

# UITVOERIG PROGRAMMA VAN DE VAKKEN VAN DE AANWERVINGSPROEF VAN (EERSTE) TECHNICUS ELEKTROMECHANICIEN

## **A. Schriftelijk en mondeling gedeelte**

### **1. Elektriciteit**

#### **1.1. Algemene kennis (algemene elektriciteit)**

Wetten (wet van Ohm, vermogensfactor, driefasige stroom, schakelingen van elementen, ...)

Omzetting van eenheden

Wisselstroom: basisbegrippen (definities,...) ; de bestanddelen en hun werking in het circuit; gebruik van spoelen en condensatoren

Gelijkstroom : basisbegrippen (definities,...) ; de bestanddelen en hun werking in het circuit; gebruik van spoelen en condensatoren; voedingsbronnen

#### **1.2. Zwakstroom**

Basiskennis elektronica

Bestanddelen en karakteristieken van een stroomcircuit

Rol en nut van de bestanddelen

Maateenheden

Meettoestellen

#### **1.3. Sterkstroom**

Wisselstroommachines: gebruik, voordelen en nadelen

Transformatoren: principes en taken

Gelijkstroommachines: gebruik, voordelen en nadelen

Schema's

### **2. Mechanica**

Kennis van kracht, koppel, arbeid, vermogen

Maateenheden en meettoestellen

Thermische motoren

### **3. Telecom (enkel voor de proeven in Brussel)**

Noties van verzwakking in de telefonische koperkabels en in de optische vezelkabels

Modulatie et radio-technieken

Systemen voor analoge, digitale en optische multiplexing

Digitale interfaces

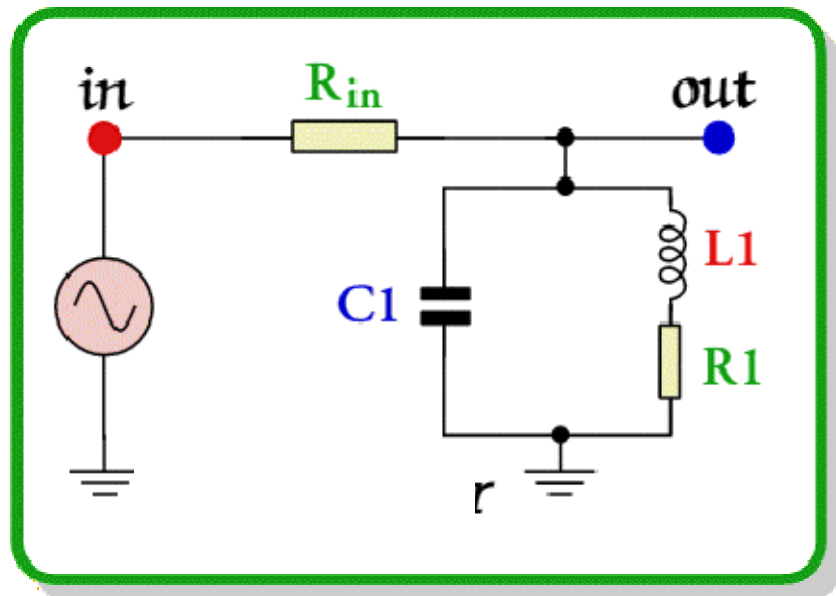
Kableringstopologies

**B. ENKEL voor het mondelinge gedeelte**

**1. Lezen van plannen en schema's**

**2. Basiskennis van veiligheid:** Gevaren van elektriciteit

# ELEKTRICITEIT



## INHOUDSTAFEL

<i><u>HOOFDSTUK I: Inleidende begrippen</u></i> .....	4
I.1. De stroombron.....	4
I.1.1. De elektromotorische kracht (e.m.k.) .....	4
I.1.2. De inwendige weerstand en de kortsluiting .....	5
I.2. De weerstand van een geleider.....	5
I.3. De wet van Ohm, arbeid en vermogen.....	7
I.3.1. De wet van Ohm .....	7
I.3.2. De arbeid ( W) .....	8
I.3.3. Het vermogen P.....	9
I.4. De schakeling van weerstanden .....	11
I.4.1. Berekening van de totale weerstand .....	11
I.5. Het Joule effect door elektrische stroom.....	18
I.5.1. Het Joule effect .....	18
I.5.2. Warmtehoeveelheid .....	19
I.5.3. Berekening van de warmtehoeveelheid .....	19
I.5.4. Spanningsval .....	19
I.5.5. De kortsluiting .....	20
I.6. Verbindingswijze van ampere- en voltmeters.....	21
 <i><u>HOOFDSTUK II: De wisselstroom</u></i> .....	 21
II.1. Inleiding .....	21
II.2. Werking .....	21
II.3. Karakteristieke grootheden .....	22
II.3.1. De periode.....	22
II.3.2. De frequentie .....	22
II.3.3. Effectieve waarde van de wisselstroom.....	22
II.3.4. Faseverschuiving .....	22
II.4. Vectoriële voorstelling.....	23
II.5. Wisselstroomkringen .....	23
II.5.1. Kring met enkel weerstanden .....	24
II.5.2. Kring met enkel spoelen .....	24
II.5.3. Kring met enkel capaciteiten .....	25

II.5.4. Gemengde kring .....	26
II.6. Vermogen bij wisselstroom .....	27
II.7. Het praktisch belang van $\cos \varphi$ .....	27
<i><u>HOOFDSTUK III: Kringen op basis van R, L en C</u></i> .....	<i>28</i>
III.1. RC serie kring.....	28
III.2. RL Kring.....	29
III.2.1. Vermogen in de RL kring.....	29
III.3. RLC Seriekring.....	30
III.3.1. Impedantie en fasehoek bij een RLC kring .....	30
III.4. RLC Parallel kring.....	35
III.4.1. Impedantie en fasehoek.....	35
III.4.2. Betrekkingen tussen de stromen.....	35
III.5. Parallele resonantie.....	36
III.5.1. Voorwaarde voor een ideale parallelle resonantie. ....	36
III.5.2. Sperkring .....	37
<i><u>HOOFDSTUK IV: De diode</u></i> .....	<i>38</i>
IV.1. Definitie.....	38
IV.2. Werkingsprincipe .....	38
IV.2.1. Rechtstreekse polarisatie.....	38
IV.2.2. Polarisation in sperzin .....	38
IV.2.3. Besluit .....	39
IV.3. Diode karakteristiek .....	40
IV.4. Voorbeeld van werking .....	40
IV.5. De bruggelijkrichter. ....	40
IV.5.1. Werkingsprincipe .....	40
IV.5.2. Bruggelijkrichter met capacitieve filtering .....	42

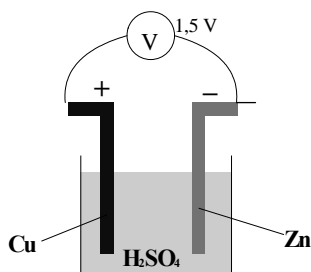
# HOOFDSTUK I: INLEIDENDE BEGRIPPEN

## I.1. DE STROOMBRON

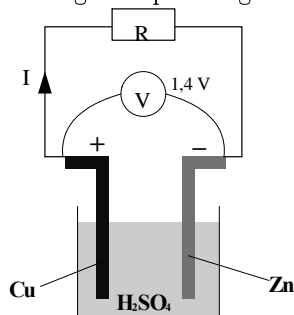
### I.1.1. DE ELEKTROMOTORISCHE KRACHT (E.M.K.)

Spanningsbronnen kunnen eveneens worden gekenmerkt door de elektromotorische kracht  $E$  (EMK), een grootte die soms wordt verward met de klemspanning  $U$ . Deze twee begrippen die allebei in Volt worden uitgedrukt, zijn nochtans verschillend.

Nemen we bij wijze van voorbeeld een Volta-element en veronderstellen we dat het niet aan een verbruikstoestel  $R$  is gekoppeld. Met een voltmeter  $V$  meten wij over de klemmen een spanning van 1,5 Volt, die de elektromotorische kracht van het Volta-element aangeeft.



Wanneer het element op een verbruikstoestel is aangesloten, verandert de klemspanning afhankelijk van de waarde van de geleverde stroom. We vinden nu de elektromotorische kracht van 1,5 Volt niet meer terug, maar een lagere spanning.



In een spanningsbron is de elektromotorische kracht steeds hoger dan de klemspanning  $U$  bij gesloten kring aangezien de inwendige weerstand  $R_i$  van de bron, doorlopen door een stroom  $I$  een spanningsval  $R_i \cdot I$  veroorzaakt.

**Bij een gesloten kring (aangesloten op een verbruikstoestel R), waarbij  $I \neq 0$  geldt:**

$U = E - R_i \cdot I$  met :  $E$  = de elektromotorische kracht;  
 $U$  = de klemspanning;  
 $R_i$  = de inwendige weerstand van de bron (meestal zeer klein);  
 $I$  = de stroom van de bron.

**In een open kring ( $I = 0$ ):**

$$U = E$$

**I.1.2. DE INWENDIGE WEERSTAND EN DE KORTSLUITING**

Verbinden we de twee polen van een willekeurige spanningsbron met een koperen geleider van grote doorsnede waarvan de weerstand praktisch 0 is. We spreken over een kortsluiting. De stroom die in de kring vloeit is zeer groot en wordt enkel beperkt door de inwendige weerstand van de bron. Die weerstand wordt de interne weerstand genoemd. We merken op dat in spanningsbron zelf de stroom van de negatieve naar de positieve pool vloeit.

**In de praktijk heeft een kortsluiting steeds uiterst gevaarlijke gevolgen omdat ze belangrijke stroomsterkten veroorzaakt.**

**I.2. DE WEERSTAND VAN EEN GELEIDER**

De weerstand  $R$  van een geleider hangt van de drie volgende factoren af:

- het materiaal (koper, ijzer, aluminium enz.)
- de doorsnede;
- de lengte.

De weerstand van een geleider wordt als volgt berekend:

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{S} \quad \text{met} \quad R = \text{weerstand van de geleider } [\Omega] ;$$

$$\rho = \text{de specifieke weerstand van het materiaal } [\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}] ;$$

$$\ell = \text{de lengte van de geleider } [\text{m}] ;$$

$$S = \text{de doorsnede van de geleider } [\text{mm}^2].$$

*Uit die formule blijkt dat de weerstand verkleint naarmate de geleider een grotere doorsnede en een kleinere lengte heeft.*

De soortelijke (specifieke) weerstand  $\rho$  van het materiaal is de weerstand van het materiaal per lengte-eenheid (m) en per oppervlakte-eenheid ( $\text{mm}^2$ ).

De weerstand van een geleider is ook afhankelijk van de temperatuur van het materiaal. Om deze reden wordt de waarde van  $\rho$  steeds gegeven bij  $0^\circ\text{C}$  ( $\rho$ ).

Om de waarde van de weerstand te bepalen bij een hogere temperatuur moet rekening worden gehouden met de temperatuurcoëfficiënt  $\alpha$  (alpha).

De weerstand bij een temperatuur ( $T$ ) wordt berekend aan de hand van de formule:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T)$$

De volgende tabel vermeldt de waarden  $\rho$  en  $\alpha$  voor enkele gewone geleiders

metaal	$\rho$	$\alpha$
koper	0,017	0,00380
zilver	0,016	0,00377
konstantaan	0,5	0,000005

Deze tabel toont ons het volgende:

- zilver is de beste geleider maar zeer duur en dus weinig gebruikt;
- konstantaan is uitermate geschikt voor de vervaardiging van weerstanden omdat de temperatuurscoëfficiënt klein is.

### **Oefeningen :**

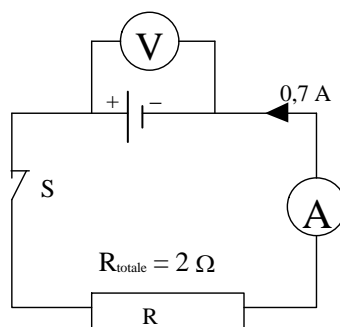
- 1) *We willen een weerstand maken van  $0,125 \Omega$  bij  $0^\circ\text{C}$  uit koperdraad met een doorsnede van  $3 \text{ mm}^2$ . Hoe lang moet deze koperdraad zijn ?*
- 2) *We nemen een zilverdraad : de weerstand bij  $70^\circ\text{C}$  bedraagt  $6 \Omega$ . De doorsnede bedraagt  $0,5 \text{ mm}^2$ . Bereken de lengte van de draad..*
- 3) *We hebben een koperen kabel met een diameter van  $2 \text{ cm}$  en een lengte van  $20 \text{ km}$ . Bereken de weerstand van deze kabel als de temperatuur van de kabel  $35^\circ\text{C}$  bedraagt.*



## I.3. DE WET VAN OHM, ARBEID EN VERMOGEN

### I.3.1. DE WET VAN OHM

Een weerstand  $R$  en een ampèremeter  $A$  worden aangesloten op een accu (batterij).



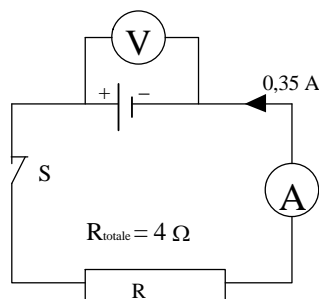
De totale weerstand  $R$  van de kring bedraagt  $2 \Omega$ .

Als we de schakelaar  $S$  sluiten, geeft de ampèremeter een stroomsterkte van  $0,7$  ampère ( $A$ ) aan.

We plaatsen nu een voltmeter  $V$  op de twee klemmen van de accu en we meten een potentiaalverschil (of spanning) van  $1,4$  V.

