

**VRIJTECHN
ISCHINSTIT
UUTAALST**
CVO 

BASISELECTRONICA

Cursusdeel ter begeleiding van de lessen basiselektronica (oplossen van elektrische netwerken) in het CVO - afdeling 1HE - VTI Aalst.

Wim Vanthournout

Voorwoord

Deze cursus werd opgesteld als handleiding bij de lessen basiselektronica voor de afdeling IHE (elektronica hoger onderwijs) van het Centrum voor Volwassenenonderwijs van het Vrij Technisch Instituut te Aalst.

Doel van de lessenreeks is dat de studenten op het einde van de lessenreeks elementaire elektrische netwerken kunnen oplossen. De nadruk van de lessen ligt dan ook op het oplossen van oefeningen. De theorie werd beperkt tot het strikt noodzakelijke.

De opbouw van de cursus moet toelaten dat ook studenten zonder voorkennis van elektriciteit de lessen kunnen volgen. In het begin zal van deze studenten echter een extra inspanning gevraagd worden om de geziene leerstof stipt bij te houden en in te oefenen. Een minimumkennis van wiskunde is hoe dan ook vereist om de oefeningen op te lossen.

Gezien het beperkte tijdsbestek worden een aantal onderwerpen iets beknopter behandeld. In de handel zijn verschillende handboeken verkrijgbaar die de leerstof meer in detail behandelen. Studenten die zich een uitgebreider handboek wensen aan te schaffen (-dit is echter niet noodzakelijk om de lessen te kunnen volgen -) kunnen bij de leerkracht navragen welke handboeken het meest geschikt zijn.

Inhoud

Deel 1 - Inleiding (afspraken en basisbegrippen).

Deel 2 - Serie- en parallelschakeling van weerstanden.

Deel 3 – Complexe netwerken.

Deel 4 – Schakelverschijnselen (L/C op gelijkspanning).

Deel 5 – R/L/C op wisselspanning.

Deel 6 – Bijlagen

Opmerking: in de hierna volgende bladzijden wordt het vermenigvuldigingsteken aangeduid met “*”

Deel1: basisbegrippen

1. Eenheden en symbolen

We gebruiken de eenheden en symbolen zoals vastgelegd in het SI-stelsel.

Als we ons binnen het SI-stelsel beperken tot de elektrische basisgrootheden die we binnen het kader van deze cursus vaak zullen gebruiken, zijn vooral de hieronder vermelde grootheden van belang.

<i>Grootheid</i>	<i>Symbool</i>	<i>Eenheid</i>
Elektrische spanning	U (of V)	V <i>volt</i>
Elektrische stroom	I	A <i>ampère</i>
Elektrische weerstand	R	Ω <i>ohm</i>
Elektrisch vermogen	P	W <i>watt</i>

2. Enkele basisformules in de elektriciteit

Wet van Ohm

$$U = I * R \quad \text{waaruit:} \quad I = U/R, \quad R = U/I$$

Elektrisch vermogen

$$P = U * I \quad \text{na invullen wet van ohm: } P = R * I^2 \text{ (Joule effect)}$$

Voor de oefeningen zal het belangrijk zijn niet alleen deze basisformules te kennen, maar ook de afgeleide formules te kunnen opstellen en correct toe te passen.

3. Onderdelen en veelvouden

Voor praktisch gebruik zullen de bovenvermelde eenheden (paragraaf 1) vaak te groot of te klein zijn. Volgende onderdelen of veelvouden worden dan ook regelmatig gebruikt.

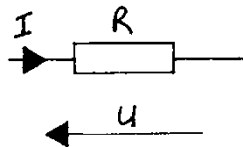
<i>Benaming</i>	<i>Symbool</i>	<i>Waarde</i>	<i>Waarde</i>
terra	T	10^{12}	1 000 000 000 000
giga	G	10^9	1 000 000 000
mega	M	10^6	1 000 000
kilo	k	10^3	1 000
		1	1
milli	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000 001
nano	n	10^{-9}	0,000 000 001
pico	p	10^{-12}	0,000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	0,000 000 000 000 001

4. Symbolen en tekenconventies in schema's

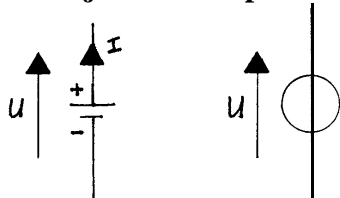
(volgens NBN C 03-617-1)

Spanning en stroom hebben niet alleen een bepaalde grootte. Ook de zin van de spanning en stroom zijn van belang, deze worden voorgesteld door de richting waarnaar de spannings- of stroompijl wijst. Bemerk ook dat men spreekt van een **stroom door-**, en een **spanning(sval) over** een elektrische component.

elektrische weerstand

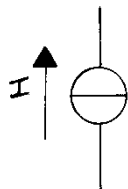


batterij en ideale spanningsbron



Opmerking: de zin van de spannings- en stroompijl zijn aangeduid in de veronderstelling dat de spanningsbron niet beïnvloedt wordt door de aanwezigheid van andere spannings- of stroombronnen in eenzelfde schakeling. De inwendige weerstand van een ideale spanningsbron is nul.

ideale stroombron

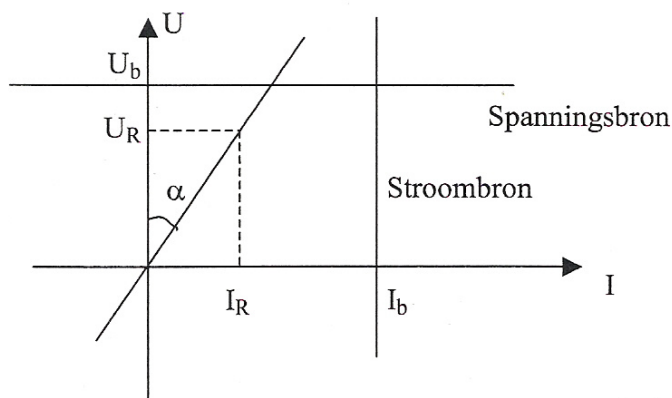


Opmerking: de zin van de spannings- en stroompijl zijn aangeduid in de veronderstelling dat de stroombron niet beïnvloedt wordt door de aanwezigheid van andere spannings- of stroombronnen in eenzelfde schakeling. De inwendige weerstand van een ideale stroombron is oneindig.

In deel 3 wordt verder ingegaan op het begrip inwendige weerstand.

In de volgende oefeningen wordt dit echter voorlopig buiten beschouwing gelaten.

5. Grafische voorstelling



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_R}{I_R} = R$$

6. Oefeningen

1) Bepaal de formule van het vermogen in functie van:

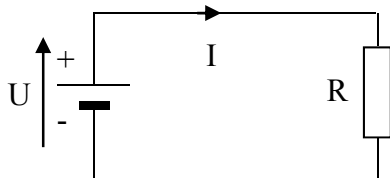
- stroom en weerstand,
- spanning en weerstand.
- Vertrek hierbij van de wet van Ohm

2) Zet om

van	naar
16 μ A	mA
5,7M Ω	k Ω
5,7M Ω	m Ω
0,12V	mV
0,12V	kV
0,12V	μ V

oplossing in de gevraagde eenheid

3)



- a) $U=9V$; $R=4,7k\Omega$ Bereken I en P.
- b) $U=10V$; $I=300\mu A$ Bereken R en P.
- c) $U=3V$; $P=2W$ Bereken R en I.
- d) $R=810\Omega$; $I=6,17mA$ Bereken U en P.
- e) $R=1,5M\Omega$; $P=384\mu W$ Bereken U en I.
- f) $I=10mA$; $P=0,12W$ Bereken R en U.

4)



De bronspanning bedraagt 20V. De weerstand bedraagt 100 Ω . Bereken de stroom. Vervolledig het schema met de passende symbolen (U, I, R) en de spannings- en stroompijl.

Welke waarde heeft de stroom in het geval we de bronspanning ongewijzigd laten, maar de waarde van de weerstand oneindig wordt ?

5)



De stroom door de weerstand bedraagt 2A. De weerstand is 5 Ω . Welke waarde heeft de bronspanning ?

Vervolledig het schema met de passende symbolen (U, I, R) en de spannings- en stroompijl.

6) Een verbruiker is aangesloten op een spanning van 45V, en neemt een stroom op van 30mA. Wat is de weerstand van de verbruiker, en wat is zijn opgenomen vermogen.

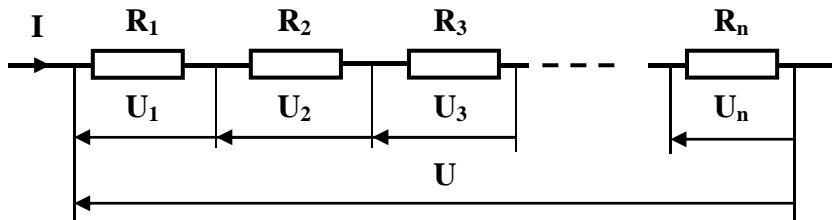
7) Een weerstand heeft als kenmerk 10mW-24V. Hoe groot zal de stroom door de weerstand zijn ? Wat is zijn weerstandswaarde ?

Deel 2: serie- en parallelschakeling van weerstanden

1. Serieschakeling van weerstanden

A) Schema

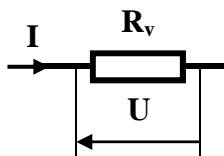
Volgend schema stelt de serieschakeling van n weerstanden voor:
Hierbij staat "n" voor een willekeurig aantal.



Merk op dat de stroom door alle weerstanden gelijk is, de totale spanning U verdeelt zich over de verschillende weerstanden.

B) Vervangschema

Bovenstaande schakeling kan vervangen worden door volgend vervangschema.



Hierbij is $R_v = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
 R_v is de vervangweerstand van de serieschakeling hierboven.
 I en U hebben dezelfde waarde als in bovenstaand schema.

C) Eigenschappen

De stroom door alle weerstanden is gelijk.

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

De som van de deelspanningen over de verschillende weerstanden is gelijk aan de totale spanning U.

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

D) Opmerking

De wet van Ohm blijft toepasbaar op de serieschakeling en op het vervangschema.

$$U = I \cdot R_v$$

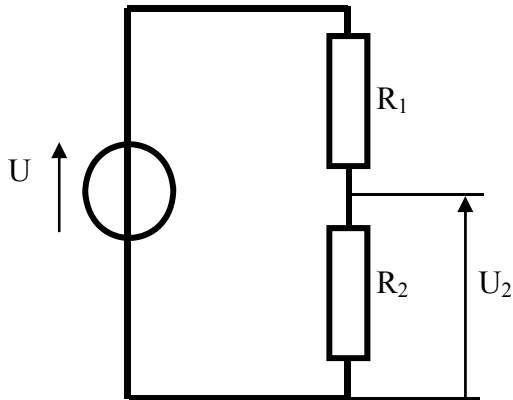
$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$U_n = I_n \cdot R_n$$

E) speciaal geval : de spanningsdeler

Als we een spanning aanleggen aan twee serie geschakelde weerstanden dan kunnen we een deel van deze spanning, bepaald door de verhouding van beide weerstanden, terugvinden over één van de weerstanden.



$$U_2 = R_2 * I$$

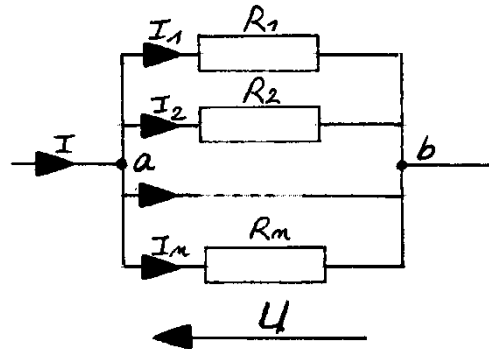
$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * U$$

De deelspanning verhoudt zich tot de totale spanning als de deelweerstand tot de totale weerstand

2. Parallelschakeling van weerstanden

A) Schema

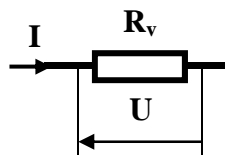
Volgend schema stelt de parallelschakeling van n weerstanden voor:



Merk op dat de spanning over alle weerstanden gelijk is, de totale stroom I verdeelt zich over de verschillende weerstanden.

B) Vervangschema

Bovenstaande schakeling kan vervangen worden door volgend vervangschema.



Hierbij is $1/R_v = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$
 R_v is de vervangweerstand van bovenstaande parallelschakeling.
 I en U hebben dezelfde waarde als in bovenstaand schema.

C) Eigenschappen

De totale stroom I verdeelt zich door alle weerstanden.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

De spanning over de verschillende weerstanden is gelijk.

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

D) Opmerking

De wet van Ohm blijft natuurlijk toepasbaar op de parallelschakeling en op het vervangschema.

$$U = I \cdot R_v$$

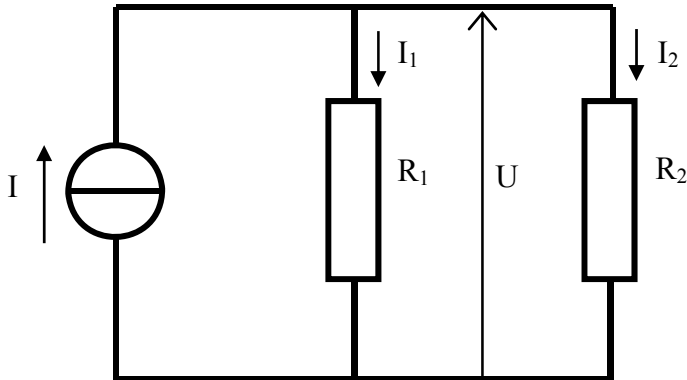
$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$U_n = I_n \cdot R_n$$

E) speciaal geval : de stroomdeler

Als we een stroom sturen door twee parallel geschakelde weerstanden (takken) dan zullen de stromen zich verdelen in een relatie tot weerstandswaarden.



$$U = R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad I = I_1 + I_2$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * I$$

De deelstroom verhoudt zich tot de totale stroom als de andere weerstand gedeeld door de totale weerstand

3. Gemengde schakeling

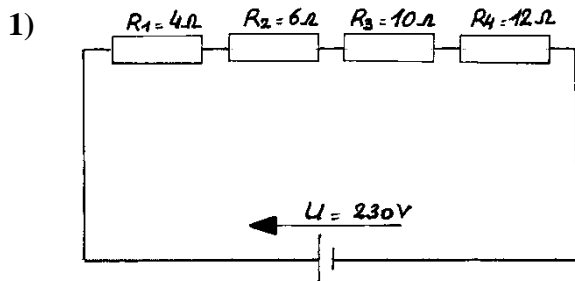
Binnen eenzelfde schema kunnen zowel een serieschakeling als parallelschakeling van weerstanden voorkomen, en dit in de meest verschillende combinaties. Dergelijke combinaties van serie- en parallelschakeling noemen we hier een gemengde schakeling van weerstanden.

Voor berekeningen komt het er vaak op aan deze schakeling eerst op te splitsen in kleinere delen waarop we de eigenschappen van serie- en parallelschakeling gemakkelijk kunnen toepassen. Stapsgewijs kan zo gans de schakeling berekend worden.

Tijdens het oplossen van de oefeningen zal dit verduidelijkt worden.

4. Oefeningen

a. Serieschakeling



Bereken de stroom door de weerstanden en de spanning over de weerstanden. Controleer je resultaat. Duid de spannings- en stroompijl(en) aan.

2) Drie weerstanden van $8\text{M}\Omega$ zijn in serie geschakeld over een spanningsbron van 120V . Hoe groot is de stroom door elke weerstand, hoe groot is de spanning over elke weerstand?

3) Een verbruiker met een weerstand van 120Ω is in serie geschakeld met een voorschakelweerstand van 30Ω . Over de verbruiker meten we een spanning van 48V . Bereken stroomsterkte, bronspanning en vervangweerstand. Teken zowel het volledige schema als het vervangschema. Breng alle symbolen duidelijk aan.

4) Een gloeilampje van 5W is ontworpen om op 12V te werken. Je beschikt echter enkel over een niet regelbare spanningsbron van 30V . Welke voorschakelweerstand heb je nodig om in serie met de lamp te schakelen. Wat zal de stroom door de lamp zijn?

5) Ontwerp een kerstverlichting met een aantal identieke gloeilampjes in serie geschakeld. Elk lampje wordt gekenmerkt door volgende gegevens: $5\text{V}-4\text{W}$. Het snoer moet worden aangesloten op een spanning van 230V .

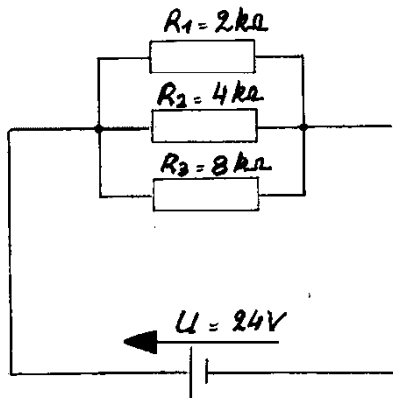
Hoeveel lampjes heb je nodig? Wat is het opgenomen vermogen van het snoer? Wat is het grote nadeel van dit soort kerstverlichting?

