Z}_1^{-1} + \bar{Z}_2^{-1} + \dots + \bar{Z}_n^{-1} \Leftrightarrow \bar{Y}_T = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \dots + \bar{Y}_n$$

### 4.1.Parallelschakeling van een weerstand, een spoel en een condensator.

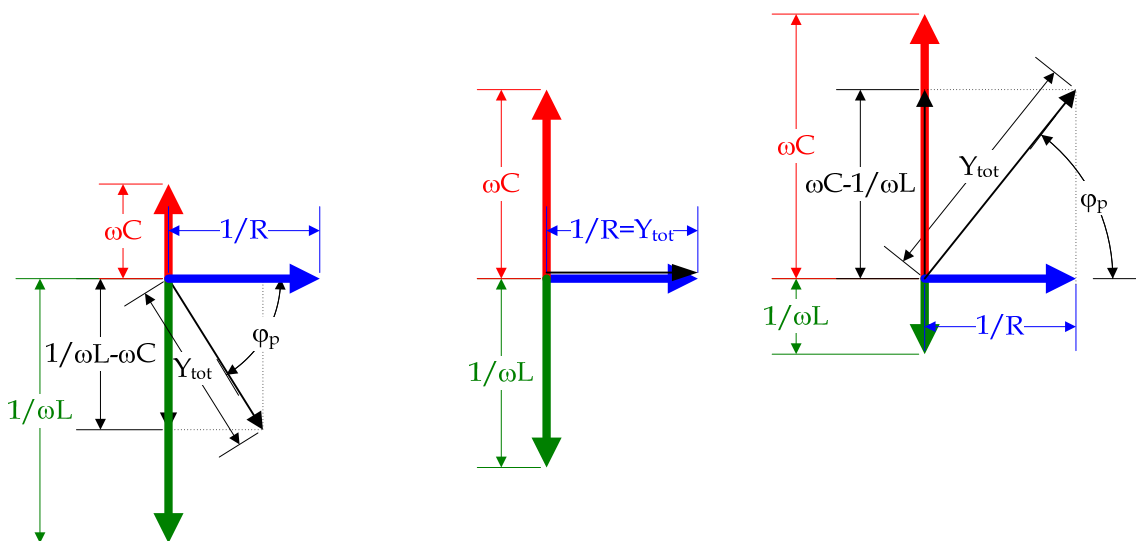


Op de bovenstaande fasordiagramma's is de totale admittantie ( $Y_T$ ) is inductief. Bij een stijging van de frequentie zal de admittantie van de spoel kleiner worden en van de condensator groter worden. Ook hier zal er een frequentie bestaan waarbij de kring in resonantie is.

$f < f_{res.}$

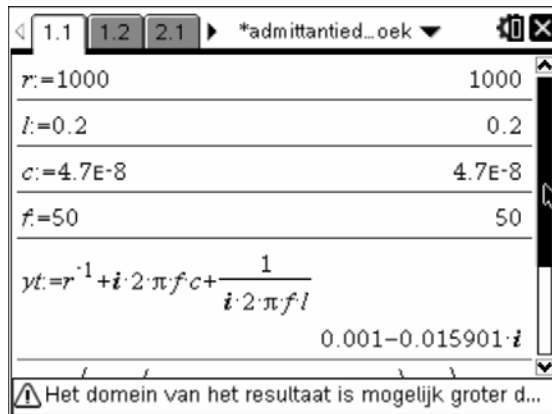
$f_{res.}$

$f > f_{res.}$

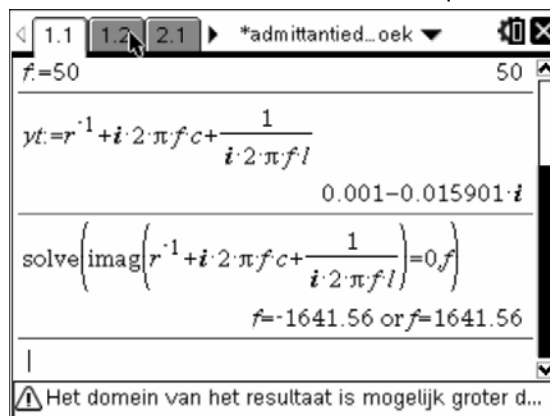


Men kan dezelfde berekeningen en grafieken maken als bij de seriekringen. Voorbeelden:

