

Elektrotechnik

Leerjaar 1

Periode 1



Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff is dé educatieve mediaspecialist en levert educatieve oplossingen voor het Primair Onderwijs, Voortgezet Onderwijs, Middelbaar Beroepsonderwijs en Hoger Onderwijs. Deze oplossingen worden ontwikkeld in nauwe samenwerking met de onderwijsmarkt en dragen bij aan verbeterde leeropbrengsten en individuele talentontwikkeling.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze educatieve oplossingen: www.thieme-meulenhoff.nl of via de Klantenservice 088 800 20 16

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2014.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Inhoud

1	Basisbegrippen voor netwerken	5
1.1	Afspraken en regels voor netwerken	7
1.1.1	Stroomafspraken	7
1.1.2	Spanningsafspraken	9
1.1.3	Onbelaste en belaste spanning	11
1.1.4	Deelspanningen en deelstromen	12
1.2	Bijzondere energiebronnen en weerstandswaarden	12
1.2.1	Ideale spanningsbronnen	12
1.2.2	Ideale stroombronnen	13
1.2.3	Weerstand tussen 0Ω en $\infty \Omega$	14
1.3	Wet van Ohm	14
1.4	Eerste wet van Kirchhoff	16
1.5	Tweede wet van Kirchhoff	19
1.6	Weerstandsmeting met volt- en ampèremeter	21
1.7	Kernpunten	25
	Opgaven	27
2	Netwerken van weerstanden	47
2.1	Serieschakelingen van weerstanden	49
2.2	Stroom- en spanningsregeling	54
2.2.1	Spanningsdeler	54
2.2.2	Stroomregeling	55
2.3	Metten van spanning bij serieschakeling	59
2.3.1	Metten van deelspanning	59
2.3.2	Vergroten van het spanningsbereik	60
2.4	Parallelschakeling van weerstanden	62
2.5	Metten van stromen bij parallelschakeling	66
2.5.1	Metten van deelstromen	66
2.5.2	Vergroten van stroombereik	68
2.6	Gemengde schakelingen met weerstanden	69
2.7	Schakelingen met lineaire en niet-lineaire weerstanden	76
2.8	Beïnvloeding meting door meterweerstand	81
2.9	Metten van vermogen	84
2.10	Kernpunten	85
	Opgaven	87
3	Arbeid en vermogen	133
3.1	Energieomzetting in toestellen	135
3.2	Energieverbruik en elektrische arbeid	138
3.3	Het vermogen van elektrische toestellen	143
3.4	Maximale stroom door een weerstand	152
3.5	Maximale spanning over een weerstand	153
3.6	Het vermogen in verschillende schakelingen	156
3.7	Metten van het energieverbruik	170
3.8	Metten van het vermogen	171
3.9	Meetopdrachten 1: meten met de kilowattuurmeter	172
3.10	Meetopdrachten 2: meten van het vermogen	174