We stellen het volgende vast:  $0,7 \text{ A} \cdot 2 \Omega = 1,4 \text{ V}$ .

We vervangen de eerste weerstand door een andere zodanig dat de totale weerstand  $4 \Omega$  bedraagt.



Als we de schakelaar  $S$  sluiten, geeft de ampèremeter een stroomsterkte aan van  $0,35$  A, want de weerstand  $R$  is verdubbeld en dus is de stroom gehalveerd. De voltmeter wijst nochtans een spanning  $U$  aan van  $1,4$  V.

#### **I.3.1.1 Besluit**

**De stroomsterkte  $I$  die in een elektrische kring circuleert, is rechtstreeks evenredig met de aangelegde spanning  $U$  en omgekeerd evenredig met de weerstand  $R$ . Dit is de wet van Ohm.**

<b><u>De stroomsterkte:</u></b> $I = \frac{U}{R}$ in ampère (A)	<b><u>De spanning :</u></b> $U = R \cdot I$ in Volt (V)	<b><u>De weerstand:</u></b> $R = \frac{U}{I}$ in Ohm ( $\Omega$ )
--	--	--

### I.3.1.2 Oefeningen

1. Een spanningsbron van 100 V voedt een weerstand R van 100  $\Omega$ . Met een ampèremeter meten we een stroomsterkte van 4 A. Hoe groot is deze weerstand?
2. Een spanningsbron van 1 kV voedt een weerstand van 0,1 k $\Omega$ . Welke stroom vloeit er door deze weerstand?
3. Een stroom van 0,1 kA stroomt door een weerstand van 1 m $\Omega$ . Welke spanning staat er over deze weerstand?

### I.3.2. DE ARBEID (W)

Wat is arbeid ?

*De arbeid, geleverd door een elektrische stroom I, is gelijk aan het product van de spanning U met de stroom I die door een gegeven punt gaat gedurende een bepaalde tijd t.*

#### I.3.2.1 Formules

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

De eenheid van arbeid is de Joule.

arbeid = spanning x stroomsterkte x tijd = energie

Joule = Volt. Ampère. Seconde.

1 Joule = 1 V . 1 A . 1 s = 1 Ws (Wattseconde) = 1 Nm (Newtonmeter).

1 kWh (kilowattuur) = 1000 W . 3600 sec = 3600000 Nm.

Aangezien  $W = U \cdot I \cdot t$  en  $U = R \cdot I$ , kunnen we afleiden dat:

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

### I.3.2.2 Oefeningen

Hoeveel energie verbruikt een elektrisch vuurtje gedurende 6,5 uur en gevoed wordt met 230 V en een stroom trekt van 6,9 A? (in Joule en in kWh)

Hoeveel arbeid levert een stroom van 6,9 A die een weerstand van 500  $\Omega$  voedt gedurende 19 uur 36 minuten?

### I.3.3. HET VERMOGEN P

Wat is vermogen ?

***Het vermogen van een elektrische stroom is de arbeid die wordt geleverd per eenheid van tijd***

### **I.3.3.1 Formules**

$$P = \frac{W}{t} = U.I = R.I^2$$

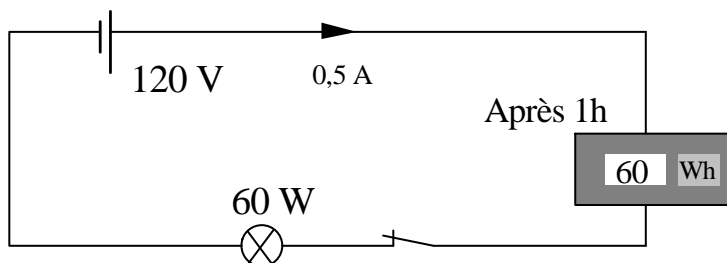
Vermogen = arbeid / tijd ;  
 = energie / tijd ;  
 = spanning stroom ;  
 = weerstand (stroom) <sup>2</sup>.

*De eenheid van vermogen is de Watt.*

$$W = \frac{\text{Joule}}{\text{seconde}} = \frac{\text{N.m}}{\text{s}} = \text{Volt. Ampère} = \text{Ohm. (Ampère)}^2.$$

Het stroomverbruik wordt door de teltoestellen aangegeven in wattuur of in kilowattuur (kWh-teller).

Bijgevolg wordt de verbruiksprijs van de stroom altijd berekend aan de hand van de arbeid van een toestel.



*We hebben een lamp met een vermogen van 60 W aangesloten op een spanning van 120 V. Na één uur staat op de teller het cijfer 60, m.a.w. er is na dit uur een energieverbruik van 60 Wh.*

De stroomsterkte door de lamp bedraagt: 
$$I = \frac{P}{U} = \frac{60 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 0,5 \text{ A}$$

Deze lamp verbruikt 30 Wh per half uur, 60 Wh per uur, 120 Wh per 2 uur, 180 Wh per 3 uur enz.

### I.3.3.2 Oefeningen

Een stroom van 5 A stroomt door een weerstand van 7  $\Omega$ . Hoeveel stroom is er verbruikt na 3,8 uur? Hoeveel vermogen heeft die weerstand? Na hoeveel tijd is er 26 kWh verbruikt?

Een elektrisch vuurtje heeft een vermogen van 3000 W en wordt gevoed op 230 V. Indien 1 kWh 4,6 BEF kost, hoeveel kost het dan om 12 uur te verwarmen? Hoeveel stroom trekt dit elektrische vuurtje? Hoeveel bedraagt de weerstand van dit vuurtje?

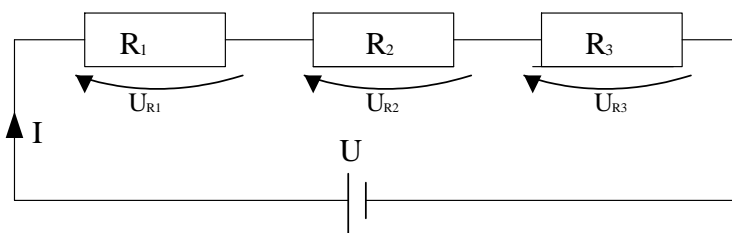
Een lamp van 100 W blijft een gans jaar branden (24h/24h en 365 dagen). Die lamp wordt gevoed met een spanning van 230 V. Wat is het stroomverbruik? Wat is de weerstand van die lamp? Wat is de kostprijs als één kWh 0,16 . kost?

## I.4. DE SCHAKELING VAN WEERSTANDEN

### I.4.1.1 Serieschakeling

## I.4.2. BEREKENING VAN DE TOTALE WEERSTAND

### I.4.2.1 Serieschakeling



Gegevens:

We nemen bijvoorbeeld een elektrische kring bestaande uit een serieschakeling van 3 weerstanden ( $R_1$ ,  $R_2$  en  $R_3$ ) die worden gevoed door een spanning  $U$ .

*We nemen een voorbeeld :  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ ,  $R_3 = 7 \Omega$  en de spanning  $U = 90 V$ .*

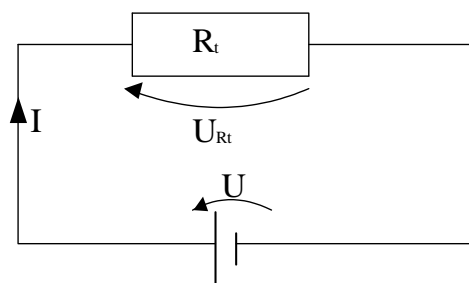
Bereken :

- de totale weerstand van de kring;
- de stroomsterkte  $I$  die door die kring vloeit;
- de spanningsvallen aan de klemmen van de weerstanden.

Oplossing:

### Berekening van de totale weerstand:

In feite willen we een ingewikkelde elektrische kring vervangen door een gelijkwaardige elektrische kring waarin de gelijkwaardige weerstand (totale weerstand)  $R_t$  dezelfde uitwerking heeft als de 3 weerstanden in de eerste elektrische kring



We zien onmiddellijk dat  $R_t = R_1 + R_2 + R_3$

**De vervangingsweerstand heeft dus een waarde van:  $R_t = 3 + 5 + 7 = 15 \Omega$ .**

### Berekening van de stroomsterkte I van de kring:

Met de wet van Ohm kunnen we de stroomsterkte I in de kring bepalen:

$$I = \frac{U}{R_t} = \frac{90 \text{ V}}{15 \Omega} = 6 \text{ A}$$

De stroom van 6 A gaat eerst door  $R_1$ , daarna door  $R_2$  en vervolgens door  $R_3$ .

### Berekening van de spanningsvallen over de klemmen van elke weerstand :

We hebben vastgesteld dat een stroom van 6 A door elke weerstand vloeit en dus kunnen we de spanningsval aan de klemmen van elke weerstand bepalen :

$$\text{Voor de weerstand } R_1: U_{R1} = 6\text{A} \cdot 3\Omega = 18 \text{ V};$$

$$\text{Voor de weerstand } R_2: U_{R2} = 6\text{A} \cdot 5\Omega = 30 \text{ V};$$

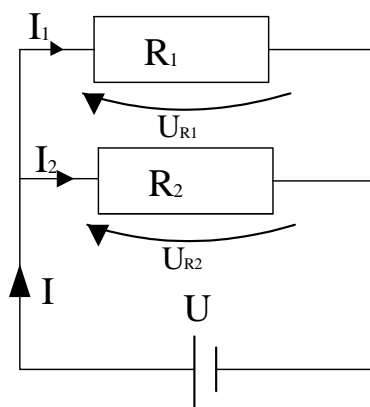
$$\text{Voor de weerstand } R_3: U_{R3} = 6\text{A} \cdot 7\Omega = 42 \text{ V}.$$

We stellen het volgende vast:  $U = 90\text{V} = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} = U_{Rt}$ ; met  $U_{Rt} = R_t \cdot I$ .

### Conclusies :

- de vervangingsweerstand bij een serieschakeling is de som van de individuele weerstanden.
- door de verschillende weerstanden van een serieschakeling vloeit éézelfde stroomsterkte;
- een serieschakeling werkt alleen als er een spanningsbron is aangelegd.

### I.4.2.2 Parallelschakeling



Gegevens:

We beschouwen een elektrische kring bestaande uit een parallelschakeling van 2 weerstanden ( $R_1$  en  $R_2$ ) die worden gevoed door een spanning  $U$

$$V.b.: R_1 = 20 \Omega, R_2 = 30 \Omega \quad U = 120 V.$$

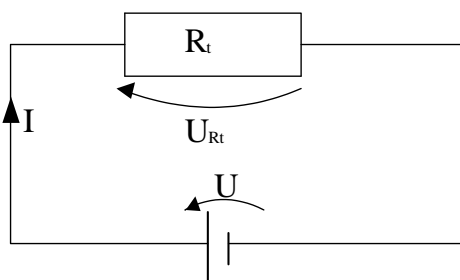
Bereken:

- de totale weerstand van de kring;
- de stroomsterkten  $I$ ,  $I_1$  en  $I_2$ ;
- de spanningsvallen aan de klemmen van de weerstanden

Oplossing:

#### Berekening van de totale weerstand:

In feite willen we een ingewikkelde elektrische kring vervangen door een gelijkwaardige elektrische kring waarin de vervangingsweerstand (totale weerstand)  $R_t$  dezelfde uitwerking heeft als de 2 weerstanden in de oorspronkelijke elektrische schakeling.



$$I = \frac{U}{R_t} \quad \text{met:} \quad I_1 = \frac{U}{R_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad \text{en} \quad I = I_1 + I_2.$$

$$I = U \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = U \cdot \frac{1}{R_t}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

De vervangingsweerstand  $R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \Omega$

### Berekening van de stromen $I_1$ en $I_2$ :

De totale stroom  $I$  kan worden berekend met de de wet van Ohm:  $I = \frac{U}{R_t}$

$$I = \frac{120 \text{ V}}{12 \Omega} = 10 \text{ A}$$

De totale stroom  $I = 10 \text{ A}$  gaat zich opsplitsen in twee deelstromen  $I_1$  en  $I_2$ .

$$I_1 = \frac{120 \text{ V}}{20 \Omega} = 6 \text{ A} \quad ; \quad I_2 = \frac{120 \text{ V}}{30 \Omega} = 4 \text{ A}$$

### Berekenen van de spanningsval over de klemmen van elke weerstand:

Bij een parallelschakeling van twee weerstanden is de spanningsval aan de klemmen van die twee weerstanden dezelfde.

$$U_{R1} = U_{R2} = U_{Rt} = U = 120 \text{ V.}$$

### Conclusies:

De vervangingsweerstand bij een parallelschakeling is gelijk aan het product van de weerstanden gedeeld door de som van de weerstanden.

In geval van meerdere weerstanden is het omgekeerde van de vervangingsweerstand gelijk aan de som van de omgekeerde weerstanden:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots ;$$

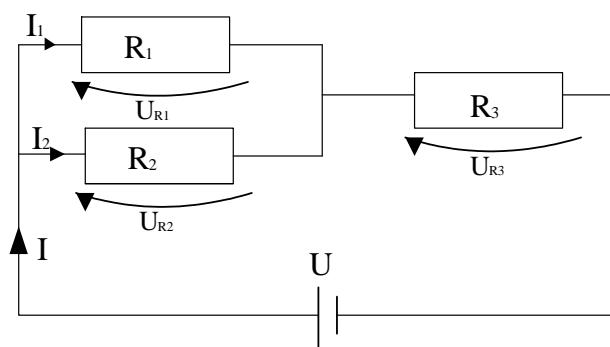
De vervangingsweerstand is kleiner dan de kleinste weerstand van de kring.

De spanning aan de klemmen van elke tak van de parallelschakeling is gelijk;

Voor de werking van een parallelschakeling is een stroombron vereist.