6) In een serieschakeling van drie weerstanden $R_1=7\text{k}\Omega$, $R_2=14\text{k}\Omega$, $R_3=21\text{k}\Omega$ vloeit een stroom van 4mA . Teken het schema. Bereken alle deelspanningen en de bronspanning. Controleer je resultaat. Duid je resultaten aan op de tekening. Hoe groot is het opgenomen vermogen van deze schakeling. Teken ook het vervangschema.

7) Welke voorschakelweerstand heb je nodig om een verbruiker ($12\text{V}-20\text{W}$) te kunnen aansluiten op een bronspanning van 230V . Teken het overeenstemmende schema met voorschakelweerstand.

b. Parallelschakeling

7)



Bereken de stroom door de weerstanden en de spanning over de weerstanden.
 Controleer je resultaat.
 Duid de spannings- en stroompijl(en) aan.

8) Vier weerstanden ($R_1=180\Omega$, $R_2=0,12k\Omega$, $R_3=60\Omega$, $R_4=2 \cdot 10^5 m\Omega$) zijn parallel geschakeld. Door R_1 vloeit een stroom van 200mA. Teken het schema. Bereken alle deelstromen, de totale stroom (op twee manieren) en de bronspanning. Teken ook het vervangschema.

9) Twee weerstanden zijn parallel geschakeld op een spanning van 24V. De totale opgenomen stroom bedraagt 250mA. $R_1=0,8k\Omega$. Hoe groot is de parallel geschakelde weerstand ?

10) Drie weerstanden van 90Ω zijn parallel geschakeld. De bronspanning bedraagt 27V. Bereken de totaal opgenomen stroom en de deelstromen, alsook het opgenomen vermogen. Bereken de vervangweerstand en teken het vervangschema.

11) Twee weerstanden van respectievelijk 500Ω en 275Ω zijn parallel geschakeld. Bij een bronspanning van 110V wil men een totaal opgenomen stroom van 1A bereiken. Hoe groot moet een derde parallel geschakelde weerstand zijn om dit te bereiken ? Controleer je resultaat.

12) Drie weerstanden zijn in parallel geschakeld. De eerste weerstand $R_1= 8M\Omega$. In de tweede weerstand R_2 wordt een vermogen van 36mW ontwikkeld. In de derde weerstand R_3 vloeit een stroom van $50\mu A$.

De bronspanning bedraagt 12V. Bereken de waarde van elke weerstand, de totale stroom door de schakeling en het totaal ontwikkeld vermogen.

Enkele handige formules:

Bij een **serieschakeling** van een aantal weerstanden kan de formule van de **spanningsdeler** toegepast worden.

$$U_x = U \cdot R_x / R$$

Hierbij is

U_x = de spanning over de x-ste weerstand,

R_x = de x-ste weerstand in een rij van verschillende weerstanden,

U = de totale spanning over de serieschakeling,

R = de totale weerstand (of de vervangweerstand) van de serieschakeling.

Bij een **parallelschakeling** van twee weerstanden kan de formule van de **stroomdeler** toegepast worden.

$$I_1 = I * R_2 / (R_1 + R_2) \quad \text{of} \quad I_2 = I * R_1 / (R_1 + R_2)$$

Hierbij is

I_1 = de stroom door de eerste weerstand R_1 ,

I_2 = de stroom door de tweede weerstand R_2 ,

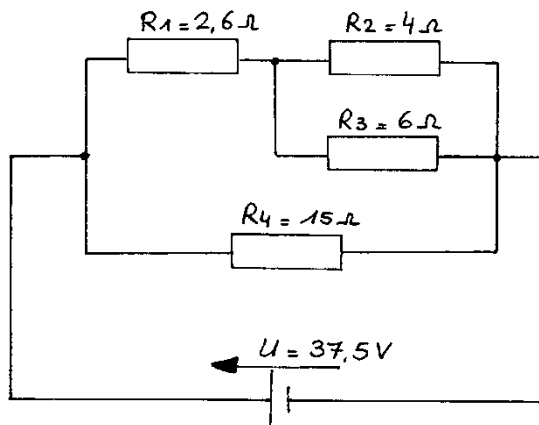
I = de totale stroom door de parallelschakeling,

Volgende formule laat je toe snel de vervangweerstand van twee parallel geschakelde weerstanden te berekenen:

$$R_v = R_1 * R_2 / (R_1 + R_2)$$

c. gemengde schakeling

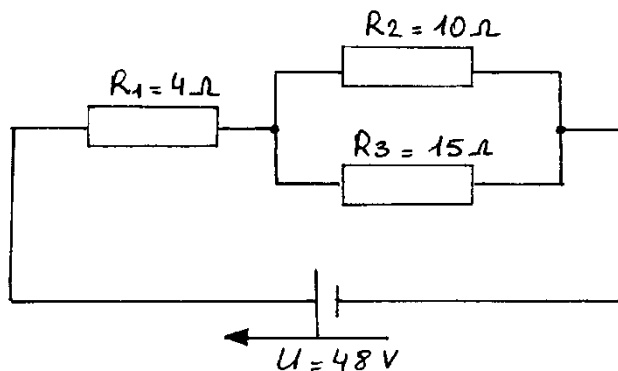
13)



Bereken:

- de vervangingsweerstand,
 - stroom door elke weerstand,
 - de spanning over elke weerstand.
- Controleer de bekomen resultaten.
Duid de spannings- en stroompijlen aan op de tekening.
Teken het volledige vervangschema.

14)



Bereken:

- de vervangingsweerstand,
 - stroom door elke weerstand,
 - de spanning over elke weerstand.
- Controleer de bekomen resultaten.
Duid de spannings- en stroompijlen aan op de tekening.

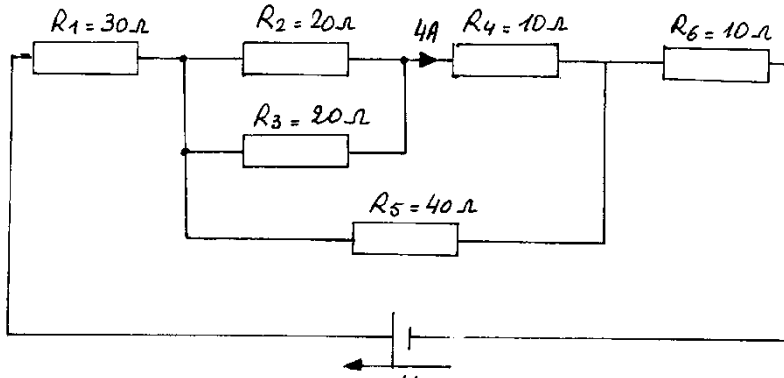
15) Je hebt zes identieke lampen met als kenmerk 100W-220V. Om naar behoren te werken heeft elke lamp dus een spanning van 220V nodig.

Bereken de totaal opgenomen stroom en de bronspanning als je de verbruikers op volgende wijze schakelt:

- ofwel 3 parallele takken van 2 lampen in serie,
- ofwel 2 parallele takken van 3 lampen in serie.

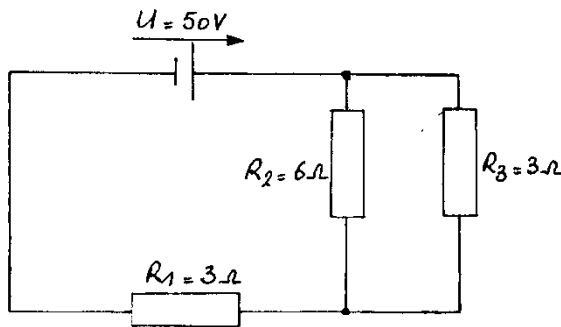
Hoe groot is het opgenomen vermogen in beide gevallen ?

16)



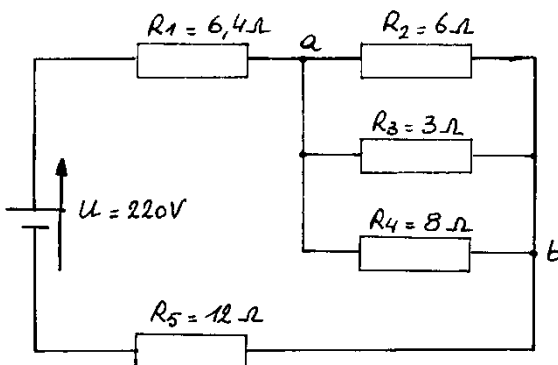
Bereken de bronspanning U .

17)



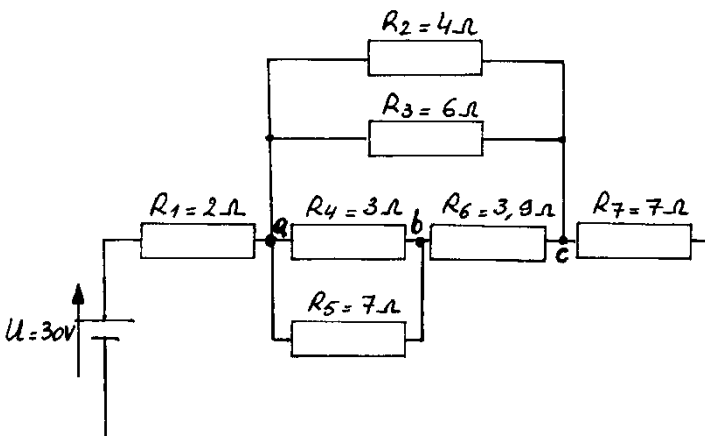
Bereken:
 -stroom door elke weerstand,
 -de spanning over elke weerstand.
 Controleer de bekomen resultaten.
 Duid de spannings- en stroompijlen aan op de tekening.

18)



Bereken de spanning U_{ab} en de stroom door elke weerstand.

19)



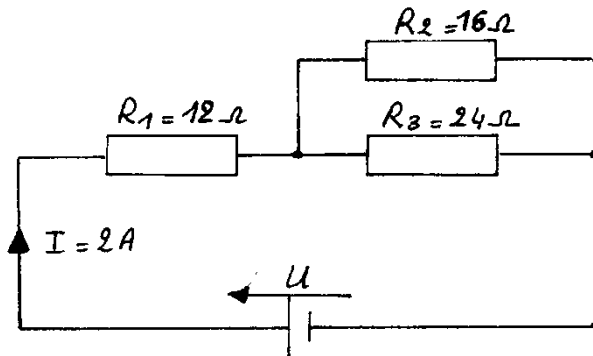
Bereken de stroom door elke weerstand en de spanningen U_{ab} , U_{ac} , U_{bc} .
 Duid de spannings- en stroompijlen aan op de tekening.
 Teken het volledige vervangschema.

20) Volgende verbruikers worden (parallel) op de netspanning (230V) aangesloten:

- een etalageverlichting met 23 identieke lampjes (2,5W-10V) in serie,
- een groep van 15 identieke verbruikers van 40W-230V in parallel,
- een verwarmingstoestel van 1000W-230V.

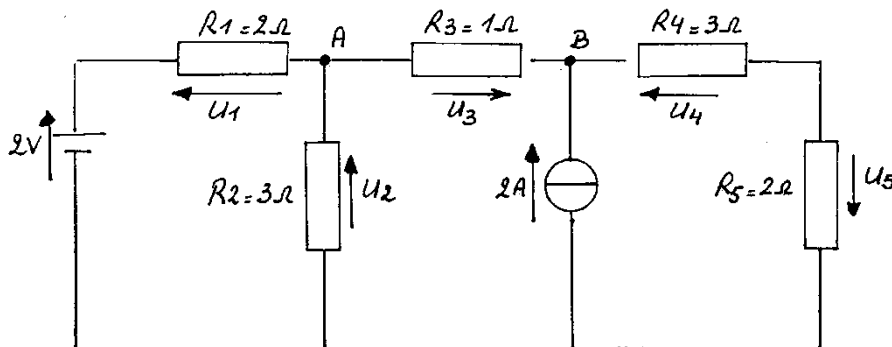
Bereken de totaal opgenomen stroom en het totaal opgenomen vermogen. Berekenen de vervangweerstand en teken het vervangschema.

21)



Bereken de bronspanning en de stroom door elke weerstand.

22)



Bereken de stroom door elke weerstand. Controleer de stroomzin in punt A en B.

$$U_1 = -2/3V$$

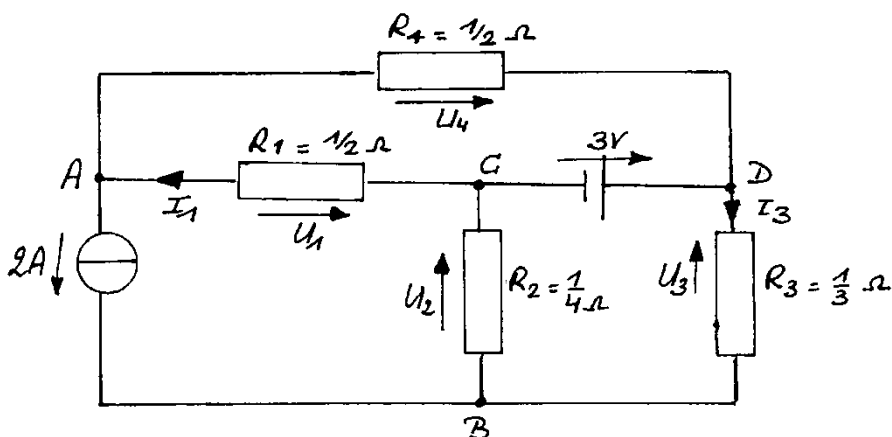
$$U_2 = 8/3V$$

$$U_3 = 11/9V$$

$$U_4 = 7/3V$$

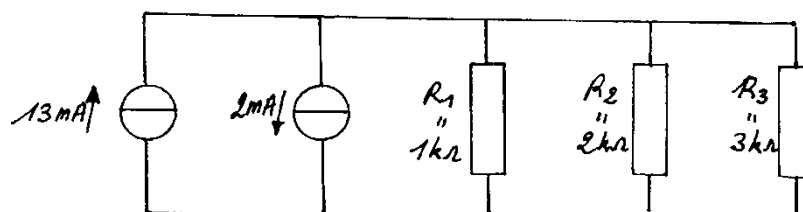
$$U_5 = -14/9V$$

23)



Bereken I_2 en I_4 en de spanning over elke weerstand. Controleer de stroomzin in punt C en D. Duid bij elke weerstand de positieve spannings- en stroompijl aan.

24)



Bereken I_1 , I_2 en I_3 . Duid de positieve stroomzin van deze stromen aan op het schema.

Deel 3: complexe netwerken

Sommige netwerken kunnen niet opgelost worden door enkel gebruik te maken van de eigenschappen van serie- en parallelschakeling zoals we tot nu deden.

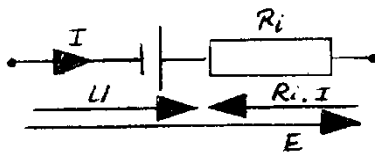
Er bestaan verschillende methodes om in dergelijke netwerken toch de gezochte elementen te kunnen berekenen. Wij zullen ons hier beperken tot drie veel gebruikte principes:

- de wetten van Kirchhoff,
- de superpositiemethode,
- het theorema van Thévenin.

Ideale spanningsbron tegenover niet-ideale spanningsbron.

Een **niet-ideale spanningsbron** levert een klemspanning U , die verandert naargelang de stroom die we aan de bron onttrekken.

Een niet ideale spanningsbron stellen we schematisch voor door een weerstand in serie met een ideale spanningsbron te plaatsen.



R_i = inwendige weerstand [Ω]

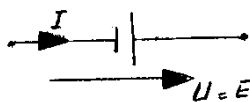
E = e.m.k. [V]

U = klemspanning [V]

$U = E - R_i \cdot I$

Een **ideale spanningsbron** levert een klemspanning U die steeds constant is, ongeacht de stroom die we aan de bron onttrekken.

Een ideale spanningsbron bestaat in de praktijk niet.