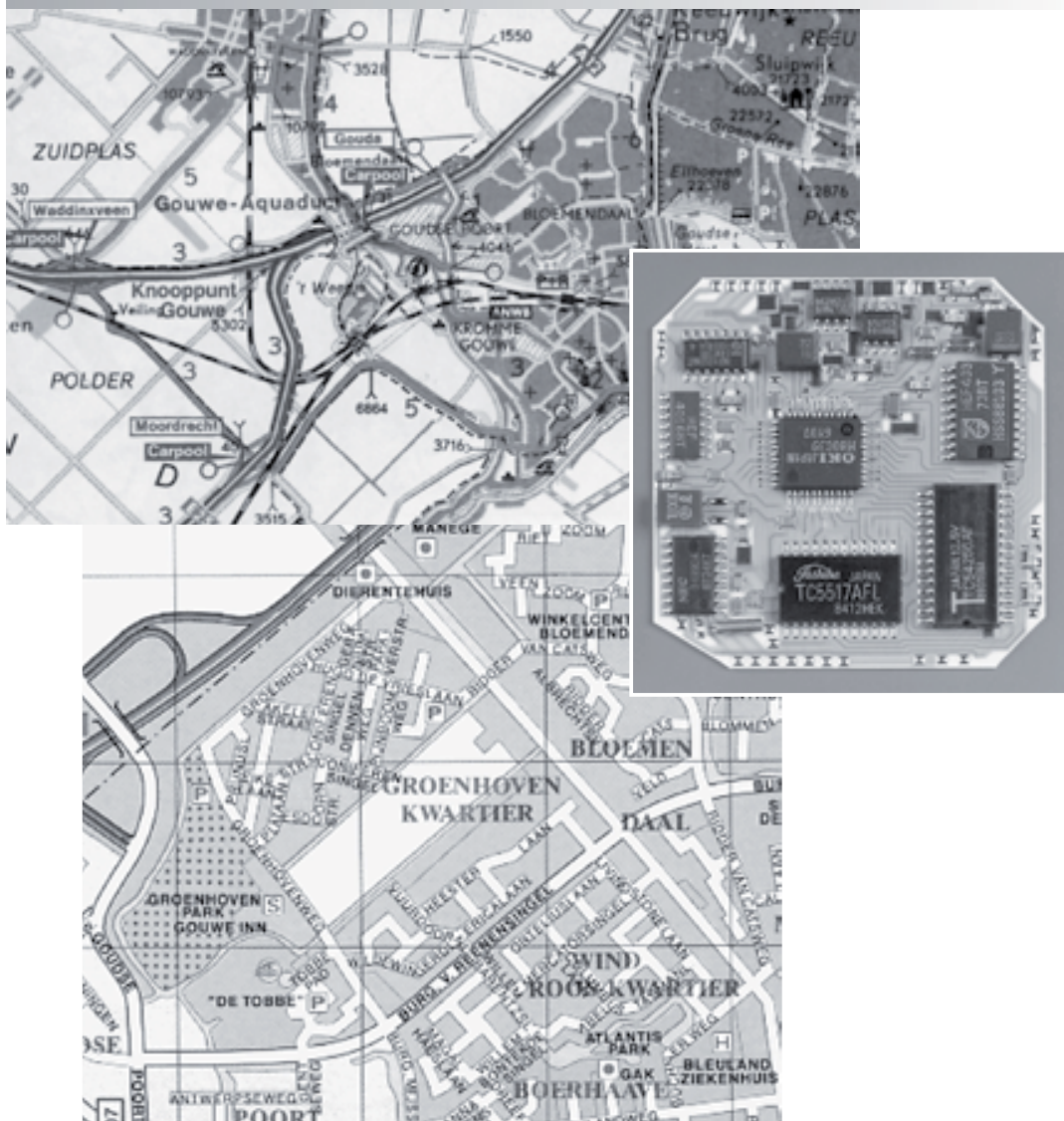
Basisbegrippen voor netwerken

1



WAAR GAAT HET OVER?

- Als we een wegenkaart bekijken, zien we op het eerste gezicht een wirwar van wegen. Dat is zeker het geval rond steden.
- Bij een meer nauwkeurige bestudering zien we dat er toch wel een bepaalde logica in de wegenstructuur zit. We kunnen spreken van een *netwerk* van wegen.
- In de steden zelf zijn ook weer netwerken van wegen aangelegd om de verschillende wijken te kunnen bereiken. In elke wijk vinden we dan weer een netwerk van straten. We kunnen zeggen dat er dus verschillende soorten netwerken zijn.

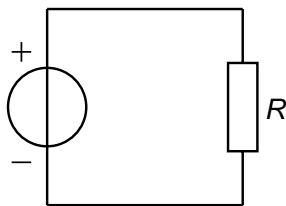


Figuur 1.0 Stukje wegenkaart, stadsplan en printplaat

Wat heeft dit verhaal nu met elektrotechniek te maken? De overeenkomst is dat we in de elektrotechniek ook te maken krijgen met verschillende soorten netwerken.

Als voorbeeld nemen we een netwerk zoals dat voorkomt bij computers. Met een computernetwerk bedoelen we dat meerdere computers op een bepaalde manier met elkaar zijn verbonden. Vergelijk dit met de wegen om de stad. Als we een kijkje in de computer nemen, zien we een aantal printplaten (kaarten), die ook weer met elkaar zijn verbonden. Ook dat is weer een netwerk. Vergelijk dit met de wegen naar de wijken. Ook de schakelingen op de printplaten zijn op zich weer netwerken. Dit komt dan overeen met de straten in de wijk. Al deze netwerken zijn verschillend en hebben een bepaalde opbouw en eigenschappen. De netwerken op de printplaat bijvoorbeeld zijn weer opgebouwd uit basisnetwerken met bepaalde eigenschappen. Het gaat in dit hoofdstuk over de eigenschappen van deze *basisnetwerken* die inzicht geven in grotere schakelingen of netwerken.