### **I.4.2.3 Serie-parallelschakeling**





Gegevens:

We nemen bijvoorbeeld een elektrische kring bestaande uit een serie-parallelschakeling van 3 weerstanden ( $R_1$ ,  $R_2$  en  $R_3$ ) die worden gevoed door een spanning  $U$ .

$$v.b. : R_1 = 20 \Omega ; R_2 = 30 \Omega ; R_3 = 8 \Omega \quad U = 240 V.$$

Bereken:

de totale weerstand van de kring;

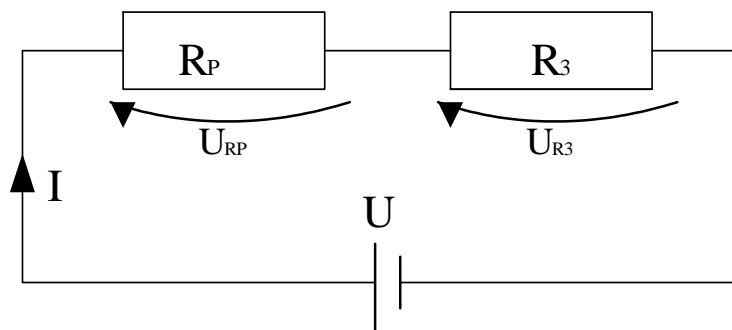
de stroomsterkten  $I$ ,  $I_1$  en  $I_2$  ;

de spanningsvallen aan de klemmen van de weerstanden

Oplossing:

### Berekening van de totale weerstand:

In feite willen we een ingewikkelde elektrische kring vervangen door een gelijkwaardige elektrische kring waarin de vervangingsweerstand (totale weerstand)  $R_t$  ( $R_t = R_p + R_3$ ) dezelfde uitwerking heeft als de 3 weerstanden in de oorspronkelijke elektrische kring.



$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \Omega$$

$$R_t = R_p + R_3 = 12 + 8 = 20 \Omega.$$

De vervangingsweerstand  $R_t = 20 \Omega$ .

**Berekening van de stroomsterkten I, I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub> :**

Met de wet van Ohm kunnen we de stroom I berekenen:  $I = \frac{U}{R_t}$

$$I = \frac{240 \text{ V}}{20 \Omega} = 12 \text{ A}$$

De stroom I gaat zich opsplitsen in twee deelstromen I<sub>1</sub> en I<sub>2</sub>. Om de stromen I<sub>1</sub> en I<sub>2</sub> te berekenen moet rekening worden gehouden met de door weerstand R<sub>3</sub> opgewekte spanning.

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U - U_{R3}}{R_1} = \frac{240 - (12 \cdot 8)}{20} = 7,2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{U - U_{R3}}{R_2} = \frac{240 - (12 \cdot 8)}{30} = 4,8 \text{ A}$$

**Berekening van de spanningsval over de klemmen van elke weerstand:**

Nu we alle stromen kennen kunnen we de spanningsvallen aan de klemmen van de verschillende weerstanden berekenen.

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 = 7,2 \cdot 20 = 144 \text{ V}$$

$$U_{R1} = U_{R2} \text{ want de twee weerstanden } R_1 \text{ en } R_2 \text{ zijn parallel geschakeld.}$$

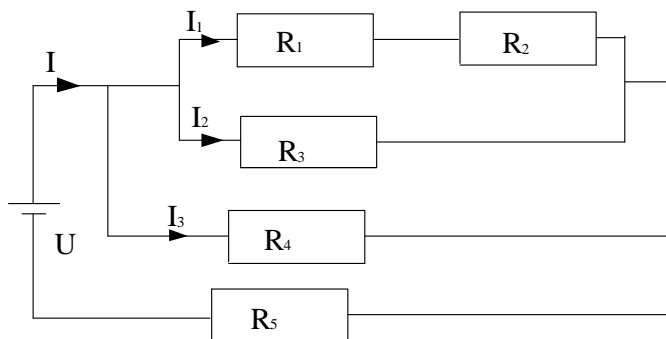
$$U_{R2} = I_2 \cdot R_2 = 4,8 \cdot 30 = 144 \text{ V}$$

$$U_{R3} = I_3 \cdot R_3 = 12 \cdot 8 = 96 \text{ V} = U - U_{R1} = U - U_{R2}.$$

### I.4.2.4 Oefeningen

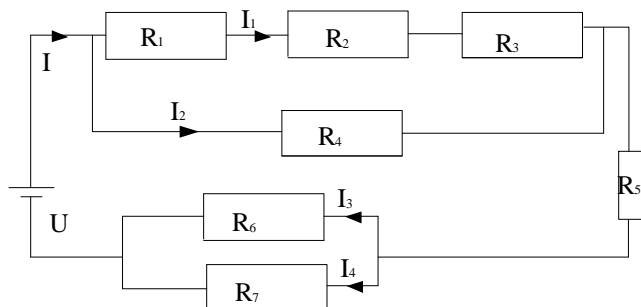
Bereken de vervangingsweerstand en alle stromen en spanningsvallen van de onderstaande elektrische kring:

$$U = 300 \text{ V} ; R_1 = 10 \ \Omega ; R_2 = 20 \ \Omega ; R_3 = 30 \ \Omega ; R_4 = 40 \ \Omega ; R_5 = 50 \ \Omega.$$



Bereken de vervangingsweerstand en alle stromen en spanningsvallen van de onderstaande elektrische kring:

$U = 500 \text{ V}$  en alle weerstanden hebben dezelfde waarde  $10 \ \Omega$ .



## I.5. HET JOULE EFFECT DOOR ELEKTRISCHE STROOM

### I.5.1. HET JOULE EFFECT

#### Proef

We nemen een regelbare weerstand  $R$  die verbonden is aan de klemmen van een stroombron. We verplaatsen de contactborstel  $B$  zodanig dat de weerstand  $R$  volledig door de stroom wordt doorlopen.

De ampèremeter geeft een stroomsterkte aan van 1 A. We stellen vast dat de weerstand  $R$  na een zekere tijd warm wordt.

We verschuiven de contactborstel  $B$  naar het midden van de weerstand  $R$ , de stroomsterkte bedraagt nu 5 A.

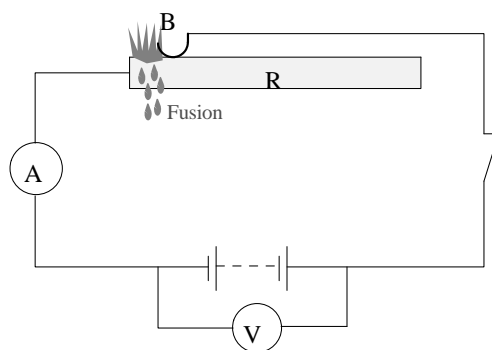
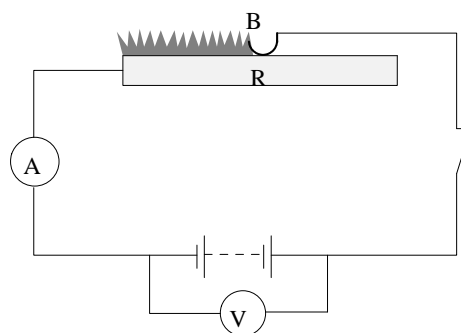
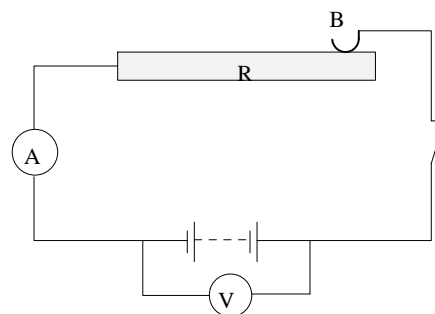
We stellen vast dat het gedeelte van de weerstand  $R$ , die door de stroom wordt doorlopen, na een bepaalde tijd gloeiend wordt.

We verschuiven nu de borstel  $B$  naar het uiteinde van de weerstand. De stroom doorloopt nog maar een klein gedeelte van de weerstand en bedraagt nu 10A.

Na een bepaalde tijd wordt dit gedeelte van de weerstand hevig gloeiend en smelt.

Besluit:

**Een geleider waar een elektrische stroom doorheen vloeit, wordt warm. Dit verschijnsel wordt het joule-effect genoemd.**



### I.5.2. WARMTEHOEEVELHEID

De hoeveelheid warmte die wordt voortgebracht door een elektrische stroom in een geleider hangt af van:

- de stroomsterkte;
- de aard van de geleider, dus van de weerstand;
- de duur van de stroomdoorgang.

### I.5.3. BEREKENING VAN DE WARMTEHOEEVELHEID

Om de warmtehoeveelheid als gevolg van het Joule-effect te berekenen moet de waarde van de drie hierboven genoemde factoren gekend zijn: stroomsterkte, weerstand en tijdsduur.

We zoeken de voortgebrachte arbeid en passen de volgende formule toe:

$$\text{arbeid (W)} = \text{spanning (U)} \cdot \text{stroomsterkte (I)} \cdot \text{tijd (t)}.$$

of

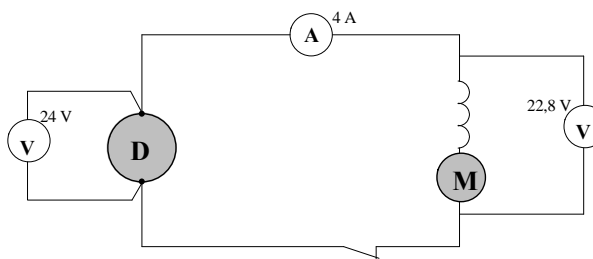
$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

### I.5.4. SPANNINGSVAL

In de nevenstaande figuur zien we dat de klemspanning  $U$  aan de klemmen van de dynamo  $D$  gelijk is aan  $24 \text{ V}$ .

De voltmeter  $V$  echter, geschakeld aan de klemmen van de motor  $M$ , wijst een spanning  $U$  aan van  $22,8 \text{ V}$ .

De ampèremeter geeft een stroomsterkte aan van  $4 \text{ A}$ .



Er bestaat dus een spanningsverschil tussen de stroombron en de verbruiker. Dit verschijnsel noemt men: “spanningsval in de geleiders”.

De spanningsval hangt af van de weerstand van de geleiders. Hoe groter de weerstand, hoe groter de spanningsval.

Daaruit volgt een vermogensverlies in de geleiders dat wordt omgezet in warmte.

Het door de dynamo geleverde vermogen bedraagt:  $24 \text{ V} \cdot 4 \text{ A} = 96 \text{ W}$ ;

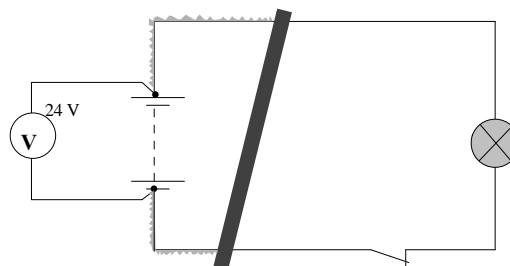
Het door de motor ontwikkelde vermogen bedraagt:  $22,8 \text{ V} \cdot 4 \text{ A} = 91,2 \text{ W}$ ;

Het vermogensverlies =  $96 \text{ W} - 91,2 \text{ W} = 4,8 \text{ W}$ .

### I.5.5. DE KORTSLUITING

We verbinden twee draden met een verschillende potentiaal door middel van een koperen staaf.

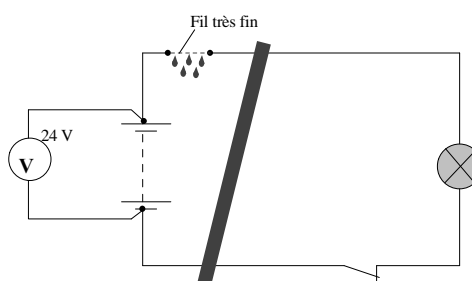
We stellen vast dat de geleider zeer snel gloeiend wordt en smelt



We hebben een kortsluiting veroorzaakt, d.w.z. dat de weerstand, in ons geval een lamp, overbrugd is. De stroomsterkte in de geleider wordt zodanig groot dat hij smelt.

We plaatsen een zeer dun draadje in de kring.

We herhalen de proef en stellen vast dat het draadje onmiddellijk smelt, terwijl onze geleiders ongedeerd blijven.



### Besluiten

Het dunne draadje beveiligd de kring. Bijgevolg wordt de kring bij onvoorziene en gevaarlijk hoge stroomsterkten door het smelten van die draad automatisch onderbroken.

**Alle elektrische kringen moeten van een veiligheidstoestel voorzien zijn om beschadiging en brand te voorkomen.**

In de praktijk vinden we de onderstaande veiligheidstoestellen:

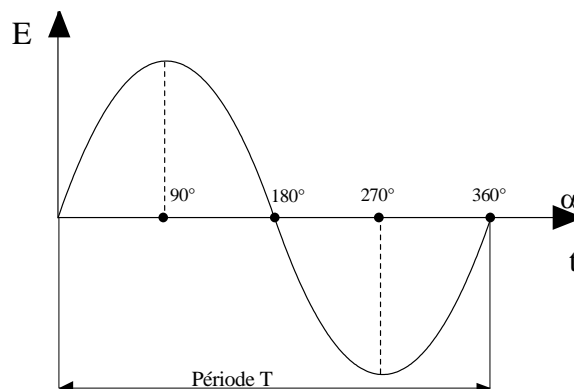
- smeltveiligheden bestaande uit een gekalibreerde draad van zilver of koper. Deze draad wordt in een isolerend draagstuk geplaatst;
- de thermische veiligheidsschakelaars die via een bimetaal openen wanneer een bepaalde temperatuur wordt bereikt;
- magnetische veiligheidsschakelaars, die openen als de stroom (en de magnetische kracht) een bepaalde waarde bereiken.