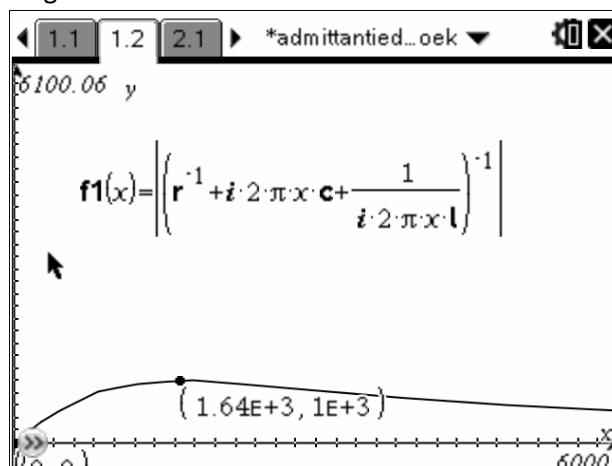
- Het bepalen van de admittantie bij een gegeven frequentie.



- Het berekenen van de resonantiefrequentie.

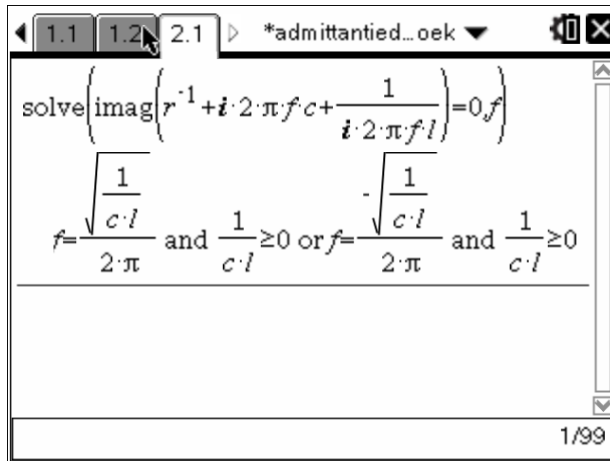


- Het bepalen van de totale impedantie in functie van de frequentie. De impedantie is het omgekeerde van de admittantie.



Bij een parallelkring bereikt de impedantie zijn maximum. Dat kan gevonden worden door de tekening te analyseren.

- Symbolische berekening van de resonantiefrequentie.

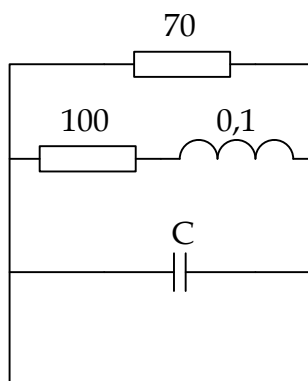


- Enz.

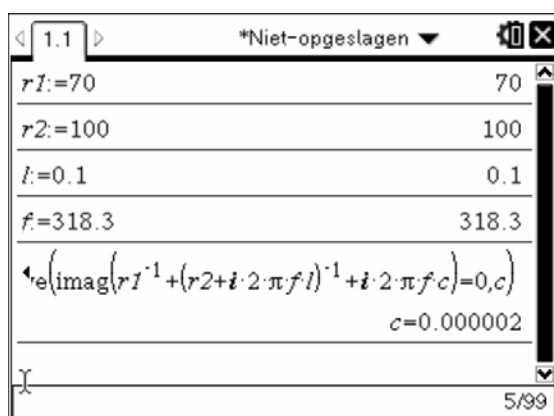
## 5. Gemengde kringen.

Door gebruik te maken van complexe getallen worden de gemengde schakelingen ook oplosbaar. Het volstaat om bovenstaande wetten toe te passen.