$R_i = 0$ [Ω]

$U = E$ [V]

1. De wetten van Kirchhoff

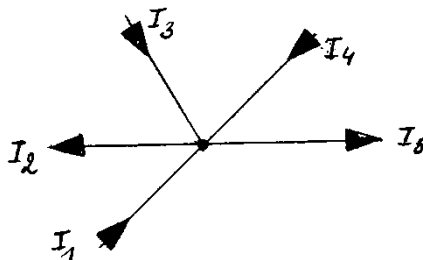
a. Stroomwet

In elk willekeurig **knooppunt** van een elektrisch netwerk geldt:

de som van de toekomstige stromen is gelijk aan de som van de vertrekkende stromen.

voorbeeld:

$$I_1 + I_3 + I_4 = I_2 + I_5$$



Hieruit kan je ook afleiden:

-in een knooppunt kan zich geen elektrische stroom opstapelen,

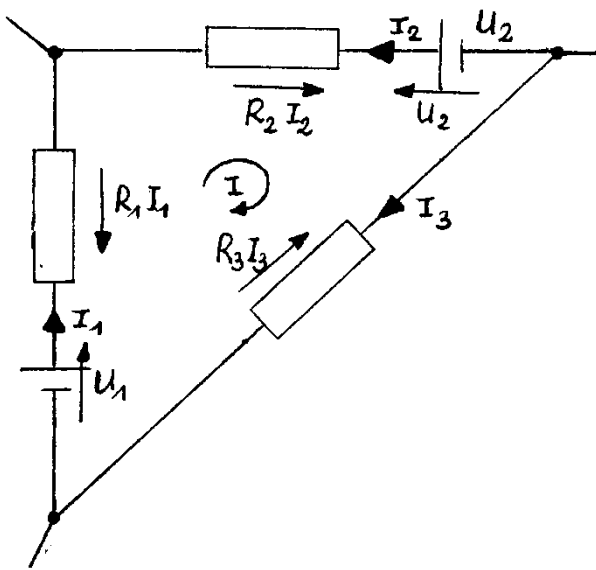
-de algebraïsche som van alle stromen in een knooppunt is gelijk aan nul, mits de toekomende stromen positief gerekend worden en de vertrekkende stromen negatief gerekend worden.
(In ons voorbeeld: $I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 = 0$)

b. Spanningswet

In elke **gesloten lus** van een elektrisch netwerk geldt dat:
de algebraïsche som van de spanningen is gelijk aan nul.

voorbeeld:

$$U_1 - R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 - U_2 - R_3 \cdot I_3 = 0$$



In het voorbeeld hiernaast zijn de spanningsbronnen als ideale spanningsbron beschouwd ($R_i = 0$). Indien de spanningsbronnen niet ideaal zijn en dus een inwendige weerstand hebben verschillend van nul, dan moeten we deze in rekening brengen. (Zie oefeningen).

Enkele praktische richtlijnen voor de oefeningen:

- kies een positieve doorloopzin in de gesloten lus,
- duid in elke tak de (vermoedelijke) stroomzin aan,
- duid in elke tak de spanningspijlen aan,
- doorloop nu de lus en pas de spanningswet van Kirchoff toe rekening houdend met de gekozen positieve doorloopzin.

In de praktijk zal je vaak na toepassing van zowel stroomwet- als spanningswet van Kirchoff een stelsel van vergelijkingen moeten oplossen om de gezochte resultaten te bekomen. Let op: je moet steeds evenveel vergelijkingen als onbekenden hebben om het stelsel te kunnen oplossen. Nieuwe vergelijkingen zijn slechts zinvol als ze niet identiek zijn aan reeds gevonden vergelijkingen, en een nieuw element aanbrengen.

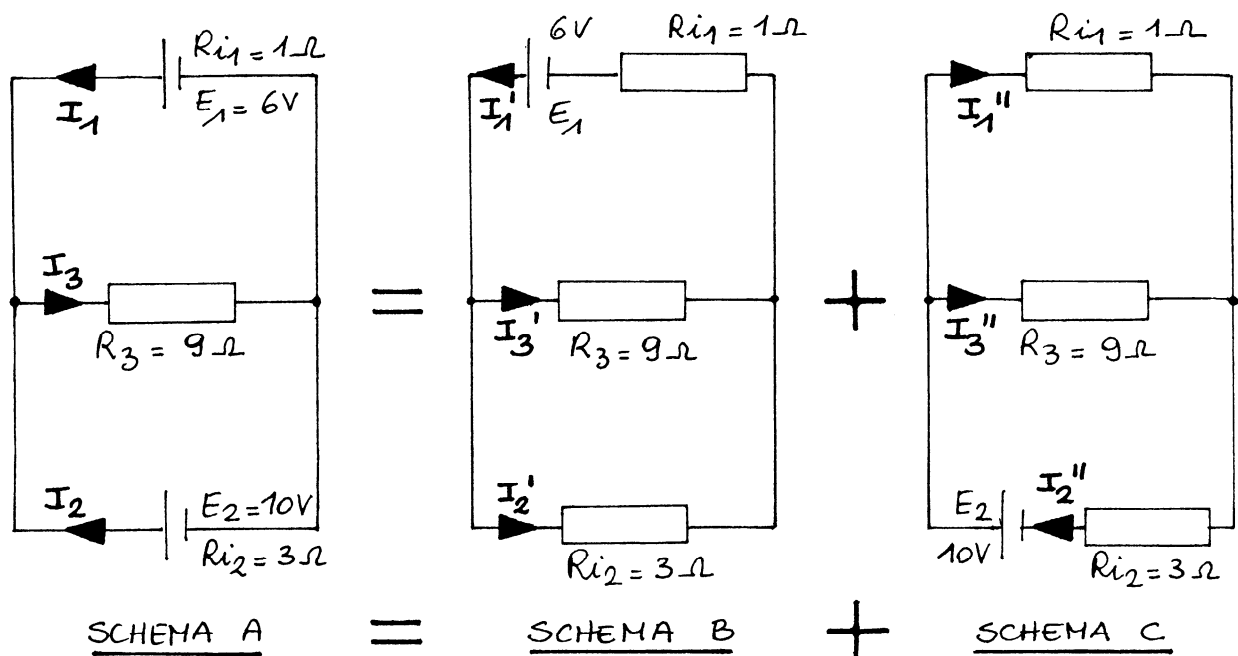
2. Superpositiemethode

De superpositiemethode kan een oplossing bieden in netwerken met meerdere spannings- en of stroombronnen. De bedoeling is elke bron apart te bekijken en daarna de bekomen resultaten te superponeren.

Het principe is als volgt:

- duid in het oorspronkelijk schema de (vermoedelijke) stroomzinnen aan,
- laat elke bron apart werken,
- bereken alle gezochte stromen (in de verschillende deelschema's met één bron),
- keer terug naar het oorspronkelijk schema en bereken de stromen als algebraïsche som van de stromen uit de deelschema's. De aangeduide stroomzin in het oorspronkelijk schema wordt hierbij als positief aanzien.

voorbeeld: oefening 7 blz. 16



Oplossen van schema B geeft volgend resultaat:

$$I_1' = 1,846 \text{ A}$$

$$I_2' = 1,384 \text{ A}$$

$$I_3' = 0,461 \text{ A}$$

Oplossen van schema C geeft volgend resultaat:

$$I_1'' = 2,307 \text{ A}$$

$$I_2'' = 2,564 \text{ A}$$

$$I_3'' = 0,256 \text{ A}$$

De oplossing van schema A bekom je door de resultaten van schema B en C samen te voegen:

$$I_1 = +I_1' - I_1'' = +1,846 \text{ A} - 2,307 \text{ A} = -0,461 \text{ A}$$

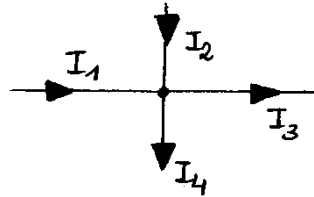
$$I_2 = -I_2' + I_2'' = -1,384 \text{ A} + 2,564 \text{ A} = 1,18 \text{ A}$$

$$I_3 = +I_3' + I_3'' = 0,461 \text{ A} + 0,256 \text{ A} = 0,717 \text{ A}$$

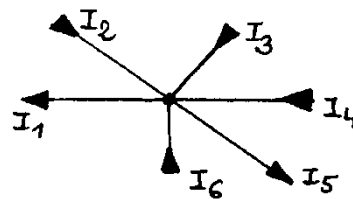
3. Oefeningen (op wetten van Kirchhoff en superpositie)

Oefeningen 1 t.e.m. 3 op te lossen met behulp van stroomwet van Kirchhoff.

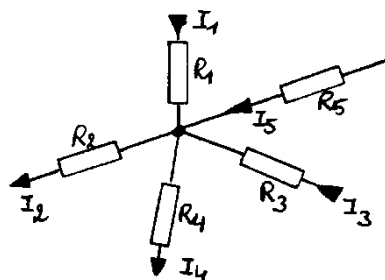
- 1) Bepaal I_1 als
 $I_2 = 2\text{A}$
 $I_3 = 3\text{A}$
 $I_4 = 4\text{A}$



- 2) Bepaal I_3 als
 $I_1 = 2\text{A}$
 $I_2 = 1\text{A}$
 $I_4 = 4\text{A}$
 $I_5 = 1\text{A}$
 $I_6 = 15\text{A}$

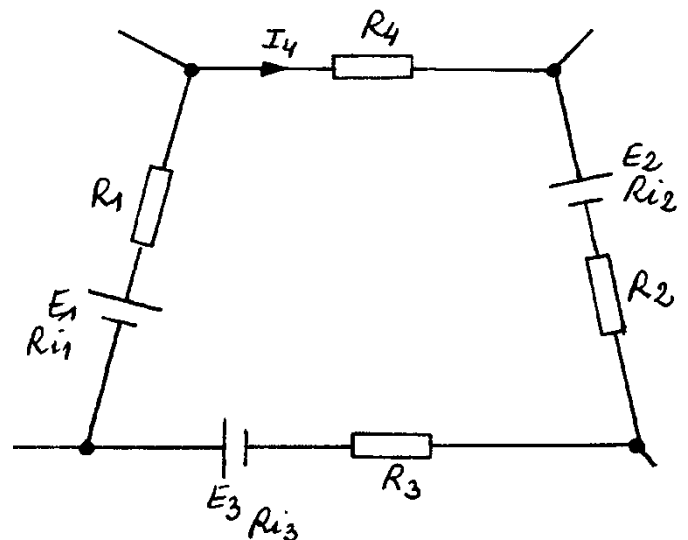


- 3) Bepaal I_4 als
 $I_1 = 2\text{A}$
 $I_2 = 3\text{A}$
 $I_3 = 7\text{A}$
 $I_5 = 4\text{A}$
 Bereken alle spanningen,
 als alle weerstanden 4Ω zijn.



Oefeningen 4 t.e.m. 9 op te lossen met behulp van wetten van Kirchhoff.

- 4) Bereken I_2 als
 alle inwendige weerstanden gelijk zijn aan 2Ω ,
 en als
 $R_1 = 1\Omega$
 $R_2 = 2\Omega$
 $R_3 = 3\Omega$
 $R_4 = 4\Omega$
 $E_1 = 12\text{V}$
 $E_2 = 20\text{V}$
 $E_3 = 24\text{V}$
 $I_1 = 2\text{A}$
 $I_3 = 1\text{A}$
 $I_4 = 4\text{A}$



5) Bereken de stroom in elke tak en de spanning over elke weerstand als

$$E_1 = 6V$$

$$E_2 = 12V$$

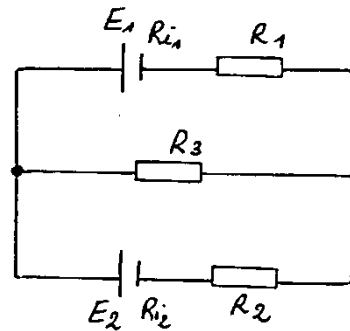
$$R_{i1} = 0,5\Omega$$

$$R_{i2} = 1\Omega$$

$$R_1 = 2\Omega$$

$$R_2 = 3\Omega$$

$$R_3 = 10\Omega$$



6) Bereken alle stromen als

$$R_{i1} = 1\Omega$$

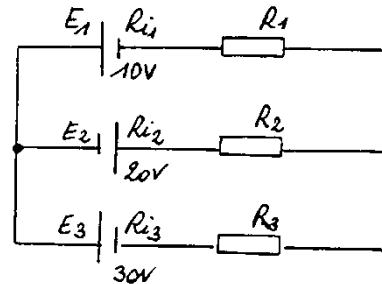
$$R_{i2} = 1\Omega$$

$$R_{i3} = 2\Omega$$

$$R_1 = 4\Omega$$

$$R_2 = 8\Omega$$

$$R_3 = 10\Omega$$



7) Bereken alle stromen alsook de spanning over de weerstanden als

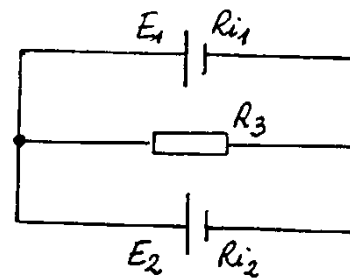
$$E_1 = 6V$$

$$E_2 = 10V$$

$$R_{i1} = 1\Omega$$

$$R_{i2} = 3\Omega$$

$$R_3 = 9\Omega$$



8) Bereken alle stromen als

$$E_1 = 60V$$

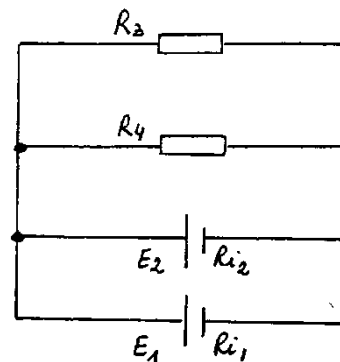
$$E_2 = 40V$$

$$R_{i1} = 3\Omega$$

$$R_{i2} = 2\Omega$$

$$R_3 = 10\Omega$$

$$R_4 = 15\Omega$$



9) Bereken de stroom door elke weerstand.

De bronspanning is 48V, en de bron heeft een inwendige weerstand van 4kΩ.

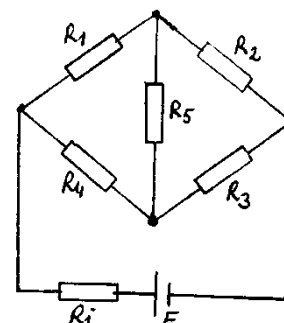
$$R_1 = 12k\Omega$$

$$R_2 = 24k\Omega$$

$$R_3 = 8k\Omega$$

$$R_4 = 4k\Omega$$

$$R_5 = 6k\Omega$$



Oefeningen 10 t.e.m. 14 op te lossen met superpositie.

10) Los oef. 7 op met superpositie. Vergelijk je resultaten.

11) Los oef. 8 op met superpositie. Vergelijk je resultaten.

12) Bereken de stroom door elke weerstand

$$I_a = 100\text{A}$$

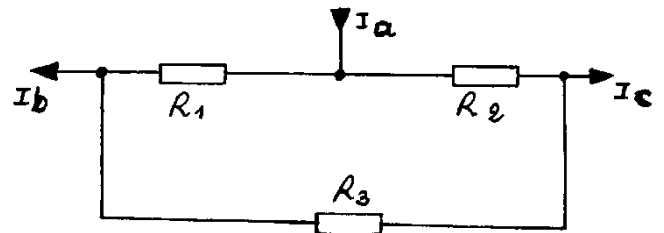
$$I_b = 40\text{A}$$

$$I_c = 60\text{A}$$

$$R_1 = 10\Omega$$

$$R_2 = 4\Omega$$

$$R_3 = 6\Omega$$



13) Bereken alle spanningen en stromen.

$$I_a = 90\text{A}$$

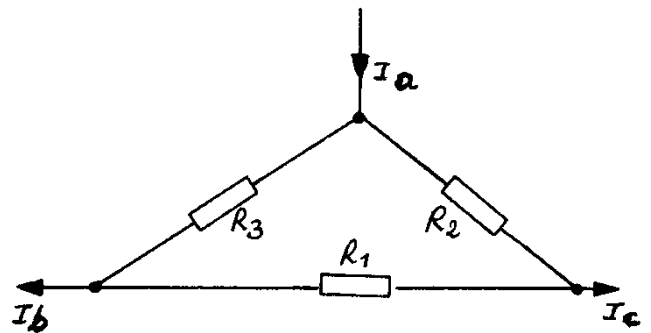
$$I_b = 50\text{A}$$

$$I_c = 40\text{A}$$

$$R_1 = 2\Omega$$

$$R_2 = 4\Omega$$

$$R_3 = 6\Omega$$



14) Los oef. 21 blz. 11 op met superpositie. Vergelijk je resultaten.

Opmerking: houd er rekening mee dat – gezien er in deze oefening geen waarde voor R_i vermeld is – niet alleen de stroombron maar ook de spanningsbron moet beschouwd worden als “ideale” component.

15) Los oef. 22 blz. 11 op met superpositie. Vergelijk je resultaten.

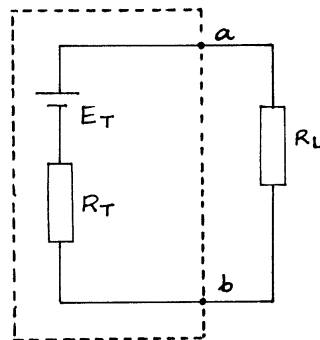
4. Het theorema van Thévenin

Nut

Het theorema van Thévenin is vooral nuttig als men de spanning over- en/ of de stroom door één bepaalde weerstand van een schakeling wenst te kennen, zonder dat men daarom geïnteresseerd is in spanningen en stromen in ander delen van de schakeling.

Principe

Je vervangt een meer ingewikkeld netwerk door een eenvoudig equivalent schema bestaande uit een spanningsbron E_T met een inwendige weerstand R_T , en de weerstand (R_L) waarvan je de spanning en of stroom wenst te kennen. In de eenvoudige serieschakeling die je zo bekomt, kan je gemakkelijk de spanning over R_L , of de stroom door R_L berekenen.



Werkwijze

Zonder de weerstand R_L af waarover je de spanning wil kennen (, of waardoor je de stroom wil kennen).

Je bekijkt de rest van het netwerk nu vanuit een “poort ab”.

Bereken de spanning over deze poort; dit is E_T .

Bereken vervolgens de vervangweerstand van het schema, gezien vanuit deze poort ab, zo bekom je R_T .