## HOOFDSTUK II: DE WISSELSTROOM

### II.1. INLEIDING

De wisselspanningen en -stromen die in de industrie worden gebruikt hebben een sinusoidaal verloop.

De nevenstaande grafiek is de voorstelling van een sinusoïde over een tijdspanne van 1 periode of  $360^\circ$ .



De wisselspanning die door een elektrische centrale wordt geleverd heeft meestal een sinusoidale vorm.

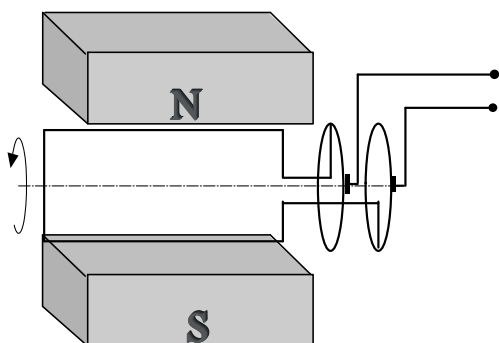
Een wisselspanningsbron wordt voorgesteld door een cirkeltje met de letter G en het wisselspanningsteken erin.

Het is duidelijk dat een wisselspanningsbron geen vaste polariteit bezit: de polariteit van de bron wisselt immers met een bepaalde frequentie. Wisselstroom of -spanning wordt op meetinstrumenten ook aangeduid met A.C. (alternating current) of C.A. (courant alternatif).



### II.2. WERKING

Wisselspanning wordt opgewekt in een wisselstroomgenerator, alternator genoemd. We leggen het principe van de alternator hier uit op een zeer eenvoudige wijze. In een ander hoofdstuk wordt dieper ingegaan op dit onderwerp.



Beschouwen we een wikkeling, bestaande uit één winding, die beweegt in een magnetisch veld opgewekt door twee polen, een noord- en een zuidpool.

De wikkeling draait rond met een constante snelheid. De tussen twee polen draaiende geleiders zien een in de tijd wisselende flux. Deze verandering van flux doet, volgens de wet van Lenz, een elektromotorische kracht ontstaan.

De elektromotorische kracht is maximaal wanneer de geleiders zich bevinden in het vlak van de polen (zie figuur). De e.m.k. is nul wanneer de geleiders zich bevinden in het vlak loodrecht op het vlak van de polen.

## II.3. KARAKTERISTIEKE GROOTHEDEN

### II.3.1. DE PERIODE

Een periode is de tijd, uitgedrukt in seconden, die overeenstemt met een volledige cyclus. De periode wordt voorgesteld door de letter T.

### II.3.2. DE FREQUENTIE

De frequentie is het aantal perioden per seconde of:  $f = \frac{1}{T}$

De frequentie wordt uitgedrukt in Hertz ( $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ ).

In Europa is de standaardfrequentie 50 Hz, in Amerika 60 Hz.

### II.3.3. EFFECTIEVE WAARDE VAN DE WISSELSTROOM

Over het algemeen wordt, i.p.v. de amplitude, de effectieve waarde van de wisselstroom gebruikt. Een wisselstroom met een effectieve waarde  $I_{\text{eff}}$  gelijk aan 1 A produceert evenveel warmte in een weerstand als een gelijkstroom van 1 A in dezelfde weerstand.

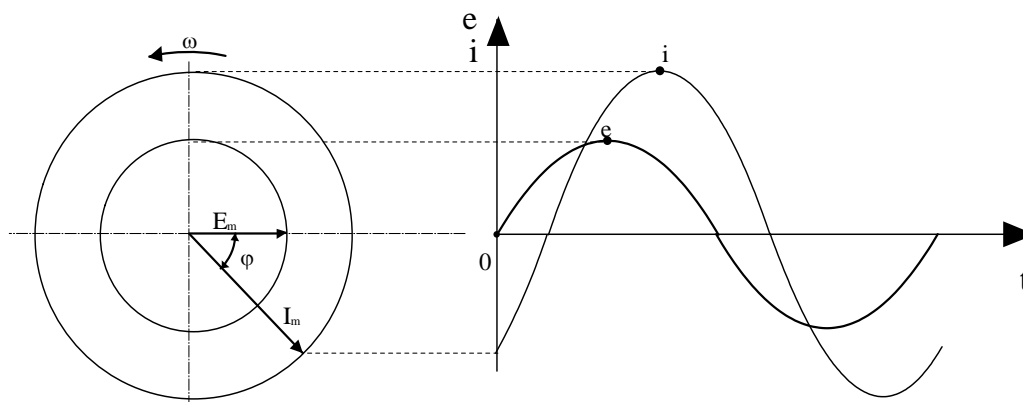
Tussen  $I_{\text{eff}}$  en  $I_{\text{max}}$  bestaat volgend verband:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

### II.3.4. FASEVERSCHUIVING

Sinusoidale grootheden, zoals spanningen en stromen, kunnen niet alleen verschillen in amplitude maar kunnen bovendien t.o.v. elkaar verschoven zijn in functie van de tijd.

Er bestaat dan een faseverschuiving tussen de beide grootheden.



$$e = E_{\text{max}} \cdot \sin \omega t$$

$$i = I_{\text{max}} \sin (\omega t - \varphi) \quad (\text{met } \varphi \text{ positieve hoek})$$

We zeggen dat de stroom naijlt op de spanning (en de spanning bijgevolg voorijlt op de stroom) als men de kromme van de stroom terug moet schuiven om de maximum stroom te laten samenvallen met de maximum spanning.

We zeggen dat de grootheden in fase zijn als de faseverschuiving  $\varphi$  gelijk is aan 0. De twee grootheden zijn dan op de zelfde ogenblikken nul, maximaal en minimaal. Ze hebben bovendien



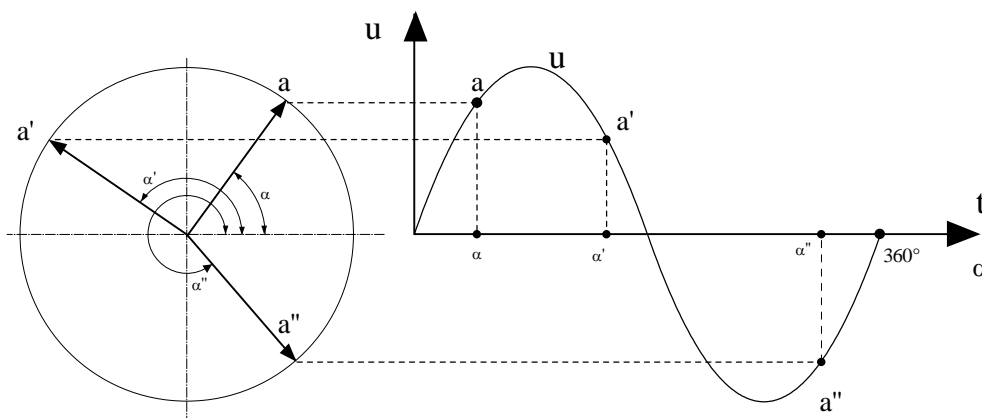
hetzelfde verloop: stijgen en dalen. Dit is bijvoorbeeld het geval als de kring enkel uit weerstanden bestaat.

Twee grootheden zijn in kwadratuur als de hoekverschuiving  $\pm 90^\circ$  is. Dit is bijvoorbeeld het geval als de kring enkel uit spoelen bestaat.

Twee grootheden zijn in tegenfase zijn wanneer de hoekverschuiving  $180^\circ$  bedraagt.

## II.4. VECTORIËLE VOORSTELLING

Een wisselstroom (wisselspanning) kan worden voorgesteld door een *draaiende* vector, waarvan het uiteinde beweegt op een cirkel. De hoeksnelheid van die vector is gelijk aan  $\omega$ .



De volgende conventies worden aangenomen:

- de vector draait steeds in tegenwijzerzin;
- de grootte van de vector stemt overeen met de effectieve waarde van de voorgestelde grootheid, d.w.z. spanning of stroom;
- de faseverschuiving stemt overeen met de hoek tussen de draaiende vector en het rechterdeel van de horizontale as

De vectoriële voorstelling heeft als groot voordeel dat sinusoidale grootheden vectorieel kunnen worden opgeteld, i.p.v. goniometrisch wat gepaard gaat met complexe berekeningen. Er dient echter wel opgemerkt te worden dat op één zelfde vectorvoorstelling enkel grootheden met dezelfde frequentie mogen worden weergegeven.

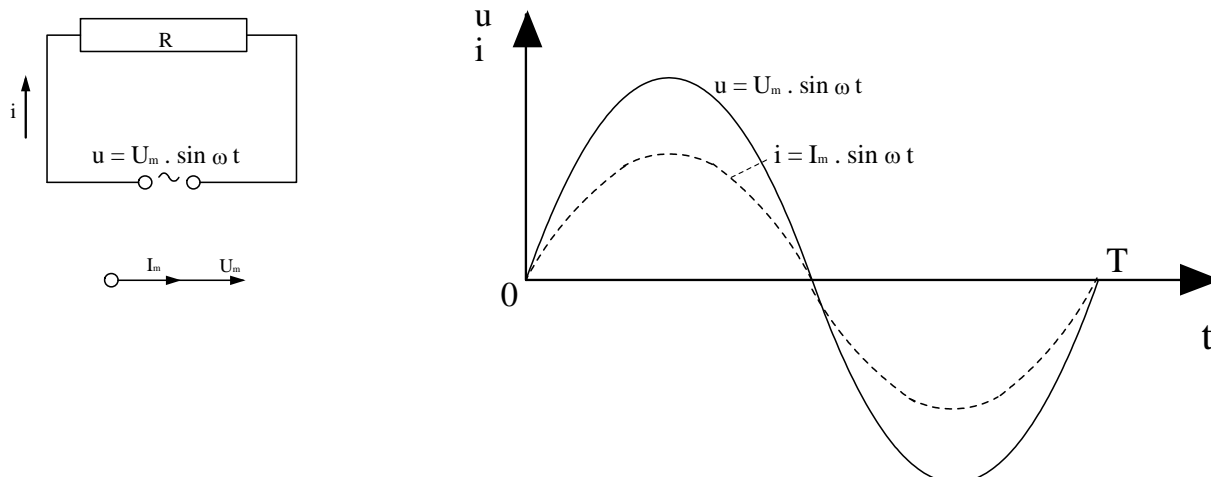
## II.5. WISSELSTROOMKRINGEN

In een wisselstroom kring is het verband tussen spanning en stroom afhankelijk van het type schakeling (serieschakeling, parallel schakeling, ...) van diverse elektrische componenten zoals weerstanden, spoelen en condensatoren.

Om rekening te houden met al deze elementen werd een nieuwe grootheid gedefinieerd: de impedantie  $Z$ .

### II.5.1. KRING MET ENKEL WEERSTANDEN

Wanneer de elektrische kring enkel weerstanden bevat is de stroom in fase met de spanning.



De stroomsterkte wordt bepaald met de wet van Ohm:  $i(t) = \frac{u(t)}{Z}$

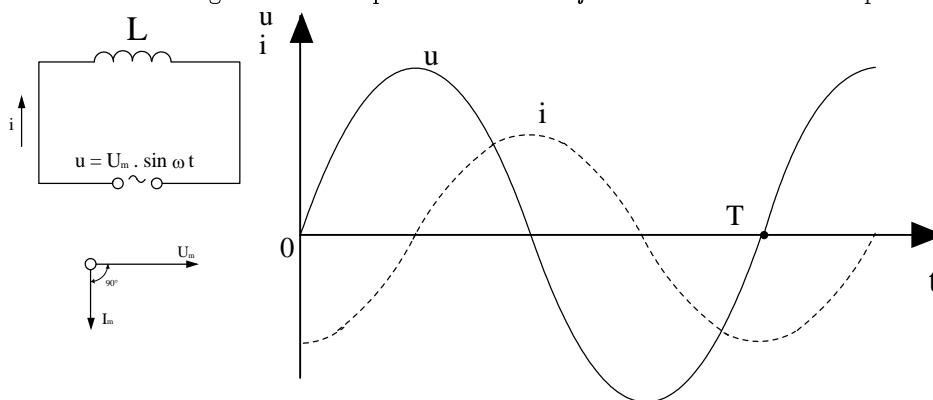
Bij een voedingsspanning:  $u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$

en een belasting:  $Z = R$

is de stroom :  $i(t) = \frac{U_m}{R} \cdot \sin \omega t$

### II.5.2. KRING MET ENKEL SPOELEN

Wanneer de elektrische kring enkel uit spoelen bestaat ijlt de stroom 90° na op de spanning.



De impedantie van een spoel:  $Z = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ .

We stellen vast: hoe groter de frequentie  $f$ , hoe groter de impedantie  $Z$ .  
De inductantie ( $L$ ) wordt uitgedrukt in Henry (H).