### 5.1.Voorbeeld 1:



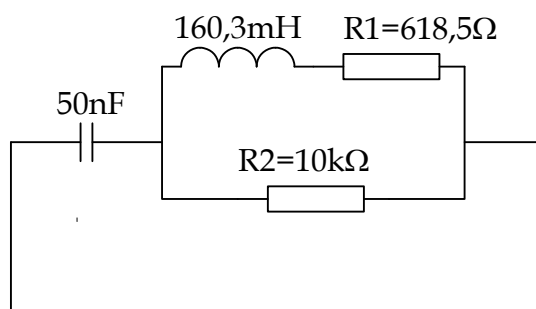
Bij welke waarde van C zal de kring in resonantie zijn bij een frequentie van 318,3Hz?



Om de kleine getallen met voldoende beduidende cijfers te kunnen aflezen plaatsen we het rekentoestel in de technische mode: (on); 5; 2; 1; exp. Opmaak plaatsen in technisch; ok; 4.

1.1	*Niet-opgeslagen	
$\text{solve}\left(\text{imag}\left(r1^{-1}+(r2+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot l)^{-1}+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot c\right)=0\right)$		
$c=0.000002$		
$\text{solve}\left(\text{imag}\left(r1^{-1}+(r2+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot l)^{-1}+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot c\right)=0\right)$		
$c=2.0001\text{E-}6$		
$c:=2.0000993901551\text{E-}6$	$2.0001\text{E-}6$	
$r1^{-1}+(r2+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot l)^{-1}+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot c$	$16.2858\text{E-}3$	
8/99		

## 5.2.Voorbeeld 2:



Stel een formule op om de resonantiefrequentie te bepalen.

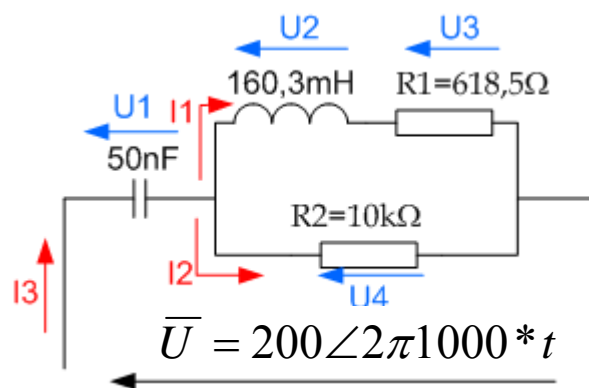
Bereken de resonantiefrequentie?

$$\text{solve}\left(\text{imag}\left(\frac{1}{i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot c}+\left((r1+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot l)^{-1}+r2^{-1}\right)^{-1}\right)=0,f\right)$$

$$\sqrt{\frac{1}{(c\cdot r2^2-l)\cdot l}}\cdot (r1+r2) \text{ and } \frac{r1^2+2\cdot r1\cdot r2+r2^2}{(c\cdot r2^2-l)\cdot l} \geq 0 \text{ or } f = \frac{-\sqrt{\frac{1}{(c\cdot r2^2-l)\cdot l}}\cdot (r1+r2)}{2\cdot \pi} \text{ and } \frac{r1^2+2\cdot r1\cdot r2+r2^2}{(c\cdot r2^2-l)\cdot l} \geq 0$$

1.1	2.1	3.1	*Niet-opgeslagen	
$l:=0.1603$				$160.3\text{E-}3$
$r1:=618.3$				$618.3\text{E}0$
$r2:=10000.$				$10.\text{E}3$
$\text{solve}\left(\text{imag}\left(\frac{1}{i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot c}+\left((r1+i\cdot 2\cdot \pi \cdot f\cdot l)^{-1}+r2^{-1}\right)^{-1}\right)=0\right)$				
$f=-1.91866\text{E}3 \text{ or } f=1.91866\text{E}3$				
⚠ Het domein van het resultaat is mogelijk groter d...				