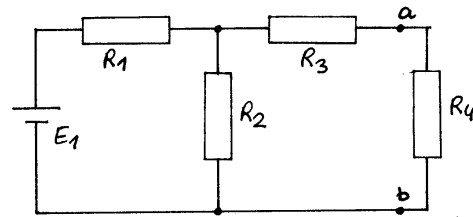
Opmerking: voor het berekenen van R_T ga je te werk alsof je een Ohm-meter aansluit op de poort ab. Je vervangt voor je berekening alle bronnen door hun inwendige weerstand. Is de inwendige weerstand niet gegeven, dan vervang je stroombronnen door een open kring (oneindige weerstand), en alle spanningsbronnen door een kortsluiting (weerstand nul).

Voorbeeld:

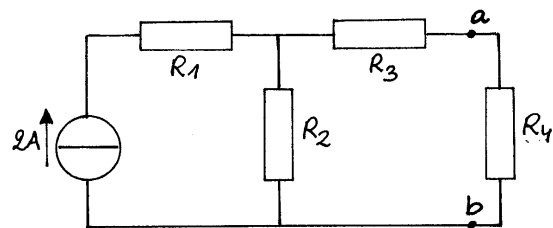
oefening 1 blz.19, opgelost in bijlage

5. Oefeningen (op het theorema van Thévenin)

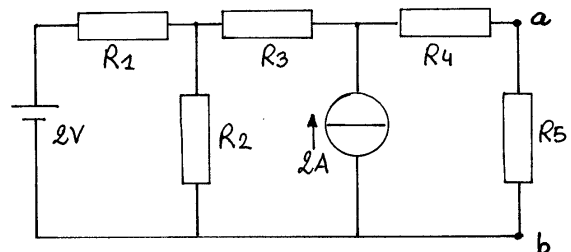
- 1) $R_1=5\Omega$, $R_2=4\Omega$, $R_3=1\Omega$,
 $R_4=3\Omega$, $E_1=28V$
 Teken het Thévenin-equivalent
 van de schakeling links van
 "ab". Geef ook de getalwaarde
 van E_T en R_T .
 Bereken op basis hiervan de
 spanning over R_4 .



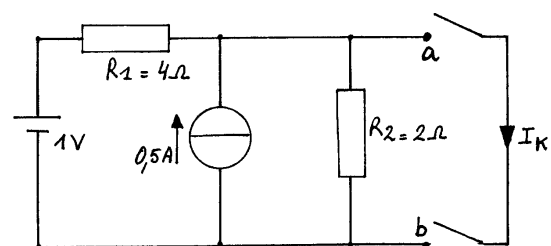
- 2) $R_1=1\Omega$, $R_2=2\Omega$, $R_3=3\Omega$.
 $R_4=5\Omega$
 Teken het Thévenin-equivalent
 van de schakeling links van "ab".
 Geef ook de getalwaarde van E_T
 en R_T .
 Bereken het gedissipeerd
 vermogen van R_4 .



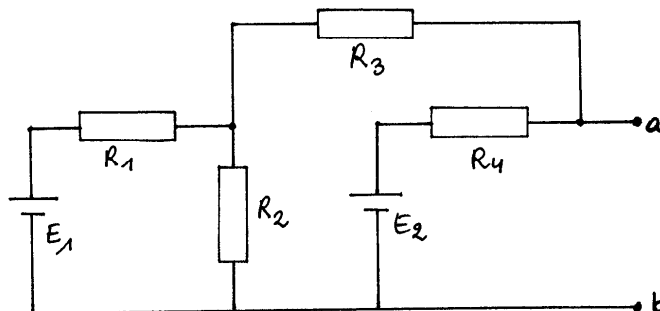
- 3) $R_1=2\Omega$, $R_2=3\Omega$, $R_3=1\Omega$,
 $R_4=3\Omega$, $R_5=2\Omega$
 Bepaal de stroom door R_5 ,
 gebruik makend van de
 stelling van Thévenin.



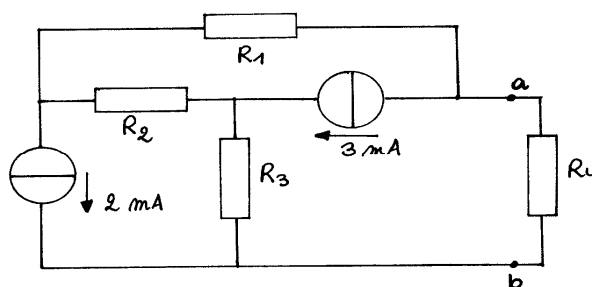
- 4) Bepaal (voor gedeelte links
 van „ab“) de Thévenin-
 weerstand. Zoek de open-
 klemspanning en de
 kortsluitstroom I_K .



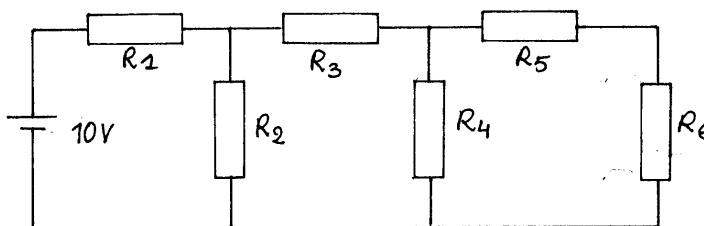
- 5) $R_1=3\Omega$, $R_2=6\Omega$, $R_3=4\Omega$,
 $R_4=2\Omega$, $E_1=3V$, $E_2=4/3V$
 Bepaal (voor gedeelte links
 van „ab“) de Thévenin-
 weerstand. Zoek de open-
 klemspanning en de
 kortsluitstroom I_K .



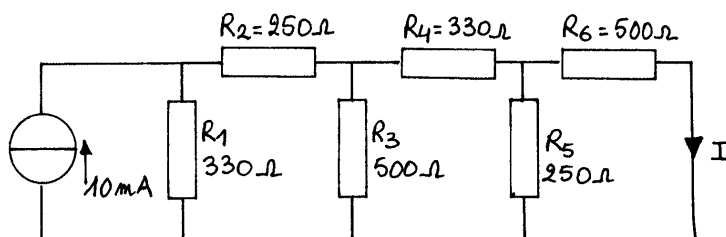
- 6) $R_1= 500\Omega$, $R_2= 1k\Omega$, $R_3=$
 250Ω
 Hoeveel vermogen kan
 maximaal in R_4 gedissipeerd
 worden ?
 (Maximale vermogendissipatie
 in R_4 als $R_4=R_T$)



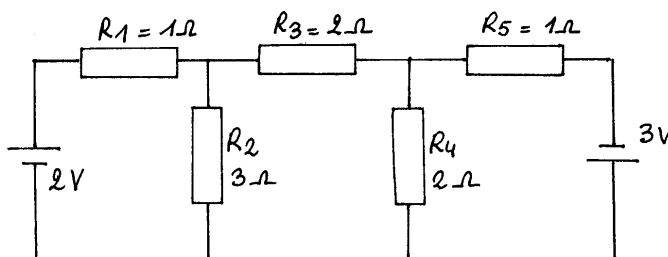
- 7) $R_1=3\Omega$, $R_2=4\Omega$, $R_3=2\Omega$,
 $R_4=3\Omega$, $R_5=4\Omega$, $R_6=2\Omega$,
 $E_1=10V$
 Bereken de spanning over R_6 ,
 maak hierbij gebruik van de
 stelling van Thévenin.



- 8) Bepaal, gebruik makend van
 de stelling van Thévenin, de
 waarde van de stroom I .



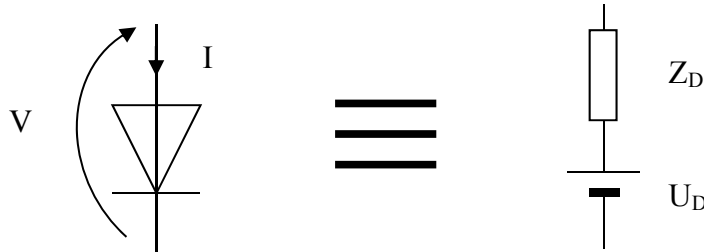
- 9) Bepaal de stroom door R_3 .
 Gebruik hierbij de stelling
 van Thévenin.



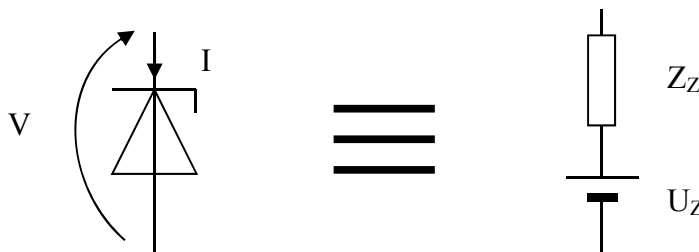
6. Toepassing complexe netwerken op elektronische schakelingen

a. De diode

Een voorwards gepolariseerde diode kan in een netwerk vervangen worden door:

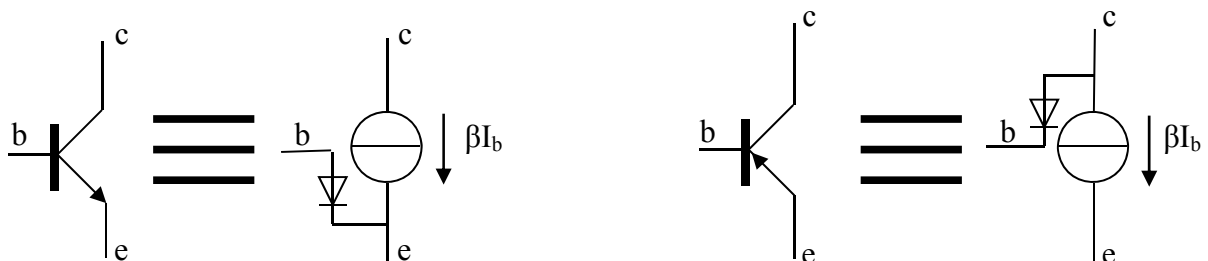


Een invers gepolariseerde diode (zenerdiode) kan in een netwerk vervangen worden door:



b. De transistor

- Een transistor is gesperd als $U_{BE} < 0,6$ Volt
Als een transistor gesperd is zijn alle klemstromen in vrijwel alle gevallen verwaarloosbaar klein.
- Een transistor is in verzadiging als $U_C < U_B$ bij NPN of $U_C > U_B$ bij PNP
Als een transistor in verzadiging is, gedraagt de collector-emitter-overgang zich als een spanningsbron van ca. 0,3 V.
- In alle andere gevallen is de transistor in lineaire werkingstoestand.
Als een transistor in het lineaire gebied werkt kan hij vervangen worden door:



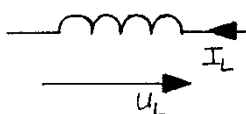
Deel 4: schakelverschijnselen (bij L en C op gelijkspanning)

In de vorige hoofdstukken hebben we ons steeds beperkt tot zuiver ohmse weerstanden als verbruikers. In dit hoofdstuk bekijken we echter ook kort de spoel en condensator op gelijkspanning. Onze aandacht zal vooral uitgaan naar het gedrag van spoel en condensator in regimetoestand enerzijds, en de schakelverschijnselen die optreden bij overgangen van regimetoestand anderzijds.

De beknopte beschrijving van de eigenschappen van spoel en condensator die volgt, beperkt zich tot een minimum van informatie die nodig is om de oefeningen die volgen kunnen op te lossen.

1. Spoel

a. Symboliek en eenheden



benaming

spoel, inductantie

symbool

L

eenheid

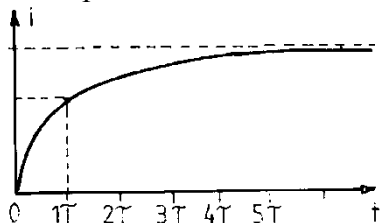
H (*henry*)

Een ideale spoel heeft geen ohmse (resistieve) weerstand. Een niet ideale spoel kan men voorstellen door een ohmse (resistieve) weerstand in serie met een ideale spoel.

b. Eigenschappen

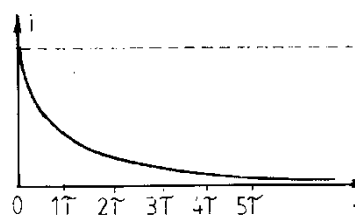
Een spoel verzet zich tegen stroomveranderingen. Er ontstaat een zelfinductiespanning die zich tegen de opgedrongen stroomverandering verzet.

Een stroomstijging (of –daling) zal dus niet plots kunnen gebeuren, maar slechts geleidelijk volgens een exponentiële curve.



Stroomstijging in een spoel.

(Bij een spoel in serie met een weerstand over een spanningsbron geschakeld).



Stroomdaling in een spoel.

(Bij een spoel in serie met een weerstand).

De snelheid waarmee de stroom stijgt, is

- evenredig met de aangelegde spanning,
- omgekeerd evenredig met de zelfinductiecoëfficiënt van de spoel.

In formulevorm weergegeven wordt dit:

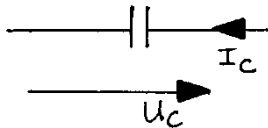
$$\frac{\Delta I_L(t)}{\Delta t} = \frac{U_L(t)}{L}$$

Enkele handige eigenschappen voor oefeningen:

- *in regimetoestand mag een spoel beschouwd worden als een kortsluiting (bij gelijkspanning),*
- *direct na het uitschakelen gedraagt de spoel zich als een stroombron.*

2. Condensator

a. Symboliek en eenheden



benaming

condensator

symbool

C

eenheid

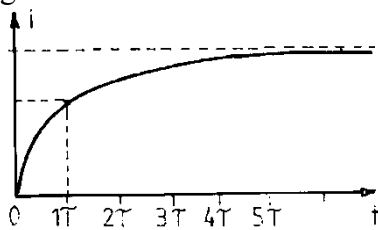
F (*farad*)

Een ideale condensator heeft geen ohmse (resistieve) weerstand. Een niet ideale condensator kan men voorstellen door een ohmse weerstand parallel met een ideale condensator.

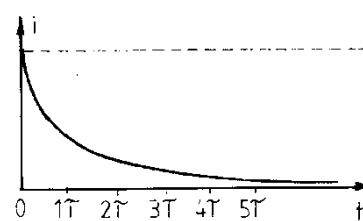
b. Eigenschappen

Wanneer een spanning aangelegd wordt over een condensator zal de spanning over de condensator exponentieel toenemen. We spreken van het laden van de condensator.

Het ontladen (spanningsdaling) van de condensator zal volgens een exponentieel dalende curve gebeuren.



Spanningsstijging over een condensator.
(Opladen van een condensator in serie met een weerstand over een spanningsbron geschakeld).



Spanningsdaling over een condensator.
(Ontladen van een condensator in serie met een weerstand).

De snelheid waarmee de spanning stijgt, is

- evenredig met de laadstroom,
- omgekeerd evenredig met de capaciteit van de condensator.

In formulevorm weergegeven wordt dit:

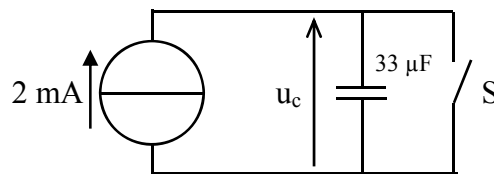
$$\frac{\Delta U_c(t)}{\Delta t} = \frac{I_c(t)}{C}$$

Enkele handige eigenschappen voor oefeningen:

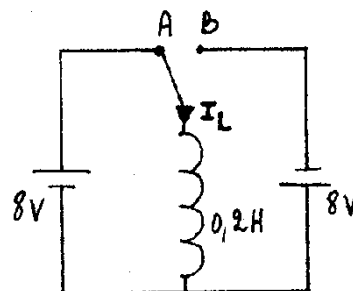
- *in regimetoestand mag een condensator beschouwd worden als een open kring (bij gelijkspanning),*
- *direct na uitschakelen (ontladen) gedraagt de condensator zich als een spanningsbron.*

3. Oefeningen

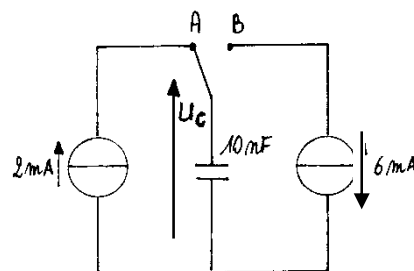
- 1) S is gesloten. Op een tijdstip t_0 gaat S open. Na 0,1 seconde sluit S opnieuw. Schets het verloop van U_C in functie van de tijd.



- 2) Op to is $I_L=0$ en S staat in stand A. 0,1 seconde later schakelt S van A naar B, weer 0,1 seconde later schakelt S van B naar A... Zo schakelt S om de 0,1 seconde van A naar B en omgekeerd. Teken het verloop van de stroom I_L in functie van de tijd.



- 3) Op to is $U_C=0$ en S staat in stand A. $8\mu s$ later schakelt S van A naar B. $10\mu s$ na to schakelt S van B naar A. $18\mu s$ na to schakelt S van A naar B. $20\mu s$ later schakelt S van B naar A. Teken het verloop van U_C in functie van de tijd voor de eerste $30\mu s$.