De stroomsterkte wordt bepaald met de wet van Ohm:  $i(t) = \frac{u(t)}{Z}$

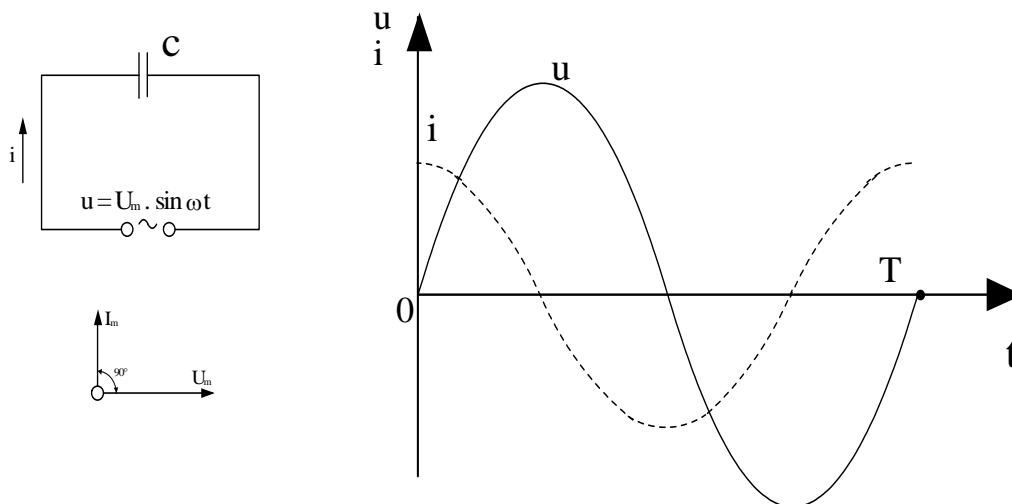
Bij een voedingsspanning:  $u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$

en een belasting:  $Z = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

is de stroom : 
$$i(t) = \frac{U_m}{\omega L} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

### II.5.3. KRING MET ENKEL CAPACITEITEN

Wanneer de elektrische kring enkel uit condensatoren bestaat ijlt de stroom 90° vóór op de spanning.



De impedantie van een condensator: 
$$Z = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

We stellen vast: hoe kleiner de frequentie  $f$ , hoe groter de impedantie  $Z$ .

De capaciteit ( $C$ ) wordt uitgedrukt in Farad (F).

De stroomsterkte wordt bepaald met de wet van Ohm: 
$$i(t) = \frac{u(t)}{Z}$$

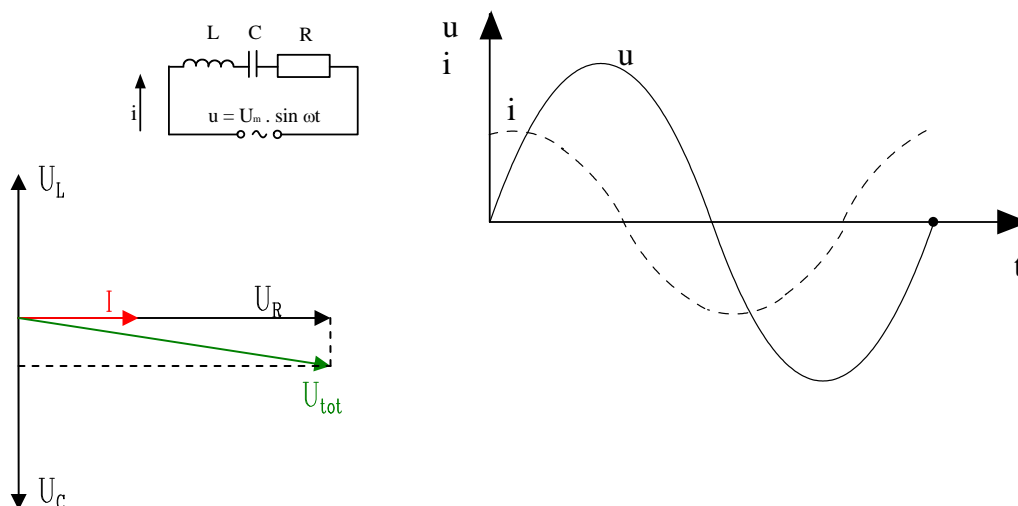
Bij een voedingsspanning: 
$$u(t) = U_m \cdot \sin \omega t$$

en een belasting: 
$$Z = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

is de stroom : 
$$i(t) = U_m \cdot \omega \cdot C \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

### II.5.4. GEMENGDE KRING

Wanneer de elektrische kring is samengesteld uit spoelen, weerstanden en condensatoren moet de totale impedantie  $Z$  van de kring worden bepaald.



Uit wat vooraf gaat weten we dat weerstanden geen faseverschuiving veroorzaken tussen spanning en stroom. Spoelen en condensatoren daarentegen veroorzaken een faseverschuiving van  $90^\circ$  tussen spanning en stroom.

De totale impedantie  $Z$  kan bepaald worden aan de hand van de volgende formule:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

De relatie tussen spanning en stroom volgt altijd uit:  $i(t) = \frac{u(t)}{Z}$

## **II.6. VERMOGEN BIJ WISSELSTROOM**

Bij gelijkstroom wordt het vermogen gegeven door de formule:  $P = U \cdot I$

Bij wisselstroom is deze formule niet meer geldig en moet rekening worden gehouden met de faseverschuiving tussen spanning en stroom.

Bij wisselstroom wordt het vermogen berekend door de formule:  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

De stroom bestaat uit twee gedeelten,

$I \cdot \cos \varphi$  (de component van de stroom in fase met de spanning: de actieve component)  
 $I \cdot \sin \varphi$  (de component van de stroom loodrecht op de spanning (in kwadratuur): de reactieve component wekt geen vermogen op)

$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$  het actief vermogen, wordt gemeten met een kWh-teller. Wordt uitgedrukt in W (Watt) of kW.

$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$  het reactief vermogen, wordt uitgedrukt in VAR (volt-ampere-reactief)

$S = U \cdot I$  het schijnbaar vermogen, uitgedrukt in VA (volt-ampere). Dit vermogen wordt geleverd door Electrabel.

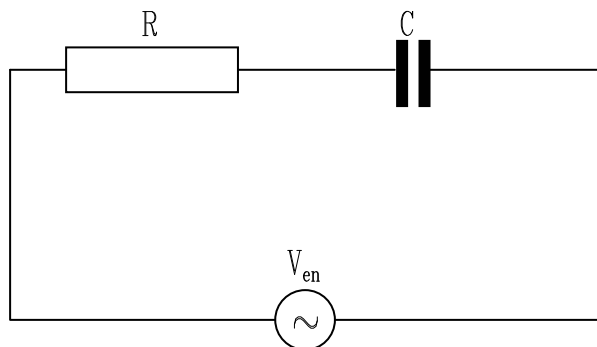
## **II.7. HET PRAKTISCH BELANG VAN $\cos \varphi$**

De  $\cos \varphi$  factor is per definitie de arbeidsfactor van de kring of installatie. De arbeidsfactor is technisch belangrijk voor het transport en de verdeling van elektrische energie. Daarom eist Electrabel dat elke gebruiker een minimale arbeidsfactor in acht neemt.

Hoe kleiner de  $\cos \varphi$ , hoe groter de opgeslorpte stroom  $I$  is voor een bepaald vermogen. Een grote stroomsterkte veroorzaakt grotere energieverliezen (Joule-effect) in de leidingen.

## HOOFDSTUK III: KRINGEN OP BASIS VAN R, L EN C

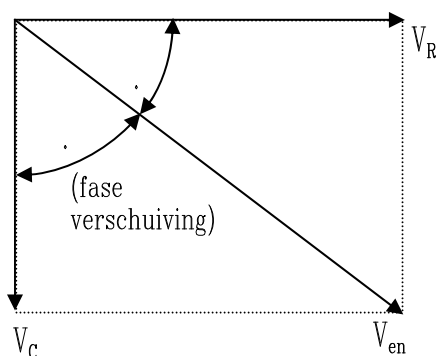
### III.1. RC SERIE KRING



De vervangingsimpedantie van een RC serie kring wordt gegeven door:

$$\text{grootte: } Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

$$\text{faseverschuiving spanning stroom: } \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{R\omega C}$$



Op de tekening zien we dat de spanning over de weerstand  $V_R$   $90^\circ$  voorijlt op de spanning over de condensator  $V_C$  en dat bovendien  $V_R$  ( $90^\circ - \varphi$ ) of  $\theta^\circ$  voorijlt op de voedingsspanning  $V_{en}$ .

De grootte van de diverse spanningen kan worden uitgedrukt in functie van de voedingsspanning  $V_{en}$ , de waarden  $R$  en  $C$  en tenslotte de hoekfrequentie ..

$$V_c = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \cdot V_{en} = \frac{V_{en}}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}}$$

$$V_R = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \cdot V_{en} = \frac{V_{en}}{\sqrt{1 + \frac{1}{R^2 \omega^2 C^2}}}$$

## III.2. RL KRING

Alle beschouwingen over RC kringen kunnen worden uitgebreid voor RL kringen, die eveneens als filter kunnen worden gebruikt.

We zullen ons in wat volgt tevreden stellen met een aantal beschouwingen over het vermogen. De belangrijkste toepassing van een RL kring is immers de elektrische motor.

### III.2.1. VERMOGEN IN DE RL KRING

In een zuiver resistieve wisselstroomkring wordt alle energie van de voedingsbron door de weerstanden vrijgegeven in de vorm van warmte.

In een zuiver inductieve wisselstroomkring wordt alle energie van de voedingsbron tijdens één gedeelte van de spanningscyclus opgeslagen in het magnetisch veld van de spoel, om daarna, tijdens het ander deel van de cyclus dezelfde energie terug te sturen naar de bron. Er heeft dus een continue uitwisseling plaats van energie tussen spoel en bron ; er gebeurt bovendien geen enkele omzetting van energie naar warmte.

Indien de kring zowel bestaat uit weerstanden en spoelen, wordt een gedeelte van de energie afwisselend opgeslagen in en vrijgegeven door de spoel, terwijl een ander gedeelte van de energie vrijgegeven wordt in de weerstanden. De hoeveelheid energie die wordt omgezet in warmte hangt af van de relatieve waarden van de weerstand en de inductieve reactantie.

Wanneer de waarde van de weerstand R groter is dan die van de inductieve reactantie  $X_C$  wordt meer energie gedissipeerd in de weerstand dan dat er energie wordt uitgewisseld tussen spoel en bron. Wanneer de waarde van de reactantie  $X_C$  groter is dan die van de weerstand R wordt meer energie uitgewisseld tussen spoel en bron dan dat er energie wordt omgezet in warmte.

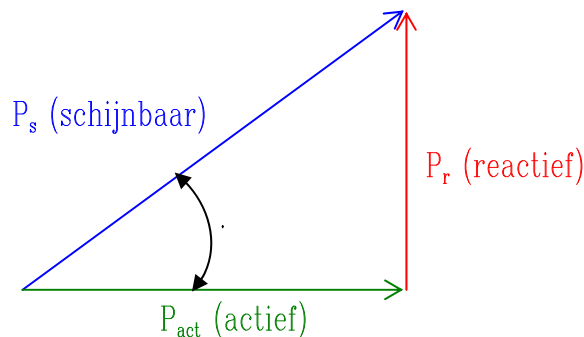
Het vermogen  $P_R$  dat vrijgegeven wordt in een weerstand R onder de vorm van warmte wordt het actief vermogen genoemd. Het vermogen verbonden met een spoel (inductantie) is het reactief vermogen en wordt uitgedrukt door :

$$P_r = I^2 \cdot X_L \text{ avec } X_L = \omega \cdot L$$

#### III.2.1.1 Vermogensdriehoek

De algemene vermogensdriehoek van een RL kring is hieronder voorgesteld.

Het schijnbaar vermogen  $P_s$  is de resultante van het actief vermogen  $P_{act}$  en het reactief vermogen  $P_r$ .



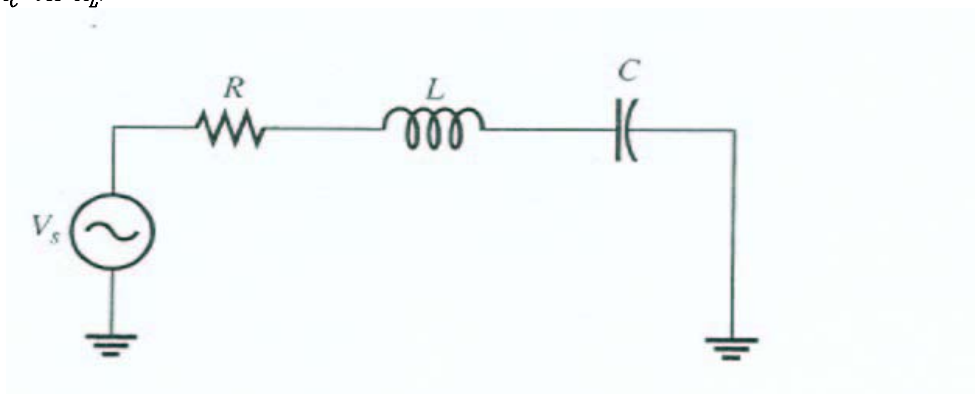
We weten bovendien dat de vermogensfactor  $VF = \cos \varphi$ .

Naarmate de fasehoek tussen de voedingsspanning en de totale stroom groter wordt, verkleint de vermogensfactor  $\cos \varphi$ . Hoe kleiner de vermogensfactor, hoe kleiner het actief vermogen vergeleken met het reactief vermogen.

### III.3. RLC SERIEKRING

#### III.3.1. IMPEDANTIE EN FASEHOEK BIJ EEN RLC KRING

*Een RLC serie kring bevat tegelijkertijd een spoel (inductantie) en een condensator (capaciteit). Aangezien spoelen en condensatoren niet dezelfde invloed hebben op de fasehoek zal de waarde van de totale reactantie  $X_{tot}$  steeds liggen tussen de afzonderlijke waarden  $X_C$  en  $X_L$ .*



Uit wat voorafgaat weten we dat bij een spoel de stroom naaft t.o.v. de opgelegde spanning, terwijl bij een condensator de stroom voorijft op de spanning. De reactanties  $X_L$  en  $X_C$  moeten bij gevolg van elkaar worden afgetrokken.