### 5.3.Voorbeeld 1:



Bepaal alle spanningen en stromen.

$$\bar{I}_3 = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}_t}$$

2.1 3.1 4.1 \*series

$$z_t = \frac{1}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c + \left( \frac{1}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l + r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{-1}}$$

666.448E0 - 2.29779E3 · i

$u := (200 \angle 0)$  200

$i_3 = \frac{u}{z_t}$  23.2862E-3 + 80.2864E-3 · i

11/99

Algemene instellingen

Cijfers weergeven: Drijvend 6

Hoek: Graden

Exp. Opmaak: Technisch

Reël of complex: Polair

Berekeningsmodus: Automatisch

Vectoropmaak: Rechthoekig

? Herstel Standaard OK Annuleer

2.1 3.1 4.1 > *serieses	
$i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c \cdot (i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l + r1 - r2)$	$666.448E0 - 2.29779E3 \cdot i$
$u := (200 \angle 0)$	200
$i3 := \frac{u}{z1}$	$23.2862E-3 + 80.2864E-3 \cdot i$
$i3 := \frac{u}{z1}$	$(83.5952E-3 \angle 73.8258E0)$
12/99	

$$\bar{U}_1 = \bar{I}_3 \cdot \frac{1}{j2\pi f * C}$$

2.1 3.1 4.1 > *serieses	
$i3 := \frac{u}{z1}$	$23.2862E-3 + 80.2864E-3 \cdot i$
$i3 := \frac{u}{z1}$	$(83.5952E-3 \angle 73.8258E0)$
$u1 := i3 \cdot \frac{1}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$	$(266.092E0 \angle -16.1742E0)$
13/99	

$$\bar{U}_4 = \bar{U} - \bar{U}_1$$

2.1 3.1 4.1 > *serieses	
$z1$	$(83.5952E-3 \angle 73.8258E0)$
$i3 := \frac{u}{z1}$	$(83.5952E-3 \angle 73.8258E0)$
$u1 := i3 \cdot \frac{1}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$	$(266.092E0 \angle -16.1742E0)$
$u4 := u - u1$	$(92.6336E0 \angle 126.854E0)$
14/99	

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{U}_4}{R2}$$

2.1 3.1 4.1 > \*serieses

zt

$u1 := i3 \cdot \frac{1}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$  (266.092E0  $\angle$  -16.1742E0)

$u4 := u - u1$  (92.6336E0  $\angle$  126.854E0)

$i2 := \frac{u4}{r2}$  (9.26336E-3  $\angle$  126.854E0)

|

15/99

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_4}{j2\pi f \cdot L + R1}$$

2.1 3.1 4.1 > \*serieses

(266.092E0  $\angle$  -16.1742E0)

$u4 := u - u1$  (92.6336E0  $\angle$  126.854E0)

$i2 := \frac{u4}{r2}$  (9.26336E-3  $\angle$  126.854E0)

$i1 := \frac{u4}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l + r1}$  (78.3742E-3  $\angle$  68.4073E0)

|

16/99

**Controle:**  $\bar{I}_3 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$

2.1 3.1 4.1 > \*serieses

$u4 := u - u1$  (92.6336E0  $\angle$  126.854E0)

$i2 := \frac{u4}{r2}$  (9.26336E-3  $\angle$  126.854E0)

$i1 := \frac{u4}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l + r1}$  (78.3742E-3  $\angle$  68.4073E0)

$i1 + i2$  (83.5952E-3  $\angle$  73.8258E0)

|

17/99



$$\bar{U}_2 = \bar{I}_1 \cdot j2\pi f \cdot L$$

$$\bar{U}_3 = \bar{I}_1 \cdot R1$$

2.1 3.1 4.1 > *serieses	
$i1 := \frac{u4}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f1 + r1}$	(78.3742E-3 $\angle$ 68.4073E0)
$i1+i2$	(83.5952E-3 $\angle$ 73.8258E0)
$u2:=i1 \cdot i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f1$	(78.9381E0 $\angle$ 158.407E0)
$u3:=i1 \cdot r1$	(48.4744E0 $\angle$ 68.4073E0)
19/99	

**Controle:**

$$\bar{U}_4 = \bar{U}_2 + \bar{U}_3$$

2.1 3.1 4.1 > *serieses	
$i1 := \frac{u4}{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f1 + r1}$	(78.3742E-3 $\angle$ 68.4073E0)
$i1+i2$	(83.5952E-3 $\angle$ 73.8258E0)
$u2:=i1 \cdot i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f1$	(78.9381E0 $\angle$ 158.407E0)
$u3:=i1 \cdot r1$	(48.4744E0 $\angle$ 68.4073E0)
$u2+u3$	(92.6336E0 $\angle$ 126.854E0)
20/99	