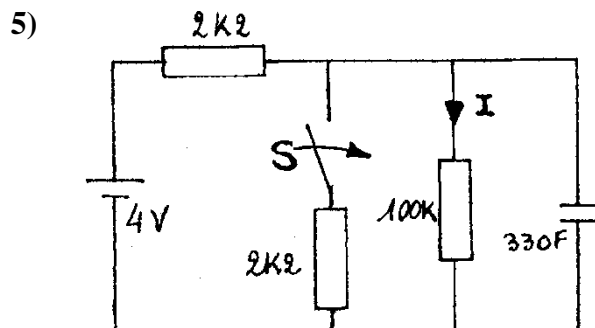
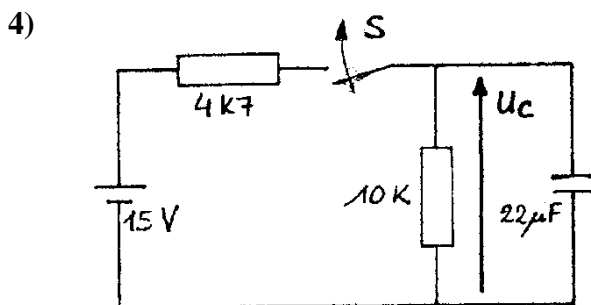


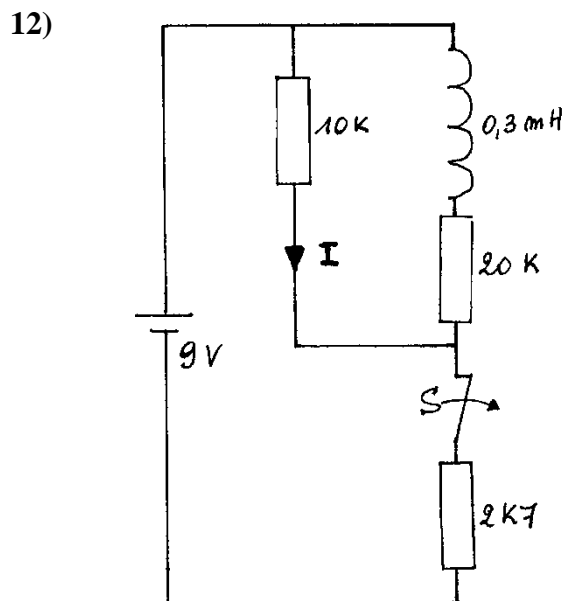
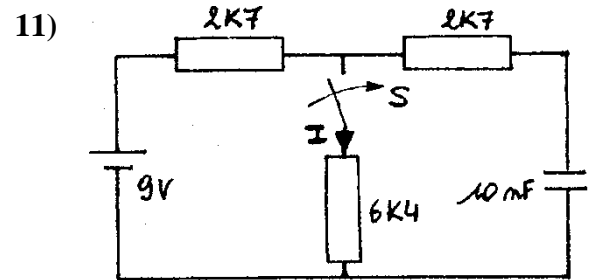
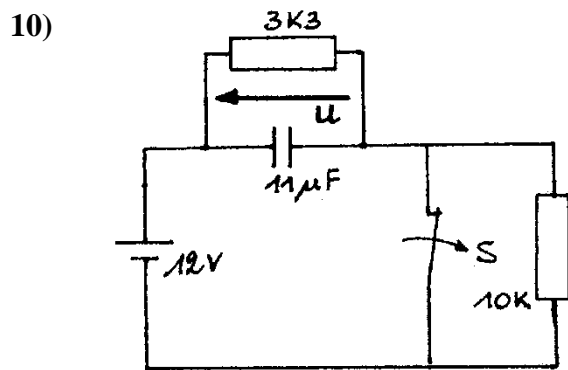
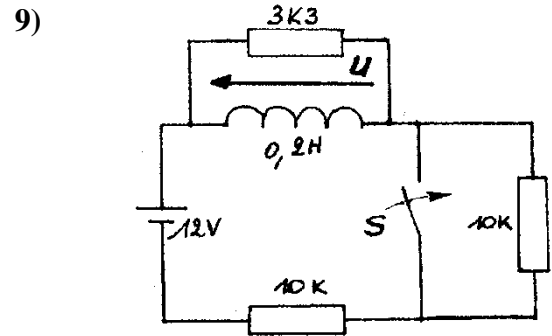
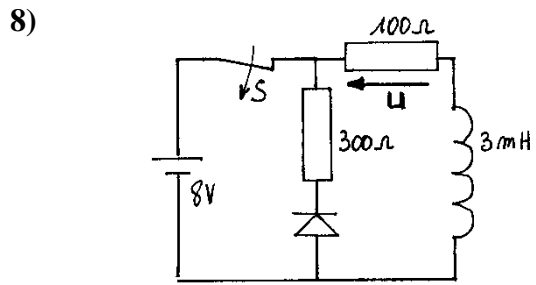
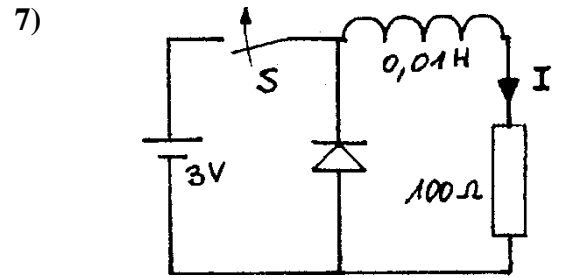
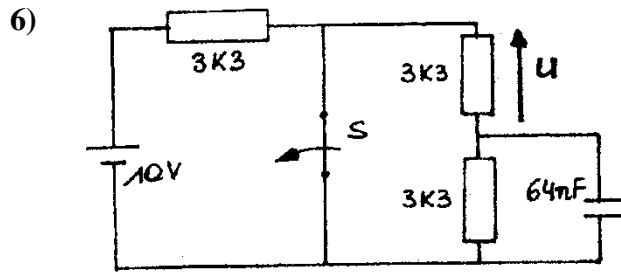
In de volgende opgaven (schema 4 tot en met 12) beweegt een schakelaar in de aangeduide zin. Voor elke schema geldt dezelfde opgave: bereken de gevraagde spanning of -stroom (vetgedrukt) op drie verschillende tijdstippen.

Tijdstip t_1 = regimetoestand voor beweging van S.

Tijdstip t_2 = onmiddellijk na het verleggen van de schakelaar S (overgangsverschijnsel).

Tijdstip t_3 = regimetoestand lange tijd na het schakelen van S.





Deel 5: Wisselspanning

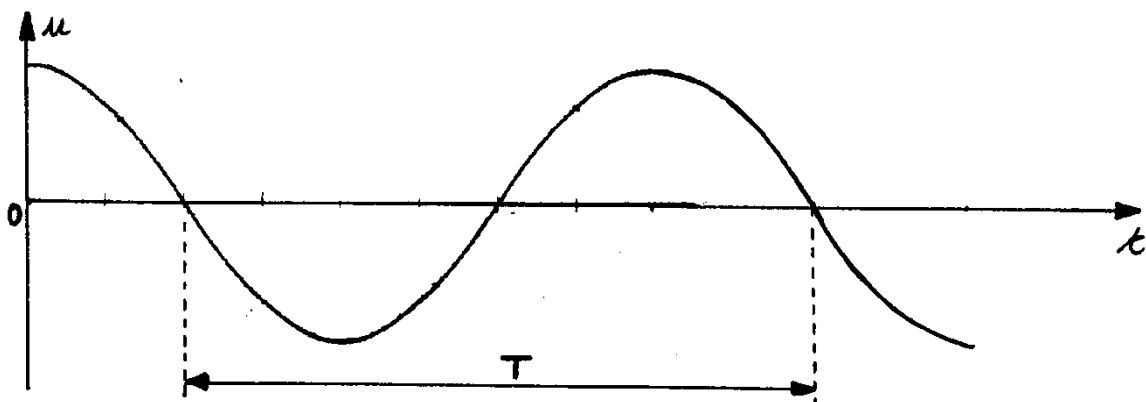
Tot hertoe werd bij alle toepassingen verondersteld dat we werkten met gelijkspanning (en gelijkstroom).

In dit hoofdstuk doet echter de wisselspanning zijn intrede. We zullen dan ook het gedrag van weerstand (R), spoel (L) en condensator (C) bij wisselspanning bestuderen.

Gezien het grote verschil in rekenwijze (met vectoren en complexe getallen in verschillende notaties) herhalen we even kort de wiskundige en elektrische basiskennis in dit verband.

1. Basisbegrippen

a. Symboliek en eenheden



Als we op een oscilloscoop een (zuiver sinusvormige) wisselspanning bekijken, krijgen we een beeld zoals hierboven. Het is belangrijk hierbij een aantal begrippen op de grafiek te kunnen interpreteren.

periode

symbool: T

eenheid: s (*seconde*)

frequentie

symbool: f

eenheid: Hz (*hertz*)

momentele waarde of ogenblikswaarde (i of u)

De waarde die een wisselspanning op een bepaald tijdstip heeft. Zoals je op bovenstaande figuur ziet, wijzigt deze waarde voortdurend in functie van de tijd.

amplitude (Im of Um)

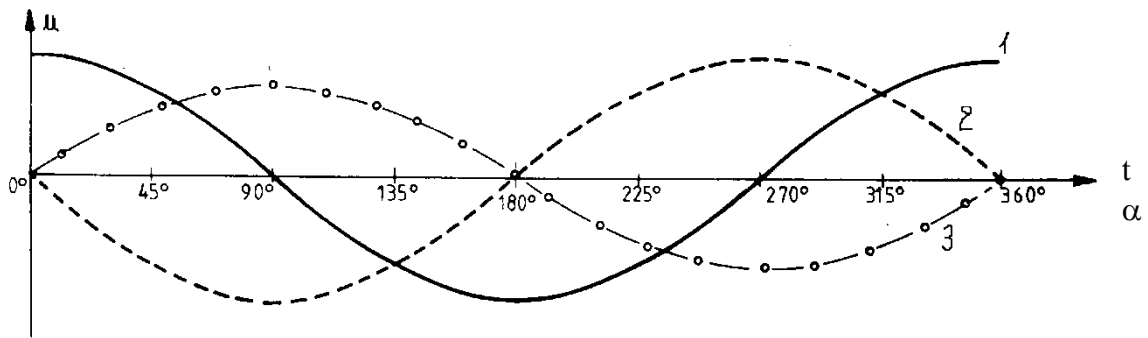
Grootste waarde die een wisselspanning binnen een periode kan aannemen. Een sinusvorm bereikt deze waarde tweemaal binnen een periode; éénmaal met een positieve waarde, éénmaal met een negatieve waarde.

effectieve waarde (Ieff of Ueff)

Voor een sinusvormige wisselspanning geldt $U_{eff} = U_{max} / \sqrt{2}$

Meettoestellen voor wisselspanning zijn geijkt om effectieve waarden weer te geven.

b. Relatie tussen twee sinusvormige grafieken



fase

Twee sinusvormen (wisselspanning en/of stroom) zijn in fase als ze gelijktijdig hun minimum en maximum (positief en negatief) aannemen.

faseverschil

Indien twee sinusvormen niet in fase zijn, is er sprake van een faseverschil tussen de twee.

Het faseverschil is het kleinste mogelijke interval tussen twee overeenkomstige waarden van twee sinusvormen met dezelfde frequentie.

Dit faseverschil wordt vaak weergegeven onder de vorm van een hoek (hierbij is $T=360^\circ$).

tegenfase

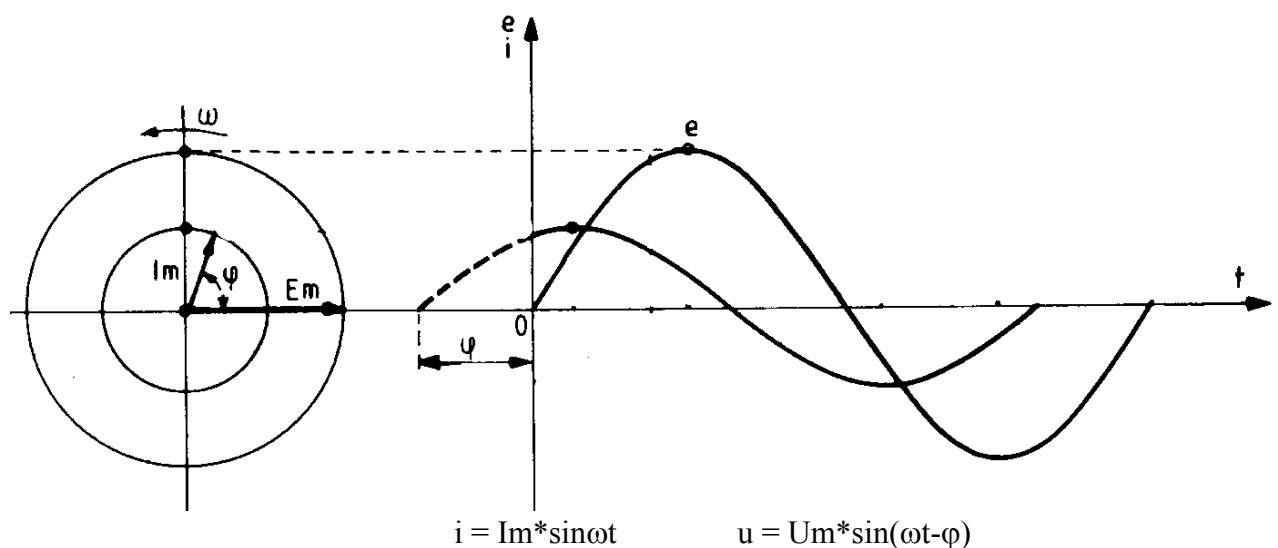
Bedraagt het faseverschil tussen twee sinusvormen 180° , dan zijn ze in tegenfase.

voorijlen, najijlen

Een sinusvorm ijlt voor op een andere sinusvorm indien hij zijn maximum vroeger bereikt.

c. Verband sinusgolf en vectorvoorstelling

Het verband tussen een sinusgolf en de vectoriële voorstelling kunnen we het best grafisch voorstellen.



Als referentie nemen we het tijdstip nul steeds bij de nuldoorgang van een van de sinusvormen (wisselspanning en of wisselstroom)

De positieve draaiing van de vector is in tegenwijzerzin.

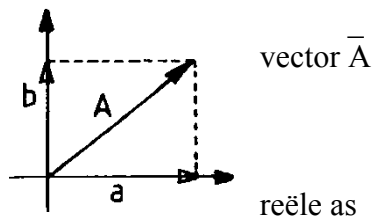
Bemerk dat je ook de begrippen fase, tegenfase, faseverschil, voorijlen, najlen ook kan toepassen bij de vectoriële voorstelling.

2. Vectoriële voorstellingswijze

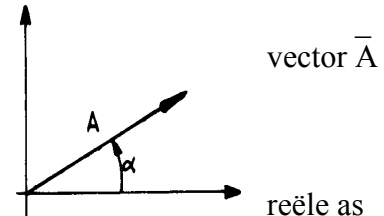
De vectoren kunnen we voorstellen in een rechthoekig assenstelsel met een X-as en een Y-as.

De X-as noemen we de reële as, en de Y-as de imaginaire as. Op deze manier kunnen we een vector ook voorstellen met behulp van een complex getal.

imaginaire
as



imaginaire
as



Merk op dat

j = verdraaiing over 90° in positieve zin

$j \cdot j = j^2 =$ verdraaiing over 180° in positieve zin

Als je vertrekt van een vector die op de reële as ligt, kan je hieruit afleiden dat

$j^2 = -1$, en dat $j = \sqrt{-1}$.

Voor onze berekeningen kunnen we nu een aantal verschillende notaties gebruiken voor eenzelfde complex getal:

a. cartesiaanse notatie

$$\bar{A} = a + jb$$

b. polaire notatie

$$\bar{A} = A \angle \alpha \quad (A = \text{modulus}, \alpha = \text{argument})$$

c. trigoniometrische notatie

$$\bar{A} = A(\cos\alpha + j \cdot \sin\alpha)$$

d. exponentiële notatie

$$\bar{A} = A \cdot e^{j\alpha} \quad (\text{want volgens formule van Euler geldt: } \cos\alpha + j \cdot \sin\alpha = e^{j\alpha})$$

Elk van deze notaties kan gebruikt worden voor berekeningen, doch bepaalde notaties zijn meer gebruiksvriendelijk dan andere. Zo is voor vermenigvuldigen en delen bijvoorbeeld de exponentiële notatie vrij handig. Een en ander wordt duidelijker in de oefeningen.

3. Oefeningen

- 1) Bepaal voor de figuur op blz.28
 - a) welke sinusöide er voorijlt op beide andere,
 - b) welke sinusöide er najlt op beide andere,
 - c) hoe groot is het faseverschil tussen de sinusöide in volle lijn en de punt-streep lijn,
 - d) welke twee sinusöide zijn in tegenfase.

- 2) Teken de vector die bij de volgende noatie hoort
 - a) $2+3j$
 - b) $4-2j$
 - c) $2\angle 60^\circ$
 - d) $4\angle -45^\circ$

Deel 6: Netwerken op wisselspanning

1. Weerstand R op wisselspanning

Bij een zuiver ohmse weerstand zijn stroom en spanning in fase.

$$\text{Wet van Ohm : } \bar{U} = \bar{I} \cdot \bar{R}$$

R : weerstand in ohm.

$$\text{Complexe schrijfwijze : } \bar{R} = R$$

2. Spoel L op wisselspanning

Bij een inductieve verbruiker ijlt de stroom na op de spanning.