Indien  $X_L$  gelijk is aan  $X_C$  is de totale reactantie gelijk aan nul: de werking van de spoel wordt dan volledig gecompenseerd door de werking van de condensator waardoor de belasting teruggebracht wordt tot een zuiver resistieve kring.

In het algemeen geldt:

$$X_{tot} = |X_L - X_C|$$

$|X_L - X_C|$  is de absolute waarde van het verschil tussen de twee reactanties. Het resultaat is dus steeds positief, ongeacht de relatieve groottes van  $X_L$  en  $X_C$ .



Voorbeeld: stel  $X_C=7$  ;  $X_L=3$  .  
dan is:

$$\mathbf{X}_{\text{tot}} = |\mathbf{X}_L - \mathbf{X}_C| = |3 - 7| = |-4| = 4 \Omega$$

Als  $X_L > X_C$  is de belasting overwegend inductief. Is daarentegen  $X_C > X_L$ , dan is de belasting overwegend capacitief.

De totale impedantie van de RLC serie kring wordt gegeven door:

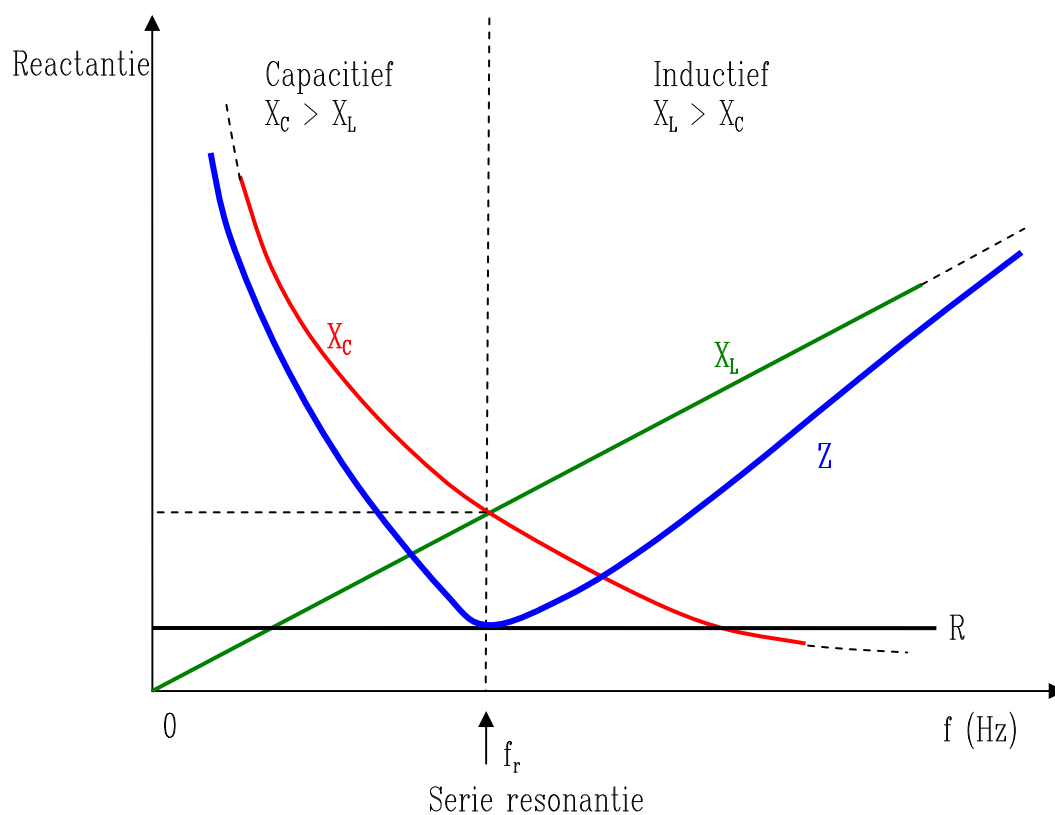
$$\mathbf{Z}_{\text{tot}} = \sqrt{\mathbf{R}^2 + (\mathbf{X}_L - \mathbf{X}_C)^2}$$

$$\text{of } \mathbf{Z}_{\text{tot}} = \sqrt{\mathbf{R}^2 + \mathbf{X}_{\text{tot}}^2} \quad \text{met} \quad \mathbf{X}_{\text{tot}} = |\mathbf{X}_L - \mathbf{X}_C|$$

terwijl de fasehoek  $\varphi$  tussen de voedingsspanning  $V_s$  en de stroom  $I$  bepaald wordt aan de hand van:

$$\varphi = \arctg \frac{\mathbf{X}_{\text{tot}}}{\mathbf{R}}$$

De totale impedantie  $Z_{\text{tot}}$  van een RLC serie kring kan nu worden voorgesteld in functie van de frequentie. Bij lage frequenties is  $X_C$  hoog en  $X_L$  zwak: de belasting is overwegend capacitief. Naarmate de frequentie  $f$  toeneemt, vermindert  $X_C$  en verhoogt  $X_L$ . Bij een bepaalde frequentie  $f_r$  is de capaciteve reactantie  $X_C$  gelijk aan de inductieve reactantie  $X_L$ . Bij deze frequentie heffen beide reactanties elkaar op zodat de belasting zuiver resistief wordt. Bij deze toestand treedt serie resonantie op. We gaan hier later verder op in. Als de frequentie nog meer toeneemt, wordt  $X_L$  alsmear hoger dan  $X_C$  en de kring wordt overwegend inductief.



In een RLC serie kring is de spanning over de condensator  $V_C$  altijd  $180^\circ$  verschoven t.o.v. de spanning over de spoel  $V_L$ . Om die reden moeten de spanningen  $V_C$  en  $V_L$  steeds van elkaar afgetrokken worden zodat de spanning over het geheel van beide componenten altijd kleiner is dan de spanning over elk element apart.

### III.3.1.1 Serieresonantie

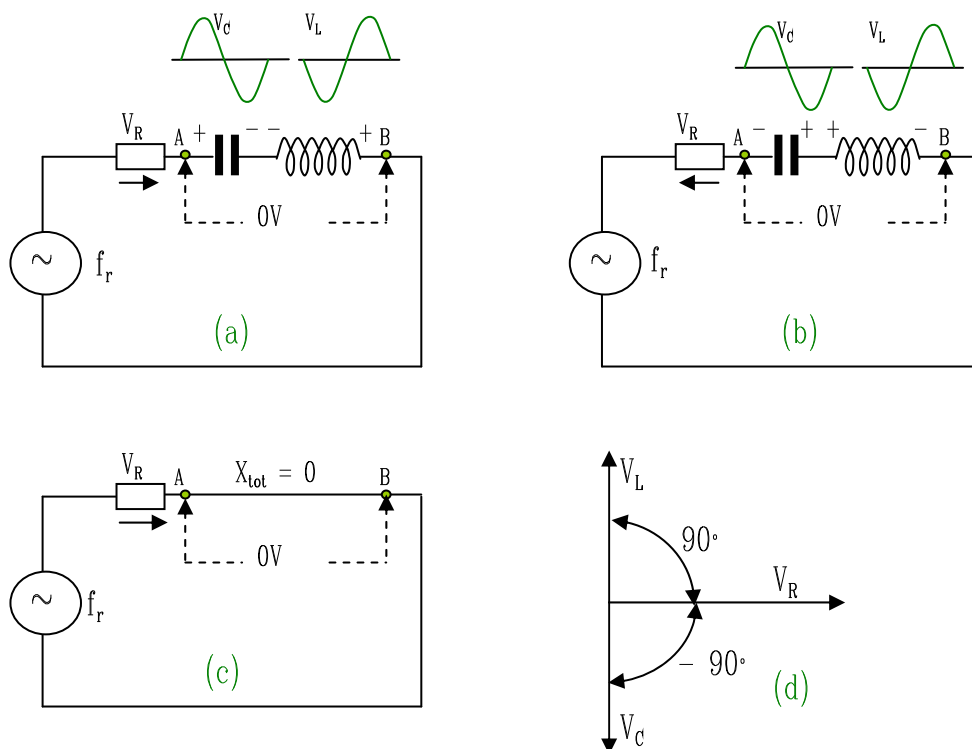
*In een RLC seriekring treedt resonantie op als  $X_L = X_C$ . De frequentie waarbij dit gebeurt wordt de resonantiefrequentie  $f_r$  genoemd.*

Bij resonantie heffen  $X_L$  en  $X_C$  elkaar op.

Bij de **resonantiefrequentie  $f_r$**  is de grootte van de spanning over de condensator gelijk aan de grootte van de spanning over de spoel. De reactanties  $X_C$  en  $X_L$  zijn immers gelijk en aangezien beide componenten in serie geschakeld zijn, is de stroom door beide elementen dezelfde:  $I_C = I_L$ .

De spanningen  $V_L$  en  $V_C$  zijn echter wel  $180^\circ$  ten opzichte van elkaar verschoven (gedefaseerd). Dit betekent dat op een willekeurig tijdstip  $t$ , de polariteiten aan de klemmen van C en van L tegengesteld zijn (zie figuur). De spanning over beide componenten, d.w.z. de spanning tussen A en B, is dus op elk ogenblik gelijk aan nul. Aangezien er geen enkele spanning is tussen A en B maar wel een stroom, is de totale reactantie gelijk aan nul. Er geldt immers  $V_{AB} = X_{tot} \cdot I = (X_C - X_L) \cdot I$

Uit het vectordiagram is eveneens af te leiden dat de spanningen  $V_C$  en  $V_L$  gelijk zijn in grootte maar  $180^\circ$  ten opzichte van elkaar verschoven zijn.



### III.3.1.2 De resonantiefrequentie

Voor een gegeven RLC serie kring, d.w.z. voor gegeven waarden van R, L en C, treedt resonantie op bij één welbepaalde frequentie.

Uit:  $X_L = X_C$

$$\text{volgt: } 2\pi \cdot f_r \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f_r \cdot C} \text{ en dus: } \boxed{f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}}$$

### III.3.1.3 Spanningen en stroom in een RLC serie kring

We gaan nu onderzoeken hoe de stroom en de spanningen in een LRC serie kring variëren in functie van de frequentie.

#### *Onder de resonantiefrequentie*

Bij een frequentie  $f = 0$  Hz (gelijkspanning), werkt de condensator als een open schakelaar en blokkeert alzo de stroom. De bronspanning wordt, na een overgangsverschijnsel wel te verstaan, volledig overgezet over de klemmen van de condensator waardoor de spanning over de weerstand en over de spoel gelijk is aan nul. De reactantie  $X_C$  en dientengevolge de totale impedantie  $Z$  van de kring zijn dan oneindig groot.

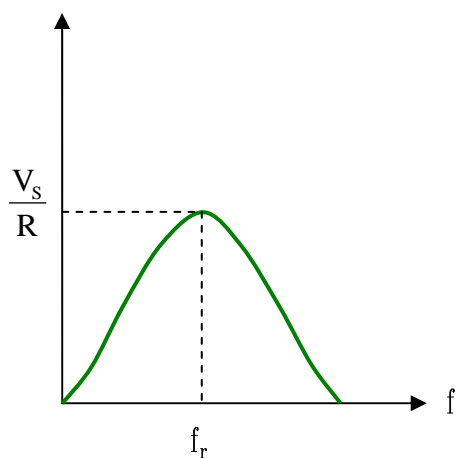
Bij toenemende frequentie wordt  $X_C$  kleiner en  $X_L$  groter, waardoor de totale reactantie  $X_{\text{tot}} = X_C - X_L$  afneemt. De impedantie  $Z$  wordt dan eveneens kleiner waardoor de stroom toeneemt en bijgevolg ook de spanningen  $V_R$ ,  $V_C$  en  $V_L$ . Aangezien de waarden van  $V_C$  en  $V_L$  dichter bij elkaar komen te liggen zal de spanning over het geheel condensator-spoel afnemen.

#### *Bij de resonantiefrequentie*

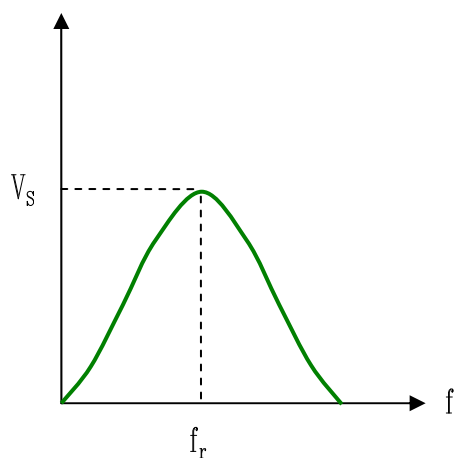
Wanneer de frequentie  $f$  gelijk wordt aan de resonantiefrequentie  $f_r$ , zijn  $V_C$  en  $V_L$  allebei veel hoger dan de bronspanning  $V_S$ . Aangezien  $V_C$  en  $V_L$  gelijk zijn, heffen ze elkaar op. Bij  $f = f_r$  is de totale impedantie  $Z$  minimaal en gelijk aan  $R$  ( $X_{\text{tot}}$  is immers gelijk aan nul). De stroom bereikt een maximale waarde gelijk aan  $V_S / R$  evenals de spanning over de weerstand  $V_R$  die gelijk wordt aan de bronspanning.

#### *Boven de resonantiefrequentie*

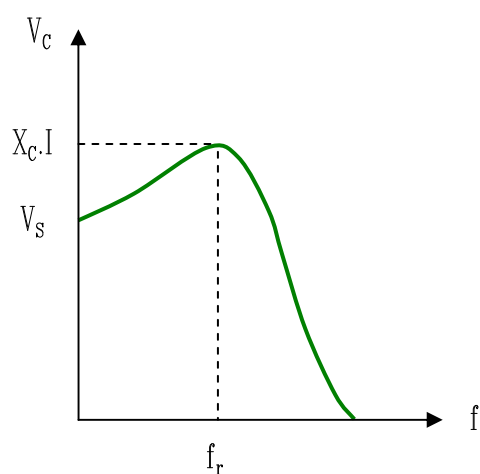
Naarmate de frequentie blijft toenemen, zal  $X_L$  verder stijgen en  $X_C$  verder afnemen, zodat de totale reactantie  $X_{\text{tot}} = X_L - X_C$  en navenant de totale impedantie  $Z$  vergroot. De stroom neemt af evenals de spanningen  $V_R$ ,  $V_C$  en  $V_L$ . Het verschil tussen  $V_C$  en  $V_L$  neemt toe, de spanning over het geheel condensator-spoel dus eveneens. Bij een zeer hoge frequentie worden de stroom en de spanningen  $V_R$  en  $V_C$  oneindig klein. De spanning over de spoel  $V_L$  benadert dan de voedingsspanning  $V_S$ .



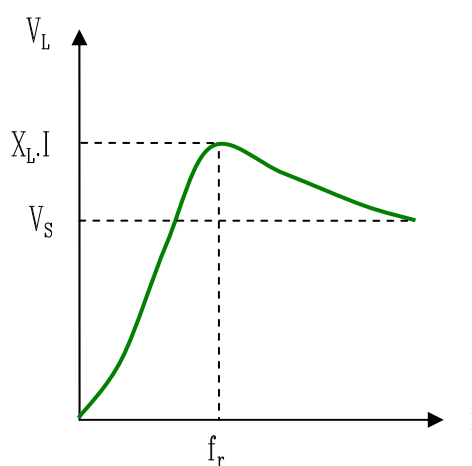
a) stroom



b) spanning over de weerstand



c) spanning over de condensator



d) spanning over de spoel

De figuren illustreren het gedrag van spanning en stroom in functie van de frequentie. Naarmate de frequentie verhoogt, neemt de stroom aanvankelijk toe, bereikt een piek bij de resonantiefrequentie en neemt tenslotte af. De spanning over de klemmen van de weerstand heeft hetzelfde verloop als de stroom.

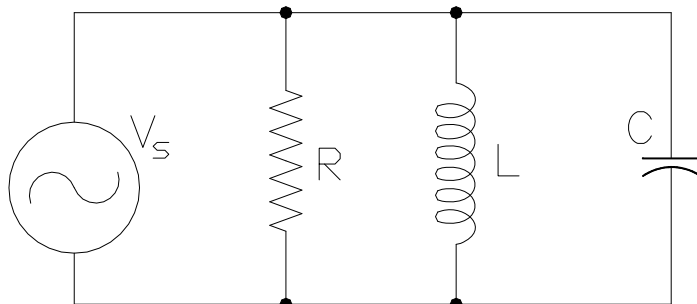
Het verloop van de spanningen  $V_C$  en  $V_L$  is eveneens geïllustreerd.

De spanningen zijn maximaal bij de resonantiefrequentie. Beneden en boven  $f_r$  nemen deze spanningen af. Bij de resonantiefrequentie zijn de spanningen over de klemmen van L en C gelijk in grootte, maar  $180^\circ$  verschoven in de tijd zodat ze elkaar opheffen. De totale spanning over het geheel van L en C is nul zodat de spanning over de weerstand  $V_R$  gelijk is aan de voedingsspanning  $V_s$ ; apart beschouwd kunnen  $V_L$  en  $V_C$  veel hoger zijn dan de bronspanning. We merken nogmaals op dat  $V_L$  en  $V_C$  steeds een tegengestelde polariteit hebben ongeacht de frequentie. De spanning aan de klemmen van het geheel condensator-spoel neemt aanvankelijk af naarmate de frequentie verhoogt om een minimale waarde van nul te bereiken bij de resonantiefrequentie. Boven  $f_r$  neemt ze opnieuw toe.

### III.4. RLC PARALLEL KRING

### III.4.1. IMPEDANTIE EN FASEHOEK

De onderstaande kring is een parallelschakeling van  $R$ ,  $L$  en  $C$ .



De totale impedantie is 
$$Z = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}}$$

De fasehoek van de kring wordt gegeven door de volgende formule:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{R}{X_C} - \frac{R}{X_L}\right)$$

Wanneer de frequentie boven de resonantiefrequentie ligt ( $X_C < X_L$ ), is de impedantie van de kring capacitief omdat de capaciteve stroom hoger is en de totale stroom voorijlt op de bronspanning. Als de frequentie lager is dan de resonantiefrequentie ( $X_L < X_C$ ), is de impedantie van de kring inductief en ijlt de totale stroom na op de bronspanning.

### III.4.2. BETREKKINGEN TUSSEN DE STROMEN

In een  $RLC$  parallel kring is de capaciteve stroom steeds  $180^\circ$  verschoven ten opzichte van de inductieve stroom (de weerstand van de spoel wordt verwaarloosd). Om die reden worden de stromen  $I_C$  en  $I_L$  van elkaar afgetrokken. Op die manier is de totale stroom in de vertakking van het geheel  $L$  en  $C$  altijd kleiner dan de stromen in de afzonderlijke takken. Het ligt voor de hand dat de stroom door de weerstand steeds  $90^\circ$  verschoven is t.o.v. de reactieve stromen.

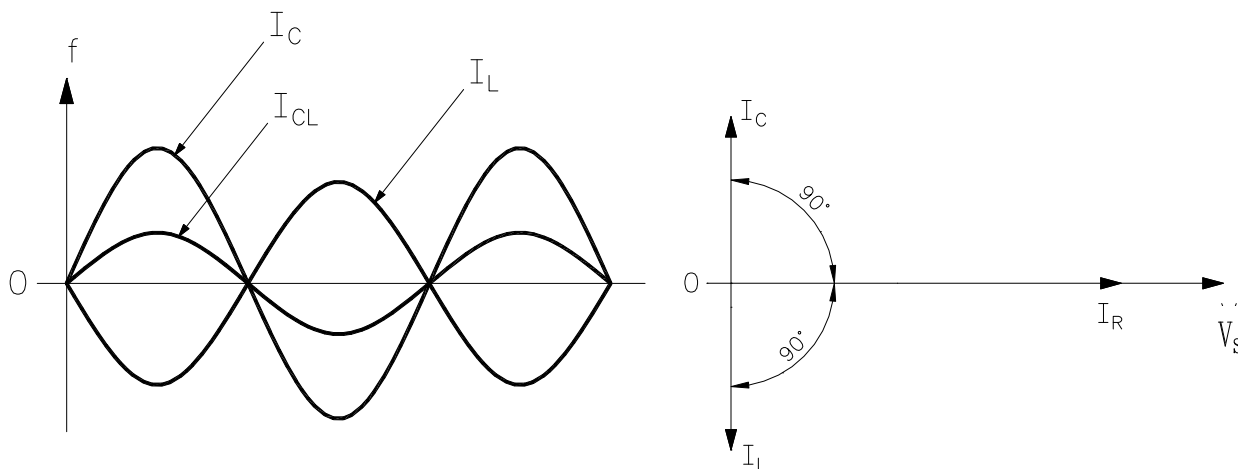
De totale stroom bedraagt:

$$I_{tot} = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

De fasehoek kan ook worden uitgedrukt in functie van de stromen in de vertakkingen:

$$\varphi = \arctg \left( \frac{I_{CL}}{I_R} \right)$$

waarbij  $I_{CL}$  gelijk is aan  $|I_C - I_L|$ , of de totale stroom in de vertakkingen van  $L$  en van  $C$



$I_C$  en  $I_L$  worden van elkaar afgetrokken

Vectordiagram van de stromen voor een RLC parallel kring

### III.5. PARALLELE RESONANTIE

#### III.5.1. VOORWAARDE VOOR EEN IDEALE PARALLELE RESONANTIE.

Idealiter treedt de **parallele resonantie** op bij  $X_L = X_C$ . De frequentie waarbij resonantie optreedt wordt de *resonantiefrequentie* genoemd, net zoals bij het serie model. Wanneer  $X_L$  gelijk is aan  $X_C$  zijn de stromen in de twee takken  $I_C$  en  $I_L$  gelijk en natuurlijk  $180^\circ$  ten opzichte van elkaar verschoven. Zo heffen de twee stromen elkaar op en is de totale stroom gelijk aan nul. In dit ideaal geval wordt de weerstand van de spoelwikkeling verwaarloosd en heeft dus geen waarde.

Omdat de totale stroom gelijk is aan nul, is de impedantie van de LC parallel schakeling oneindig groot ( $\infty$ ). Die ideale resonantievoorwaarden worden in de volgende vergelijkingen uitgedrukt:

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ Z_r &= \infty \end{aligned}$$

#### **III.5.1.1 De frequentie van de parallele resonantie**

Voor een ideale parallelle resonantiekring wordt de frequentie waarbij resonantie optreedt bepaald door dezelfde formule als voor de serie resonantiekringen.

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

### III.5.1.2 Stromen in een parallelle resonantiekring

Het is interessant te onderzoeken hoe de stromen in een LC parallel schakeling variëren in functie van de frequentie: lage frequentie – resonantiefrequentie – hoge frequentie.

Bij zeer lage frequenties is de waarde van  $X_C$  zeer hoog en die van  $X_L$  zeer laag, waardoor nagenoeg alle stroom door de spoel gaat. Naarmate de frequentie verhoogt vermindert de stroom door de spoel en stijgt de stroom door de condensator, waardoor de totale stroom vermindert.

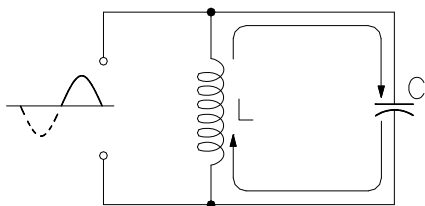
De totale stroom is het verschil tussen de stromen in de twee takken omdat  $I_L$  en  $I_C$  steeds  $180^\circ$  verschoven zijn ten opzichte van elkaar. Gedurende deze tijd stijgt de impedantie aangezien de totale stroom vermindert.

Wanneer de frequentie de resonantiewaarde  $f_r$  bereikt, zijn  $X_C$  en  $X_L$  gelijk. De stromen  $I_C$  en  $I_L$  heffen elkaar op omdat ze dezelfde amplitude en tegengestelde fasen hebben. Op dat ogenblik is de totale stroom nul. Omdat  $I_{tot}$  nul is, is de impedantie  $Z$  gelijk aan oneindig. De ideale LC parallel kring is dus een kring die open staat bij de resonantiefrequentie.

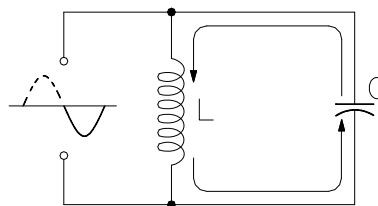
Naarmate de frequentie stijgt boven de resonantiefrequentie, blijft  $X_C$  dalen en  $X_L$  toenemen, terwijl de waarden van de stromen in de parallelle takken weer beginnen af te wijken en  $I_C$  nu groter wordt. Bijgevolg neemt de impedantie af en stijgt de totale stroom. Wanneer de frequentie zeer hoog wordt, wordt de impedantie zeer zwak door de overheersing van een zeer zwakke waarde  $X_C$  in parallel met een zeer hoge waarde  $X_L$ .

### III.5.2. SPERKRING

De LC parallelle resonantiekring wordt dikwijls sperkring genoemd. Deze benaming verwijst naar het feit dat de parallelle resonantiekring de energie afwisselend opslaat in het magnetisch veld van de spoel en in het elektrische veld van de condensator. De opgeslagen energie pendelt bij elke wisseling van de polariteit van de voedingsspanning, heen en weer tussen de condensator en de spoel, terwijl de stroom voortdurend van zin verandert wanneer de spoel haar energie aan de condensator geeft om op te laden en omgekeerd.



a) De spoel geeft energie waardoor de condensator oplaadt



b) De condensator wordt ontladen waardoor de spoel energie opneemt

## HOOFDSTUK IV: DE DIODE

### IV.1. DEFINITIE

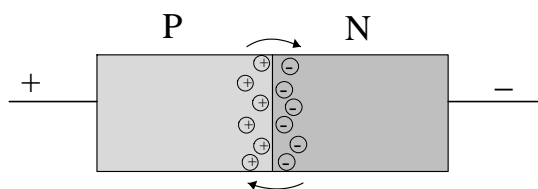
Een diode bestaat uit een kristal van een halfgeleider met 2 afgescheiden verontreinigde zones. Een diode is dus een P-N verbinding .

### IV.2. WERKINGSPRINCIPE

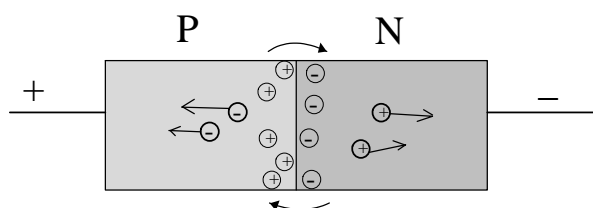
We zullen zien wat er gebeurt als de diode wordt aangesloten op een gelijkspanningsbron. De verbinding tussen de gelijkspanningsbron (batterij) en de diode kan op twee manieren gebeuren.