Bij een ideale spoel ijlt de stroom 90° na op de spanning.

$$\text{Wet van Ohm : } \bar{U} = \bar{I} \cdot \bar{X}_L$$

X_L : inductieve reactantie of inductantie in ohm.

$$\text{Complexe schrijfwijze : } \bar{X}_L = j \cdot X_L \quad \text{hierbij is } X_L = \omega \cdot L \quad \text{en } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

4. Condensator C op wisselspanning

Bij een capacitieve verbruiker ijlt de stroom voor op de spanning.

Bij een ideale condensator ijlt de stroom 90° voor op de spanning.

$$\text{Wet van Ohm : } \bar{U} = \bar{I} \cdot \bar{X}_C$$

X_C : capacitieve reactantie of capacitantie in ohm.

$$\text{Complexe schrijfwijze : } \bar{X}_C = -j \cdot X_C \quad \text{hierbij is } X_C = 1 / (\omega \cdot C) \quad \text{en } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

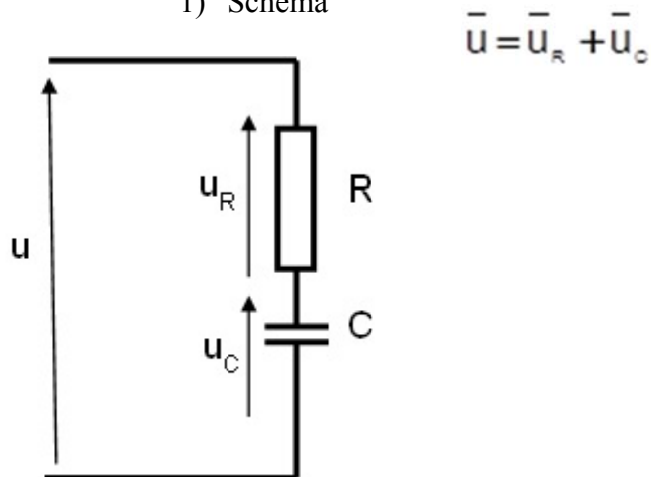
5. Impedantie Z

In een gemengde schakeling van R- L-C spreken we niet meer van een vervangweerstand maar van een impedantie Z.

De wet van Ohm wordt dan $\bar{U} = \bar{I} \cdot \bar{Z}$

a) De RC seriekring op AC

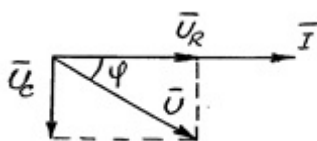
1) Schema



2) Complexe voorstelling

Resistentie	Capacitieve reaktantie	Impedantie
R	$\frac{1}{j\omega C}$	$R + \frac{1}{j\omega C}$
Modulus: R	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$
Argument : 0°	- 90°	$\Phi = - \text{bg tg} \frac{1}{\omega CR}$

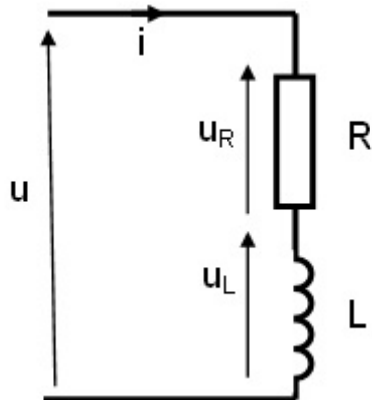
3) Fasediagram



b) De RL seriekring op AC

1) Schema

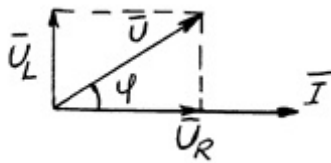
$$\bar{u} = \bar{u}_R + \bar{u}_L$$



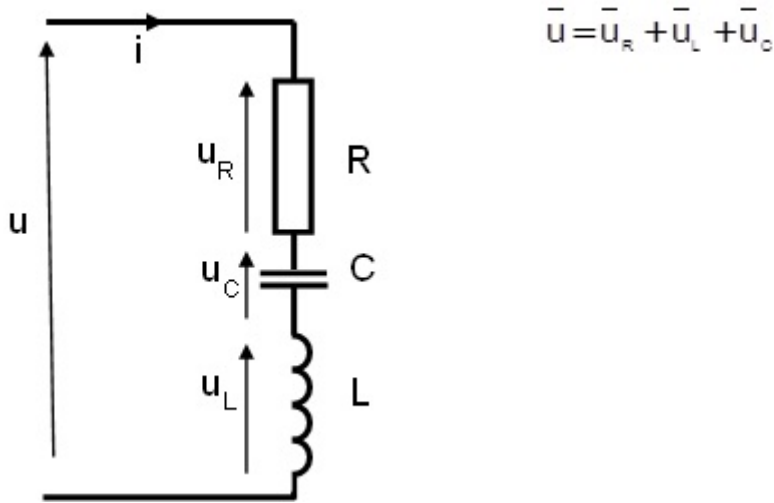
2) Complexe voorstelling

Resistantie	Inductieve reaktantie	Impedantie
R	$j\omega L$	$R + j\omega L$
Modulus: R	$X_L = \omega L$	$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$
Argument : 0°	-90°	$\Phi = + \text{bg } \text{tg } \frac{\omega L}{R}$

3) Fasediagram



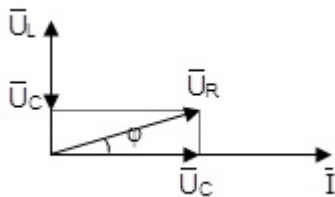
c) De RLC seriekring op AC



1) Complexe voorstelling

Resistentie	Capacitieve reaktantie	Inductieve reaktantie	Impedantie
R	$\frac{1}{j\omega C}$	$j\omega L$	$R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$
Modulus:			$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$
R	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	$X_L = \omega L$	
Argument :			$\Phi = + \text{bg tg } \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$
0°	-90°	-90°	

2) Fasediagram



1) Oefeningen

- 1) Maak een samenvattende tabel waarin je voor R, L en C op wisselspanning het volgende vermeldt:
- verband tussen spanning en stroom in formule vorm (wet van Ohm),
 - impedantie in formule vorm,
 - grafische voorstelling (sinusoïde) van spanning en stroom,
 - vectoriële voorstelling (grafisch) tussen spanning en stroom,
 - faseverschil tussen spanning en stroom,
 - complexe voorstelling cartesiaans,
 - complexe voorstelling polair,
 - complexe voorstelling exponentieel.

- 2) Een weerstand van $1\text{k}\Omega$ en een condensator van 220nF zijn in serie geschakeld op een voedingsspanning met een frequentie van

- 50Hz
- 60Hz
- 400Hz
- 1000Hz

Bereken de impedantie (complexe notatie; cartesiaans en polair) en teken de de overeenkomstige vectorvoorstelling.

Wat is de invloed van de frequentie op de condensator ?

- 3) Een weerstand van $2\text{k}\Omega$ en een spoel van 10H zijn in serie geschakeld op een voedingsspanning met een frequentie van

- 50Hz
- 60Hz
- 400Hz
- 1000Hz

Bereken de impedantie (complexe notatie; cartesiaans en polair) en teken de de overeenkomstige vectorvoorstelling.

Wat is de invloed van de frequentie op de spoel ?

- 4) Werk het product uit

- $(2+3j)(3+2j)$
- $(2+7j)(2-7j)$
- $(1+j)(2-5j)$
- $(3-j)(2+3j)$

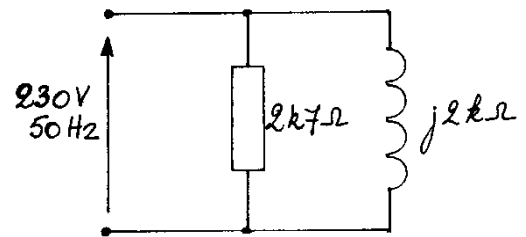
- 5) Werk het quotiënt uit

- $(1+j) / (2+j)$
- $(3-j) / (2+3j)$
- $(1+2j) / (2-j)$
- $(2-5j) / (2-7j)$

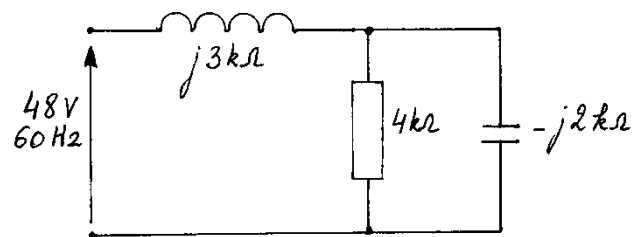
- 6) Een weerstand van $1\text{k}\Omega$ en een condensator van 220nF zijn in serie geschakeld op een voedingsspanning met een frequentie van 230V 50Hz . Bereken de spanning over de weerstand en de condensator. Controleer je resultaat grafisch.

7) Een weerstand van $2k\Omega$ en een spoel $10H$ zijn in serie geschakeld op een voedingspanning met een frequentie van $24V$ $60Hz$. Bereken de spanning over de spoel en de weerstand. Controleer je resultaat grafisch.

8) Bereken de impedantie. Geef de grafische voorstelling (met modulus en argument). Bereken de stroom door de weerstand (modulus en argument). Wat is de zelfinductiewaarde van de spoel ?



9) Bereken de impedantie. Geef de grafische voorstelling (met modulus en argument). Bereken de stroom door de condensator, spoel en weerstand. Controleer je resultaat grafisch.



Deel 7: bijlagen

Bijlage 1: het SI stelsel

Het SI eenhedenstelsel staat voor “Système International d’Unités” en werd in 1960 vastgelegd. Hieronder een overzicht van een aantal eenheden die volgens dit stelsel bruikbaar zijn. De tweede tabel bevat een korte verwijzing naar de vroegere eenheden, met een omzettingscoëfficiënt.

<i>Grootheid</i>	<i>Symbol</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Symbol</i>
Oppervlakte	<i>A</i>	vierkante meter	m ²
Elektromotorische kracht	<i>E</i>	volt	V
Kracht	<i>F</i>	newton	N
Geleidbaarheid of Conductantie	<i>G</i>	siemens	S
Stroomsterkte	<i>I</i>	ampère	A
Stroomdichtheid	<i>J</i>	ampère per vierkante meter	A/m ²
Lengte	<i>l</i>	meter	m
Omtrek	<i>O</i>	meter	m
Vermogen	<i>P</i>	watt	W
Hoeveelheid elektriciteit	<i>Q</i>	coulomb	C of As
Weerstand	<i>R</i>	ohm	Ω
Temperatuur	<i>T</i>	kelvin	K of °C
Tijd	<i>t</i>	seconde	s
Spanning	<i>U</i>	volt	V
Potentiaal	<i>V</i>	volt	V
Energie	<i>W</i>	joule	J
Rendement	<i>η</i>	onbenoemd	—
Pi	<i>π</i>	onbenoemd	$\Pi = \frac{22}{7} = 3,14$
Soortelijke weerstand	<i>ρ</i>	ohmmeter	Ωm
Massa	<i>m</i>	kilogram	kg

Omvormen van oude eenheden naar SI eenheden

1 kilogramkracht (1 kgf)	= 9,80665 newton (N)
1 calorie (1 cal)	= 4,1868 joule (J)
1 erg	= 1 · 10 ⁻⁷ joule (J)
1 calorie per seconde (1 cal/s)	= 4,1868 watt (W)
1 kilocalorie per uur (1 kcal/h)	= 1,163 watt (W)
1 paardekracht (1 pk)	= 735,49 watt (W)

SI eenheden en formules

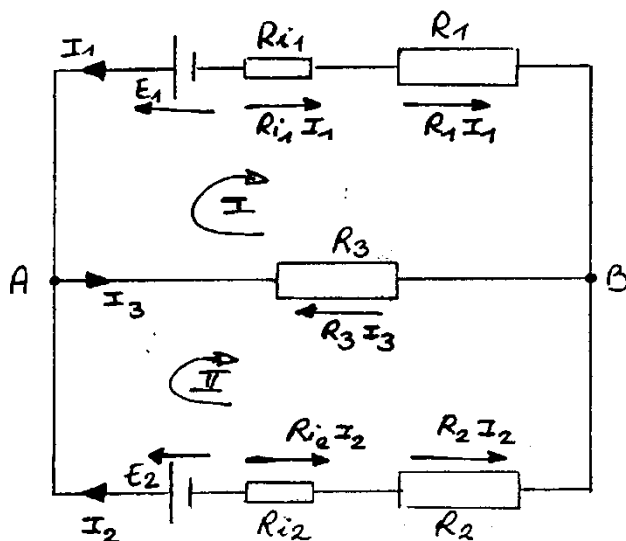
A4 - Units of measurement and standard formulae

A4.1 - ELECTRICITY AND ELECTROMAGNETISM

Quantity				Units		Units and expressions not recommended
Name	French name	Symbol	Definition	SI	Non SI, but accepted	Conversion
Frequency	Fréquence Période	f	$f = \frac{1}{T}$	Hz (hertz)		
Electric current	Courant électrique (intensité de)	I		A (ampère)		
Electric potential	Potential électrique	V		V (volt)		
Voltage	Tension	U				
Electromotive force	Force électromotrice	E				
Phase angle	Déphasage	φ	$U = Um \cos \omega t$ $i = im \cos (\omega t - \varphi)$	rad	° degré	
Power factor	Facteur de puissance	$\cos \varphi$				
Reactance	Réactance	X	$Z = Z e^{j\varphi}$			j is defined as $j^2 = -1$
Resistance	Résistance	R	$= R + jX$	Ω (ohm)		ω pulsation = $2 \pi \cdot f$
Impedance	Impédance	Z	$ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$			
Inductance	Inductance propre (self)	L	$L = \frac{\Phi}{I}$	H (henry)		
Capacitance	Capacité	C	$C = \frac{Q}{V}$	F (farad)		
Quantity of electricity	Charge électrique, Quantité d'électricité	Q	$Q = \int I dt$	C (coulomb)	A.h 1 A.h = 3600 C	
Resistivity	Résistivité	ρ	$\rho = \frac{R \cdot S}{l}$	$\Omega \cdot m$		Ω / m
Conductance	Conductance	G	$G = \frac{1}{R}$	S (siemens)		$1 / \Omega = 1 S$
N° of turns (coil)	Nombre de tours, (spires) de l'enroulement	N				
N° of phases	Nombre de phases	m				
N° of pairs of poles	Nombre de paires de pôles	p				
Magnetic field	Champ magnétique	H		A/m		
Magnetic potential difference	Différence de potentiel magnétique	Um		A		The unit AT (ampere-turn) is incorrect because it treats "turn" as a physical unit
Magnetomotive force	Force magnétomotrice Solénation, courant totalisé	F, Fm H	$F = \phi H_s ds$ $H = NI$			
Magnetic induction	Induction magnétique,	B		T (tesla) = Wb/m ²		(gauss) 1 G = 10 ⁻⁴ T
Magnetic flux density	Densité de flux magnétique					
Magnetic flux	Flux magnétique, Flux d'induction magnétique	Φ	$\Phi = \int f_s B_n ds$	Wb (weber)		(maxwell) 1 max = 10 ⁻⁸ Wb
Magnetic vector potential	Potential vecteur magnétique	A		Wb/m		
Permeability	Perméabilité d'un milieu	$\mu = \mu_0 \mu_r$	$B = \mu H$	H/m		
Permeability of vacuum	Perméabilité du vide	μ_0	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$			
Permittivity	Permittivité	$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$	$\epsilon_0 = \frac{1}{36 \pi} \frac{F}{m}$ $36 \pi \cdot 10^9$	F/m		

Bijlage 2: wetten van Kirchoff – stelsels van vergelijkingen

Oef. 5 blz. 16



Maak duidelijke
grote tekening:

- duid overal R_i aan
- breng alle stroompijle
aan
- breng alle spanningpij
aan
- kies een stroomzin
in elke lus

Als we alle stromen kennen, kunnen we ook alle
spanningen berekenen (wet van Ohm).

We zoeken dus I_1 , I_2 en I_3 .

We hebben drie onbekenden, dus we moeten ook drie
vergelijkingen vinden

Stroomwet Kirchoff in knooppunt A

$$I_3 = I_1 + I_2$$

1^e vergelijking

Spanningswet Kirchoff in lus I en lus II

lus I: $-E_1 + R_{i1} I_1 + R_1 I_1 + R_3 I_3 = 0$

$$(R_{i1} + R_1) \cdot I_1 + R_3 I_3 = E_1$$

$$(0,5 + 2) I_1 + 10 \cdot I_3 = 6$$

$$2,5 I_1 + 10 I_3 = 6$$

2^e vergelijking

lus II: $-R_3 I_3 - R_2 I_2 - R_{i2} I_2 + E_2 = 0$

$$-(R_2 + R_{i2}) I_2 + R_3 I_3 = -E_2$$

$$(3 + 1) I_2 + 10 \cdot I_3 = 12$$

$$4 I_2 + 10 I_3 = 12$$

3^e vergelijking

Bijlage 2: wetten van Kirchoff – stelsels van vergelijkingen

Op te lossen stelsel van vergelijkingen

$$\begin{cases} (1) & I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ (2) & 2,5 I_1 + 10 I_3 = 6 \\ (3) & 4 I_2 + 10 I_3 = 12 \end{cases}$$

hieruit volgt

$$\begin{cases} (1) & I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ (2) & -2,5 I_2 + 12,5 I_3 = 6 & \text{uit vorige } (2) - 2,5(1) \\ (3) & 4 I_2 + 10 I_3 = 12 \end{cases}$$

$$\begin{cases} (1) & I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ (2) & 75 I_3 = 54 & \text{uit vorige } 4 \cdot (2) + 2,5(3) \\ (3) & 4 I_2 + 10 I_3 = 12 \end{cases}$$

uit (2) volgt $I_3 = \frac{54}{75} = 0,72 \text{ A}$

uit (3) volgt $I_2 = \frac{12 - 10 \cdot I_3}{4} = \frac{12 - 10 \cdot 0,72}{4} = 1,2 \text{ A}$

uit (1) volgt $I_1 = I_3 - I_2 = 0,72 - 1,2 = -0,48 \text{ A}$

<u>Besluit</u>	$I_1 = -0,48 \text{ A}$	$U_1 = I_1 \cdot R_1 = -0,48 \cdot 2 = -0,96 \text{ V}$
	$I_2 = 1,2 \text{ A}$	$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 1,2 \cdot 3 = 3,6 \text{ V}$
	$I_3 = 0,72 \text{ A}$	$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 0,72 \cdot 10 = 7,2 \text{ V}$

Controle spanning tussen A en B moet in elke tak gelijk zijn (eig. parallelschakeling)

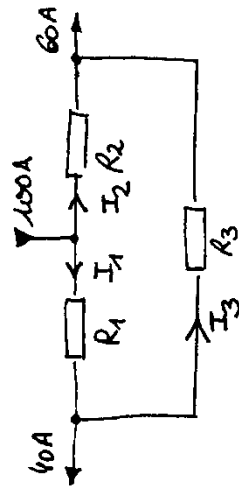
$U_{AB} = U_3 = 7,2 \text{ V}$ (tak₂)

tak₁ $U_{AB} = E_1 - R_{i1} I_1 - R_1 I_1 = 6 - 0,5 \cdot (-0,48) - 2 \cdot (-0,48) = 7,2 \text{ V}$

tak₃ $U_{AB} = E_2 - R_{i2} I_2 - R_2 I_2 = 12 - 1 \cdot 1,2 - 3 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ V}$

Bijlage 3: superpositie I

Oef. 12 blz. 17



Schema A

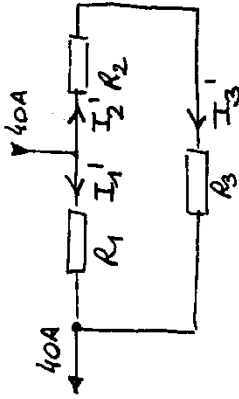
Schema A = superpositie van Schema B en Schema C

$$I_1 = + I_1' + I_1'' = 20A + 12A = 32A$$

$$I_2 = + I_2' + I_2'' = 20A + 48A = 68A$$

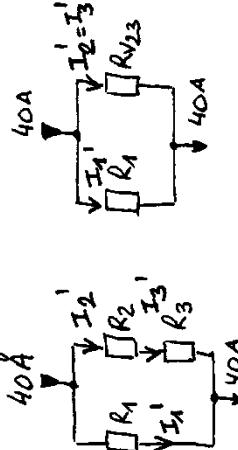
$$I_3 = - I_3' + I_3'' = -20A + 12A = -8A$$

(dus I_3 vloeit eigenlijk omgekeerd ten opzichte van de stroomzin zoals aangegeuid in Schema A)



Schema B

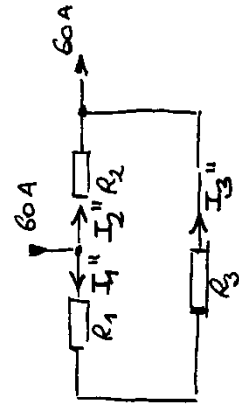
oplossing schema B



$$R_{2/3} = R_2 + R_3 = 4\Omega + 6\Omega = 10\Omega$$

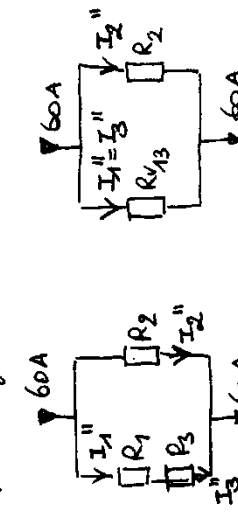
$$I_1' = 40A \cdot \frac{R_{2/3}}{R_1 + R_{2/3}} = 40A \cdot \frac{10}{10+10} = 20A$$

$$I_2' = I_3' = 40A - I_1' = 40A - 20A = 20A$$



Schema C

oplossing schema C



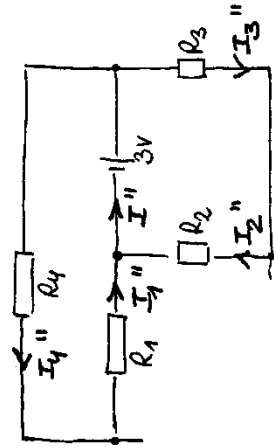
$$R_{1/3} = 10\Omega + 6\Omega = R_1 + R_3 = 16\Omega$$

$$I_2'' = 60A \cdot \frac{R_{1/3}}{R_2 + R_{1/3}} = 60A \cdot \left(\frac{16}{16+4} \right) = 48A$$

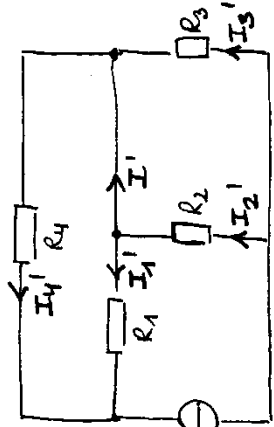
$$I_1'' = I_3'' = 60A - I_2'' = 60A - 48A = 12A$$

Bijlage 4: superpositie II

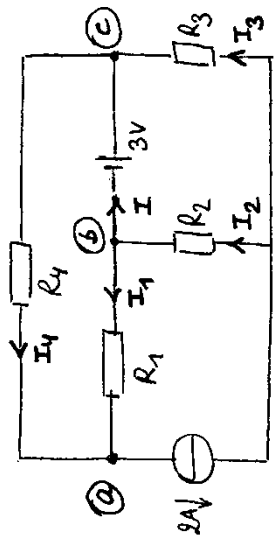
Oef. 14 blz. 18



schema C



schema B

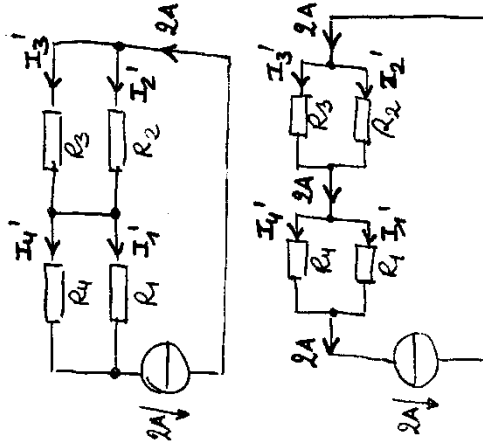


schema A

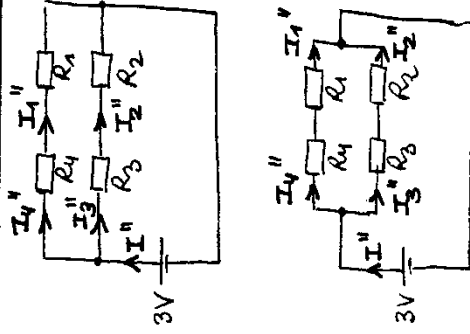
schema A = schema B + schema C

$$\begin{aligned}
 I &= +I' + I'' = 1A - 3A = 2A \\
 I_1 &= +I_1' - I_1'' = 1,143A + 5,143A = 6,286A \\
 I_2 &= +I_2' + I_2'' = 0,857A - 5,143A = -4,286A \\
 I_3 &= +I_3' - I_3'' = 1A + 3A = 4A \\
 I_4 &= +I_4' + I_4'' = 0,143A + 8,143A = 8,286A
 \end{aligned}$$

omvormen schema B



omvormen schema C



Bijlage 4: superpositie II

oplossen schema B

$$I_3' = 2A \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 2A \cdot \frac{1/4}{1/4 + 1/3} = 0,857A$$

$$\text{dus } I_2' = 2A - I_3' = 2A - 0,857A = 1,143A$$

$$I_4' = 2A \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_4} = 2A \cdot \frac{1/2}{1/2 + 1/2} = 1A$$

$$\text{dus } I_1' = 2A - I_4' = 2A - 1A = 1A$$

$$I' = I_2' - I_1' = 1,143A - 1A = 0,143A$$

oplossen schema C

$$R_{V14} = R_1 + R_4 = 1/2 + 1/2 = 1\Omega$$

$$R_{V23} = R_2 + R_3 = 1/4 + 1/3 = 0,583\Omega$$

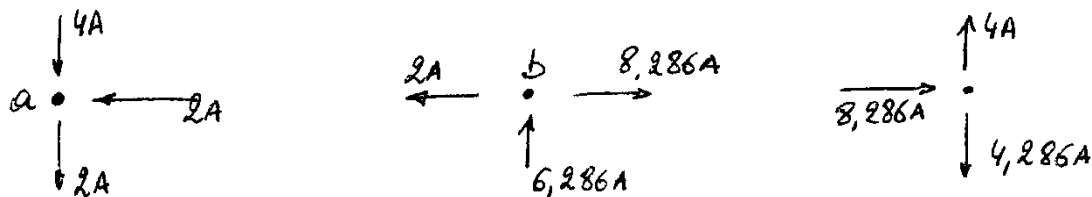
$$R_{V1234} = \frac{R_{V14} \cdot R_{V23}}{R_{V14} + R_{V23}} = \frac{1 \cdot 0,583}{1 + 0,583} = 0,368\Omega$$

$$I'' = \frac{3V}{R_{V1234}} = \frac{3V}{0,368\Omega} = 8,143A$$

$$I_1'' = I_4'' = I'' \cdot \frac{R_{V23}}{R_{V14} + R_{V23}} = 8,143A \cdot \frac{0,583}{1 + 0,583} = 3A$$

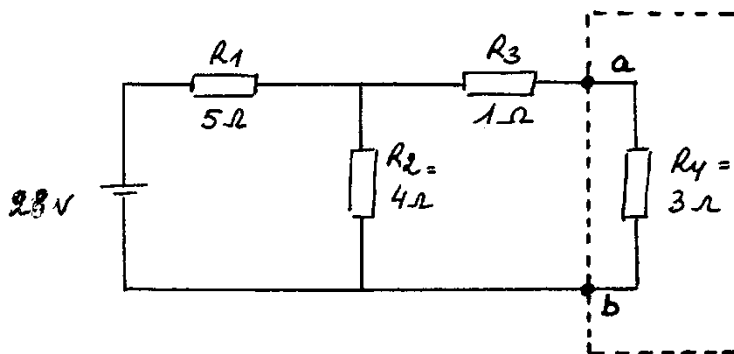
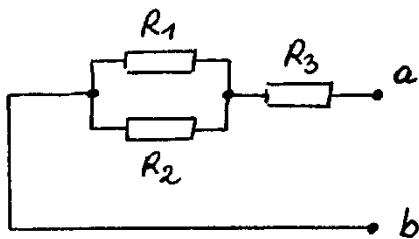
$$\text{dus } I_2'' = I_3'' = I'' - 3A = 5,143A$$

na samenvoegen resultaten in schema A (voorige blz.)
kan je in de krooppunten a, b, c de resultaten controleren



Bijlage 5: stelling van Thévenin I

Oef. 1 blz.20

Berekenen van R_T 

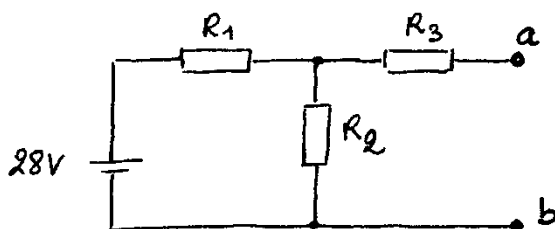
(We veronderstellen $R_i = 0$ voor de spanningsbron van 28V)

$$R_T = R_{V123}$$

$$R_{V12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 5}{4 + 5} = \frac{20}{9} \Omega$$

$$R_{V123} = R_{V12} + R_3 = \frac{20}{9} + 1 = 3,222 \Omega$$

dus $R_T = 3,222 \Omega$

Berekenen van E_T 

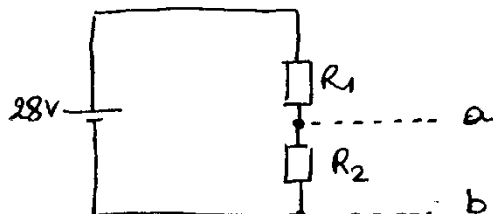
$$E_T = U_{ab}$$

$$U_{ab} = U_2 + U_3 = U_2 + 0 = U_2$$

(U_3 is nul, want er kan geen stroom door R_3 vloeien als de kring open is bij ab)
Dus $I_3 = 0 \rightarrow U_3 = R_3 \cdot I_3 = 0$)

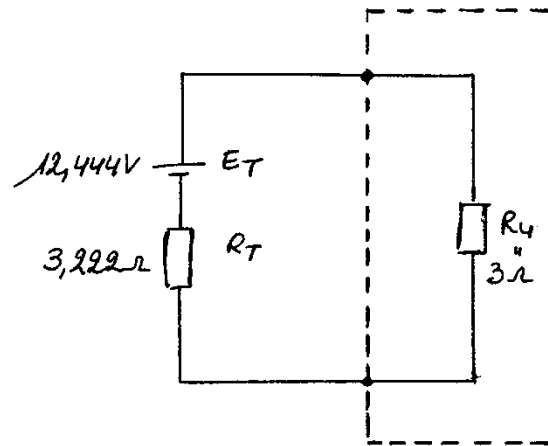
$$U_2 = 28V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 28 \cdot \frac{4}{4 + 5} = 12,44$$

dus $E_T = 12,44V$



Bijlage 5: stelling van Thévenin I

Thévenin equivalent

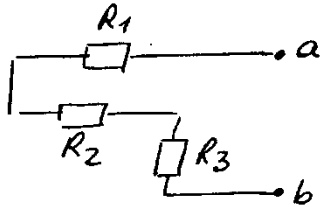


Berekening U_4 op basis van bovenstaand schema

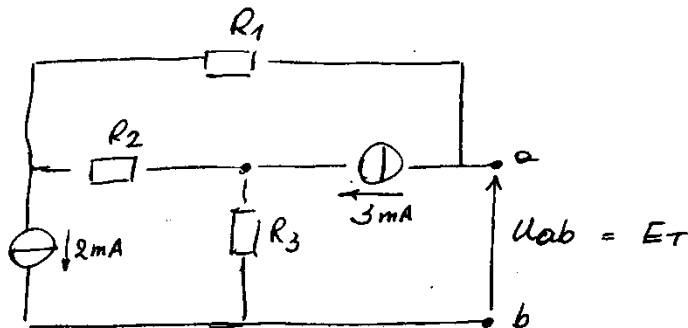
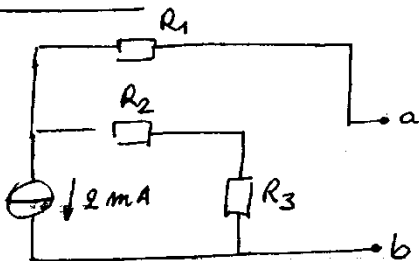
$$U_4 = E_T \cdot \frac{R_L}{R_L + R_T} = 12,444 \cdot \frac{3}{3,222 + 3} = 6V$$

Bijlage 6: stelling van Thévenin II

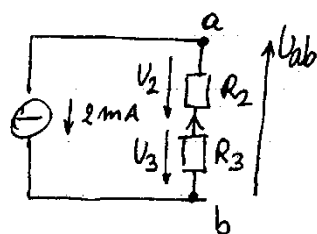
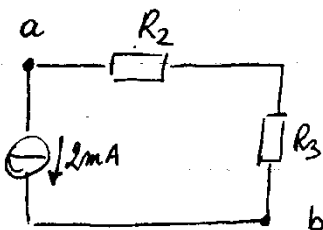
Oef. 6 blz.21

1) Berekenen R_T 

$$\begin{aligned}
 R_T = R_{V123} &= R_1 + R_2 + R_3 \\
 &= 500\ \Omega + 1000\ \Omega + 250\ \Omega \\
 &= 1750\ \Omega
 \end{aligned}$$

2) Berekenen E_T (gebruik superpositie)bron 2mA \rightarrow U_{ab}' 