#### IV.2.1. RECHTSTREEKSE POLARISATIE

De negatieve pool van de bron (-) wordt aangesloten op de N zone, de positieve pool (+) op de P zone. De elektronen van de batterij stromen via de negatieve pool naar de N zone, waardoor die zone negatief wordt ten opzichte van de P zone.



Er ontstaat een grote aantrekkingskracht tussen de elektronen van de N zone en de gaten van de P zone. Deze aantrekkingskracht leidt de elektronen van de N zone doorheen de junctie terwijl de gaten van de P zone in de N zone terechtkomen.



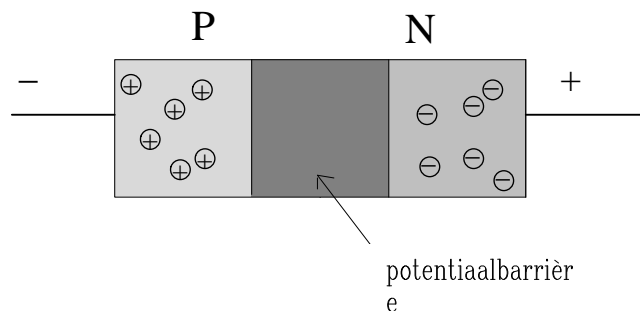
De elektronen die in de P zone aankomen worden opgeslorpt door de positieve pool. We stellen vast dat er een elektrische stroom vloeit door de P-N verbinding.

Als de diode op die manier wordt aangesloten, zegt men dat ze in de doorlaatzin is aangesloten (ook wel de directe zin genoemd).

#### IV.2.2. POLARISATIE IN SPERZIN

De positieve pool van de bron wordt aangesloten op de N zone, de negatieve pool op de P zone. Ten gevolge van de aantrekkingskracht die de positieve pool van de batterij uitoefent op de negatief geladen elektronen van de N zone, worden die elektronen aangetrokken naar de buitenkant van het kristal, in de richting van de aansluiting met de positieve pool.





Hetzelfde gebeurt met de gaten van de P zone: deze verplaatsen zich naar de negatieve pool. De P-N verbinding gedraagt zich nu als een isolator; ze is aangesloten in de sperzin.

### IV.2.3. BESLUIT

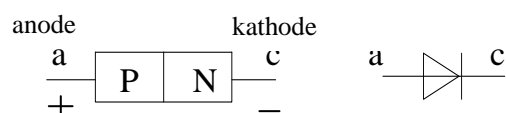
We hebben dus een component die de stroom in de ene zin laat vloeien maar niet in de andere. Die component wordt germaniumdiode of siliciumdiode genoemd.

#### Opmerking :

De diode is een “elektronische klep”. Vooraleer de diode een stroom kan doorlaten, moet een bepaalde spanningsdrempel worden overwonnen.

Deze spanningsdrempel is 0,7 V voor siliciumdioden en 0,2 tot 0,3 V voor germaniumdioden.

#### Voorstelling :

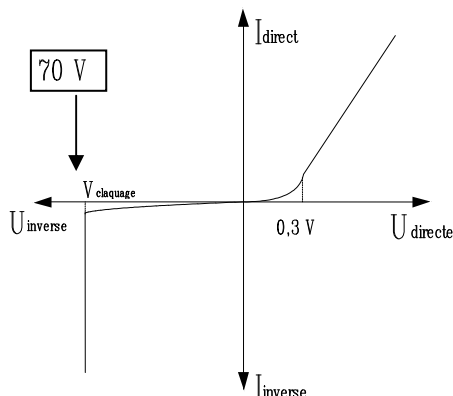


### IV.3. DIODE KARAKTERISTIEK

Zoals reeds opgemerkt, werkt de diode verschillend al naar gelang de manier waarop ze wordt aangesloten op een gelijkspanningsbron.

De diode karakteristiek vertoont twee gedeelten:

- het rechtstreeks gedeelte (polarisatie in doorlaatzin);
- het invers gedeelte (polarisatie in sperzin).



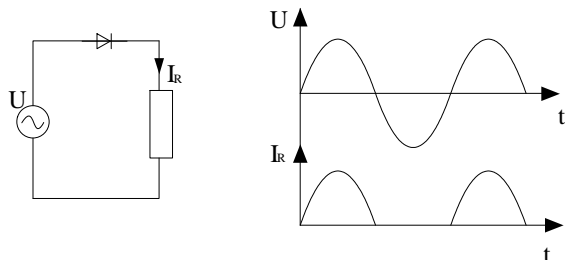
*Opgelet: de schalen links en rechts verschillen*

Bij de polarisatie in doorlaatzin zien we dat, zolang de spanningsdrempel niet overschreden is, de stroom minder snel toeneemt dan de spanning. Van zodra de spanningsdrempel bereikt is, varieert de stroom evenredig met de spanning.

Bij de polarisatie in sperzin zien we dat de stroom aanvankelijk erg weinig varieert ( $I \approx 0$ ) om vervolgens bij een bepaalde spanning, doorslagspanning genoemd, plotseling heel bruusk toe te nemen.

### IV.4. VOORBEELD VAN WERKING

Nemen we bij wijze van voorbeeld een weerstand  $R$  gevoed door een wisselspanningsbron. We bekijken de vorm van de door die weerstand opgenomen stroom, als een diode wordt geschakeld tussen de spanningsbron en de weerstand.



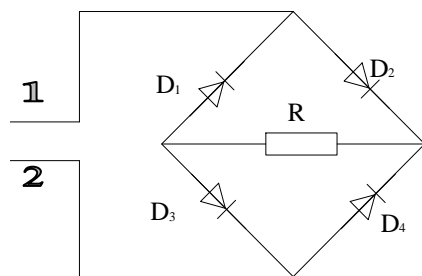
We zien dat in doorlaatzin een stroom vloeit door de weerstand terwijl er in sperzin geen stroom vloeit..

### IV.5. DE BRUGGELIJKRICHTER.

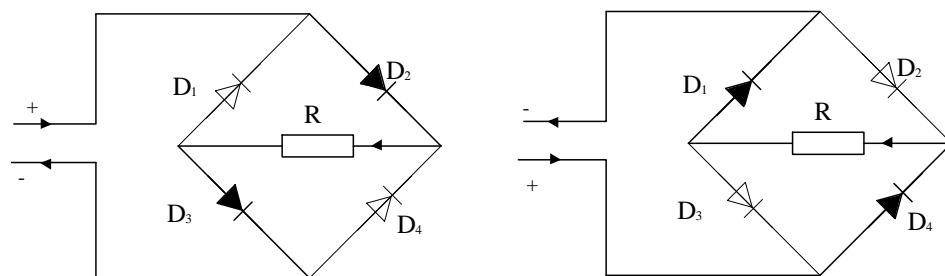
#### IV.5.1. WERKINGSPRINCIPE

De hieronder voorgestelde bruggelijkrichter is een eenfasige gelijkrichter met 4 dioden.

Met de gelijkrichter wordt de stroom gelijkgericht, er wordt nl. voorkomen dat de stroom van richting verandert.

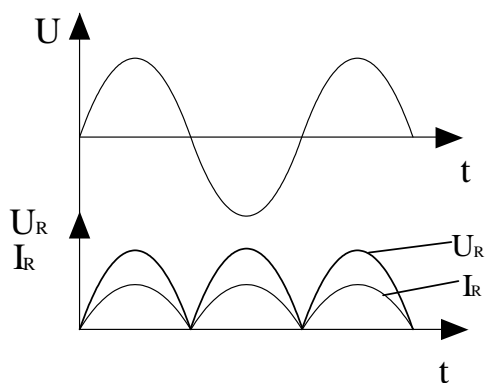


Als klem 1 positief is ten opzichte van klem 2, gaat de stroom door de diode  $D_2$ , de weerstand  $R$  en vervolgens de diode  $D_3$ .



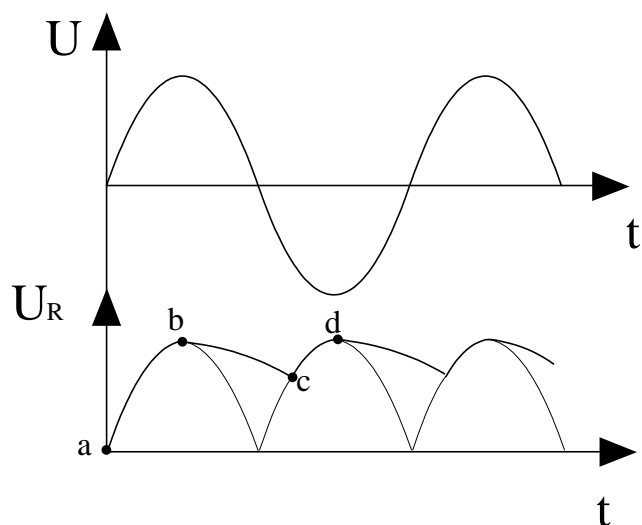
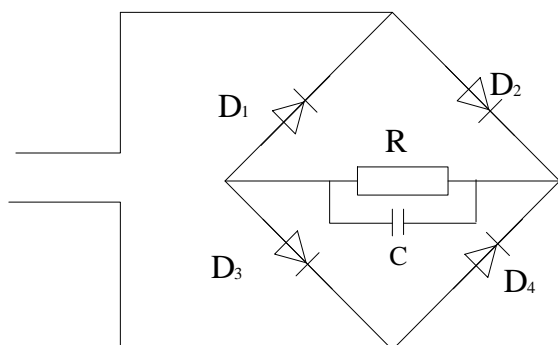
Als klem 2 positief is ten opzichte van klem 1, gaat de stroom door de diode  $D_4$ , de weerstand  $R$  en vervolgens de diode  $D_1$ .

We zien dus dat de stroom in de weerstand steeds dezelfde zin heeft.



### IV.5.2. BRUGGELIJKRICHTER MET CAPACITIEVE FILTERING

In dit geval wordt een condensator parallel met de weerstand geschakeld. Deze condensator moet de spanningsschommelingen aan de klemmen van de weerstand verminderen, om een min of meer constante stroom te verkrijgen.



De condensator wordt opgeladen als de voedingsspanning hoger is dan de spanning over de condensator (a-b en c-d) en wordt ontladen als de voedingsspanning lager is dan de spanning over de condensator (b-c).

## VOORBEELDVRAGEN

### ELEKTRICITEIT – ALGEMENE KENNIS

1. Van een groep parallel geschakelde weerstanden :
  - a) is de stroom door elke weerstand gelijk;
  - b) is de equivalente weerstand gelijk aan de som van alle weerstanden;
  - c) is de spanning over elke weerstand gelijk.
2. Indien men zegt dat de voedingsspanning van een huishoudelijke installatie 230V is, dan is deze waarde:
  - a) de effectieve waarde;
  - b) de ogenblikkelijke waarde;
  - c) de maximale waarde.

### MECHANICA

3. Welke betrekking tussen kracht, massa en versnelling is juist?
  - a)  $F = m \cdot a$
  - b)  $F = \frac{m}{a}$
  - c)  $F = m \cdot a^2$
4. Het aanhaalmoment van een moer bedraagt 10 Nm.  
Hoe groot is de kracht in Newton die een techniekster met de volgende momentsleutel moet uitoefenen?



- a) 2 N
- b) 20 N
- c) 200 N

## ELEKTRICITEIT – STERKSTROOM

5. Een ideale transformator heeft de volgende kenplaatgegevens:

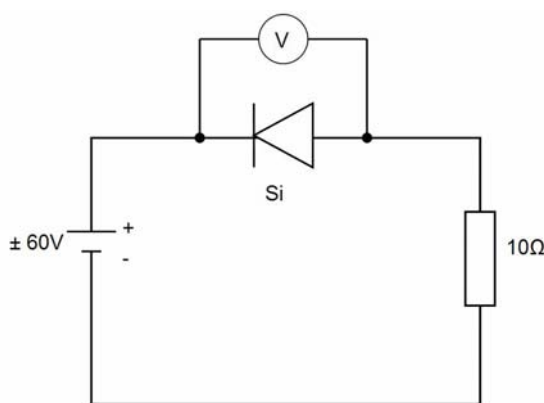
$$U_{\text{prim}} = 220\text{V}$$

$$U_{\text{sec}} = 110\text{V}$$

Bij belasting vloeit aan de primaire zijde  $I_{\text{prim}} = 4\text{A}$ . Welke stroom vloeit er aan de secundaire zijde?

- a) 2A;
- b) 4A;
- c) 8A;

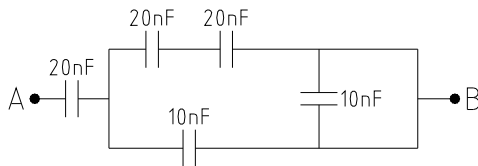
6. Welke waarde zal de voltmeter aangeven indien de spanning gemeten wordt over deze Si-diode?



- a) 0,6V ;
- b) 6V ;
- c) 60V.

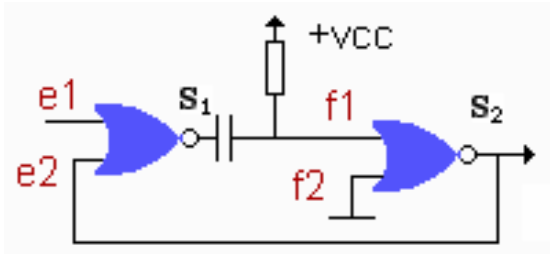
## ELEKTRICITEIT ZWAKSTROOM

7. Wat is de waarde van de vervangcapaciteit tussen de punten A en B ?



- a) 10 nF
- b) 28 nF
- c) 80 nF

8. Onderstaande schakeling is



- a) Een monostabiele flip flop
- b) Een bistabiele flip flop
- c) Een Schmitt trigger