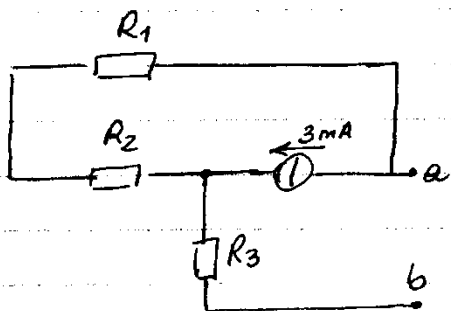
er vloeit geen stroom door R_1 , dus ook geen spanningsval over R_1 , dus schema vereenvoudigen (zie hieronder links)



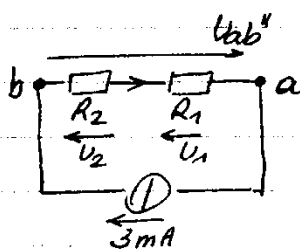
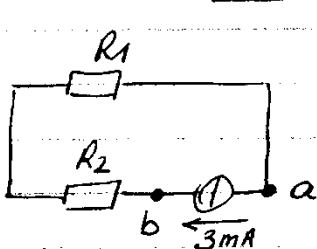
$$\begin{aligned}
 U_{ab}' &= -U_2 - U_3 \\
 &= -R_2 I_2 - R_3 I_3 \\
 &= -1000 \cdot 0,002 - 250 \cdot 0,002 \\
 &= -2,5\ \text{V}
 \end{aligned}$$

Bijlage 6: stelling van Thévenin II

bron 3 mA $\rightarrow U_{ab}''$



er vloeit geen stroom door R_3 ,
dus ook geen spanningsval
over R_3 , dus schema te
vereenvoudigen



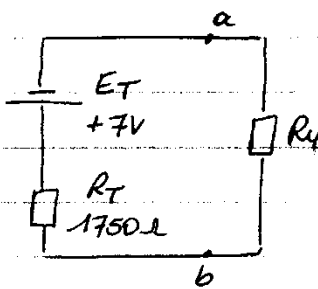
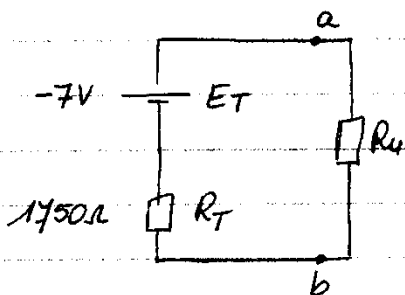
$$\begin{aligned} U_{ab}'' &= -U_2 - U_1 \\ &= -R_2 I_2 - R_1 I_1 \\ &= -1\text{ k}\Omega \cdot 3\text{ mA} - 500\Omega \cdot 3\text{ mA} \\ &= -4,5\text{ V} \end{aligned}$$

resultaat superpositie $U_{ab} = U_{ab}' + U_{ab}''$

$$= -2,5\text{ V} - 4,5\text{ V} = -7\text{ V}$$

$$U_{ab} = E_T = -7\text{ V}$$

3) Thévenin vervangingschema

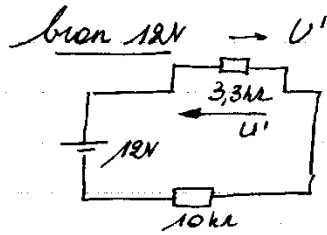


Maximaal vermogen als $R_4 = R_T$, dus dan is
het vermogen van R_4 :

$$P_4 = R_4 \cdot I^2 = R_4 \left(\frac{E_T}{R_4 + R_T} \right)^2 = 1750 \cdot \left(\frac{7}{1750 + 1750} \right)^2 = 7\text{ mW}$$

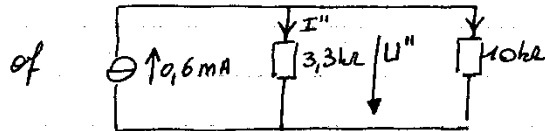
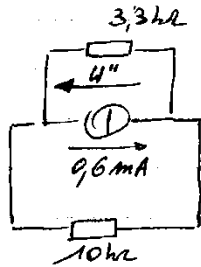
Bijlage 7: overgangverschijnselen (R/L/C op DC) I

vervangschema oplossen met superpositie $U = U' + U''$



$$U' = 12V \cdot \frac{3,3k\Omega}{3,3k\Omega + 10k\Omega} = 2,977V$$

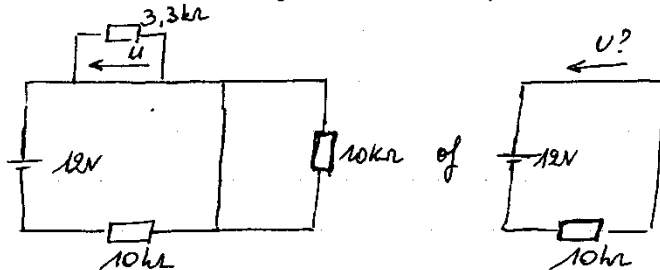
bron 0,6 mA → U''



$U'' =$ spanningg over 3,3 k Ω , maar tegengesteld teken
 $= -0,451 \text{ mA} \cdot 3,3 \text{ k}\Omega = -1,488 \text{ V}$

resultaat superpositie $U = U' + U'' = 2,977V - 1,488V = 1,489V$

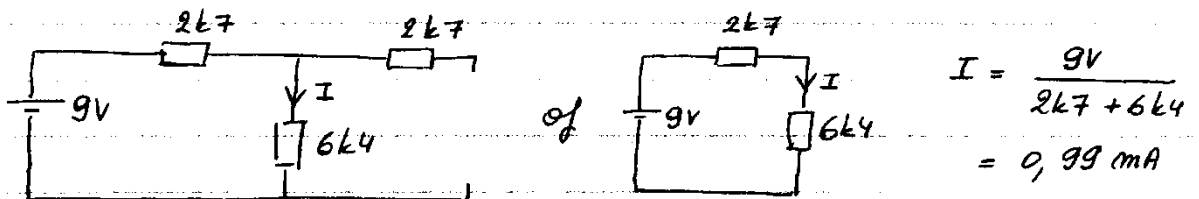
toestand t_3 - regime - S gesloten



spoel = kortsluiting
 $U = 0V$

Bijlage 8: overgangsverschijnselen (R/L/C op AC) II

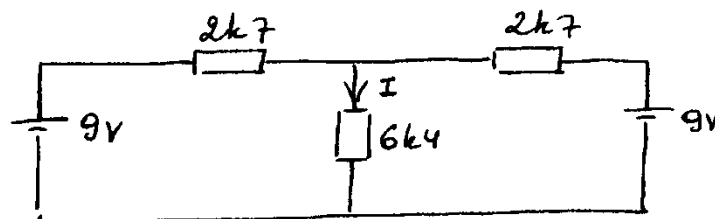
Oef. 11 blz. 24

1) toestand t_1 - S open - regimeopen kring $I = 0$ 2) toestand t_3 - S gesloten - regime

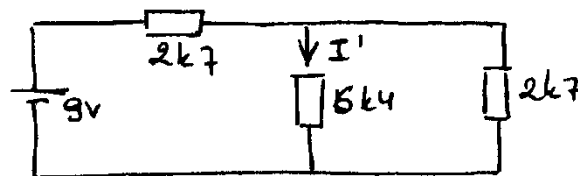
$$I = \frac{9V}{2k7 + 6k4} = 0,99 \text{ mA}$$

3) toestand t_2 - S sluit - overgangsverschijnsel

voor overgang geldt 1) $I = 0$ en 9V over condensator
 tijdens overgang wordt C een bron van 9V
 dus krijgen we folgend schema met twee bronnen



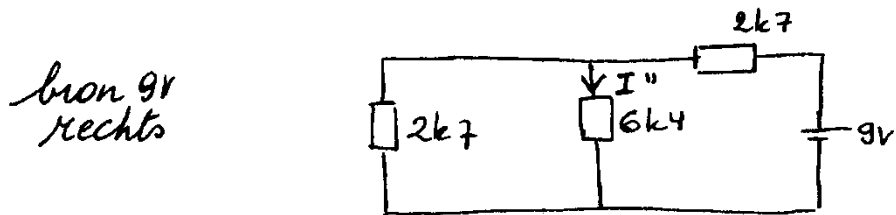
superpositie

bron 9V
links

$$I_{\text{tot}} = \frac{9V}{2700 + \frac{6400 \cdot 2700}{6400 + 2700}} = 1,957 \text{ mA}$$

$$I' = 1,957 \text{ mA} \cdot \frac{2700}{2700 + 6400} = 0,581 \text{ mA}$$

Bijlage 8: overgangsverschijnselen (R/L/C op AC) II



$$I_{\text{tot}} = \text{idem vorige} = 1,957 \text{ mA}$$

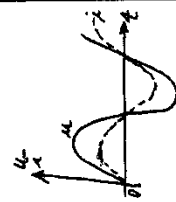

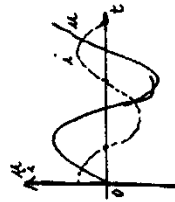

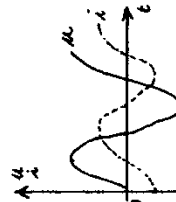
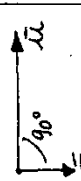
$$I'' = \text{idem } I' = 0,581 \text{ mA}$$

*resultaat
superpositie*

$$I = I' + I'' = 0,581 + 0,581 = 1,161 \text{ mA}$$

Bijlage 9: R/L/C op wisselspanning I

Oef. 1 blz. 29

a	b	c	d	e	f	g	h	
wet van Ohm	impedantie	grafisch u/i	vectorvoorstelling	fasenverloop	complex coördinaat	complex polair	complex exponentieel	
$U = \vec{I} \cdot \vec{R}$	$\vec{R} = R$			$\varphi = 0^\circ$ in fase	$\vec{I} = I + j0$ $\vec{U} = U + j0$	$\vec{I} = I < 0^\circ$ $\vec{U} = U < 0^\circ$	$\vec{I} = I \cdot e^{j0}$ $\vec{U} = U \cdot e^{j0}$	R weerstand
$U = \vec{I} \cdot \vec{X}_C$	$\vec{X}_C = -j X_C$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$ $\omega = 2\pi f$			$\varphi = 90^\circ$ stroom ijkt voor	$\vec{U} = U + j0$ $\vec{I} = 0 + jI$	$\vec{U} = U < 0^\circ$ $\vec{I} = I < 90^\circ$	$\vec{U} = U \cdot e^{j0}$ $\vec{I} = I \cdot e^{j90}$	C condensator
$U = \vec{I} \cdot \vec{X}_L$	$\vec{X}_L = j X_L$ $X_L = \omega L$ $\omega = 2\pi f$			$\varphi = -90^\circ$ stroom ijkt na	$\vec{U} = U + j0$ $\vec{I} = 0 - jI$	$\vec{U} = U < 0^\circ$ $\vec{I} = I < -90^\circ$	$\vec{U} = U \cdot e^{j0}$ $\vec{I} = I \cdot e^{-j90}$	L spoel
W E E R S T A N D								
C O N D E N S A T O R								
S P O E L								

Bijlage 10: R/L/C op wisselspanning II

Oef. 11 blz. 30

$$\begin{aligned}
 \text{impedantie } \bar{Z} &= \bar{X}_L + \bar{Z}_{\text{par}} = \bar{X}_L + \frac{\bar{R} \cdot \bar{X}_C}{\bar{R} + \bar{X}_C} \\
 &= 3000j + \frac{4000(-2000j)}{4000 + (-2000j)} \\
 &= 3000j + 800 - 1600j = 800 + 1400j \\
 &= 1612,451 \Omega \angle -60,25^\circ
 \end{aligned}$$

$$\text{totale stroom } \bar{I} = \bar{I}_L$$

$$\begin{aligned}
 \bar{I} &= \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} = \frac{48}{800 + 1400j} = 0,015 - 0,026j \text{ A} \\
 &= 29,468 \text{ mA} \angle -60,25^\circ
 \end{aligned}$$

$$\text{spanning over } L = \bar{U}_L$$

$$\begin{aligned}
 \bar{U}_L &= \bar{I} \cdot \bar{X}_L = (0,015 - 0,026j) \cdot 3000j \\
 &= 77,538 + 44,306j \text{ V} \\
 &= 89,305 \text{ V} \angle 29,74^\circ
 \end{aligned}$$

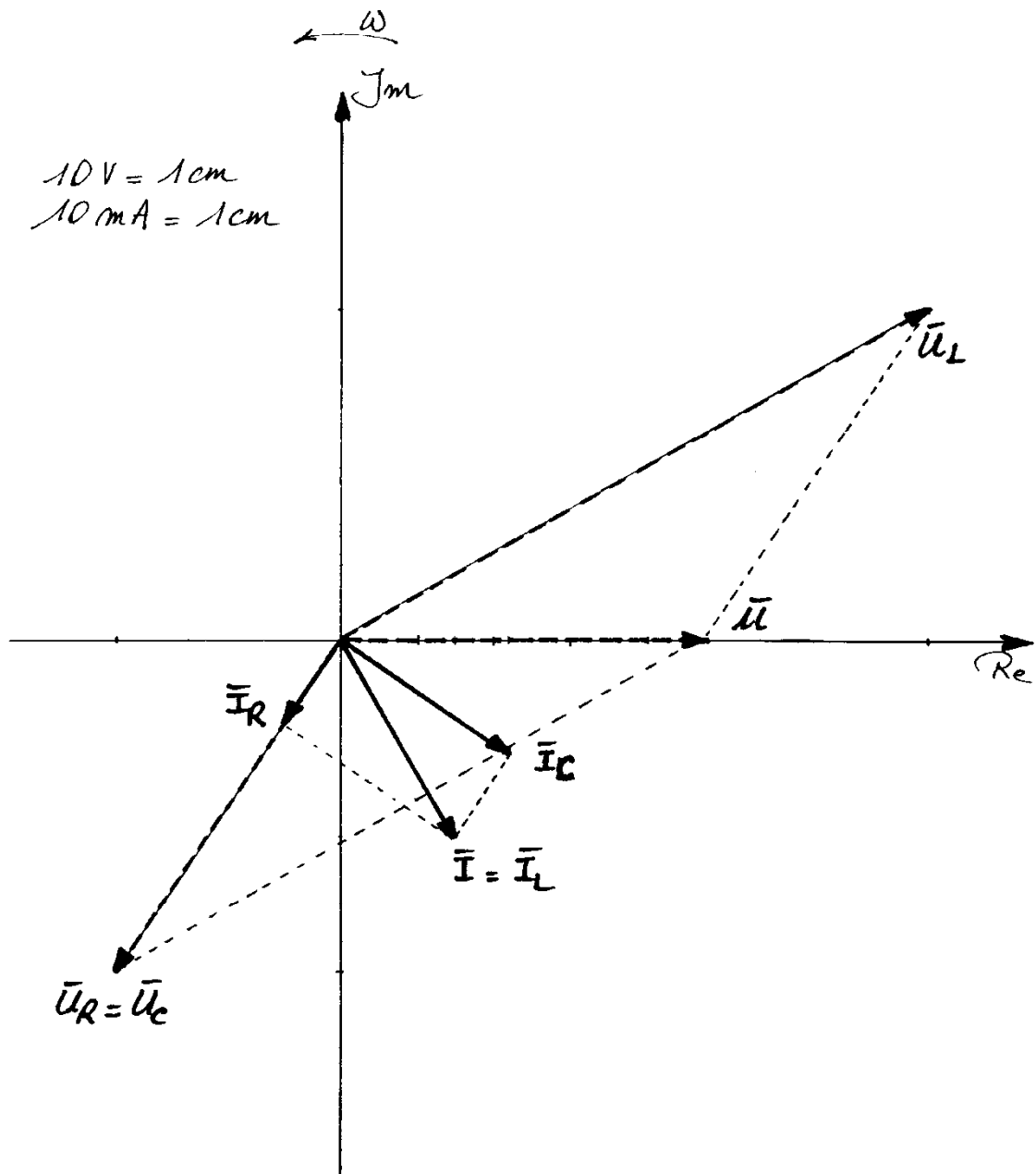
$$\text{spanning over } R \text{ en } C = \bar{U} - \bar{U}_L$$

$$\begin{aligned}
 \bar{U}_R = \bar{U}_C = \bar{U} - \bar{U}_L &= 48 - 77,538 - 44,306j \text{ V} \\
 &= -29,538 - 44,308j \text{ V} \\
 &= 53,251 \text{ V} \angle -123,689^\circ
 \end{aligned}$$

$$\text{stroom door } R \text{ en } C$$

$$\begin{aligned}
 \bar{I}_R &= \frac{\bar{U}_R}{\bar{R}} = \frac{-29,538 - 44,308j \text{ V}}{4000 \Omega} = -0,007 - 0,011j \text{ A} \\
 &= 13,313 \text{ mA} \angle -123,689^\circ \\
 \bar{I}_C &= \frac{\bar{U}_C}{\bar{X}_C} = \frac{-29,538 - 44,308j \text{ V}}{-2000j} = 0,022 - 0,015j \text{ A} \\
 &= 26,626 \text{ mA} \angle -33,689^\circ
 \end{aligned}$$

Bijlage 10: R/L/C op wisselspanning II



Graphische controle van oef. 11