In figuur 1.1 zien we een basisnetwerk getekend met een spanningsbron en een weerstand. De onderdelen noemen we componenten. Weerstanden zijn passieve componenten, wat betekent dat ze geen vermogensversterking veroorzaken. Dat betekent dat het door de component afgegeven vermogen nooit groter is dan het naar de component toegevoerde vermogen.



Figuur 1.1 Basisnetwerk

Elektriciteitsleer

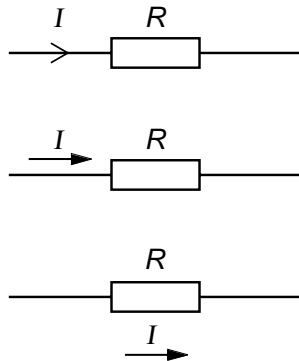
1.1 Afspraken en regels voor netwerken

Om aan netwerken te kunnen rekenen, zijn er afspraken gemaakt. Deze afspraken staan vermeld in het *normblad NEN 3570*. Voor ons is nu belangrijk te weten welke afspraken er zijn voor stroom en spanning.

1.1.1 Stroomafspraken

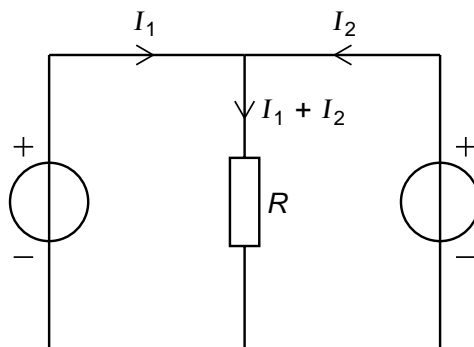
De stroomrichting geven we aan met een pijl. De pijl kan in de leiding of boven de leiding of onder de component getekend zijn. Zie figuur 1.2.

We spreken af dat we de pijl in de leiding zetten. Dan realiseren we ons goed dat de stroom er echt doorheen gaat.



Figuur 1.2 Stroomrichting

De stroom gaat in een stroomkring van plus (+) naar min (-). Als we van tevoren niet weten wat de stroomrichting is, kiezen we zelf een stroomrichting. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen in schakelingen met meerdere *takken*. Zie figuur 1.3. Als na berekening het antwoord positief blijkt te zijn, is de gekozen stroomrichting juist. Als het antwoord negatief is, is de stroomrichting tegengesteld aan de gekozen richting.



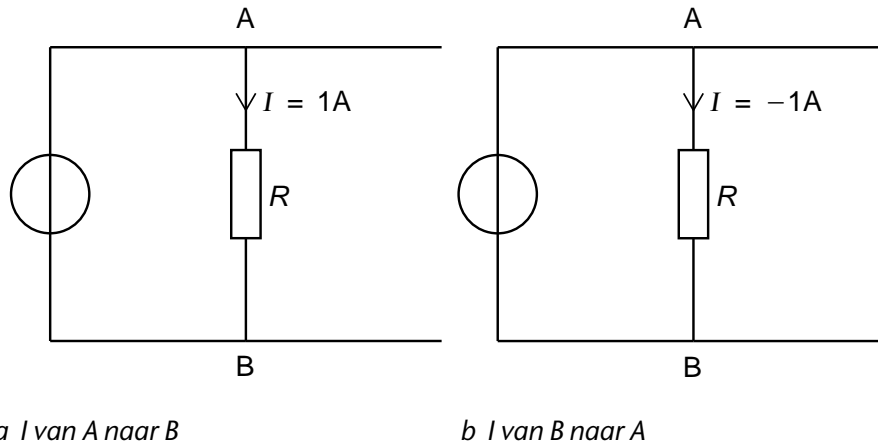
Figuur 1.3 Stroomrichting in takken

Voorbeeld 1.1

In figuur 1.4 zien we een deel van een schakeling, waarbij tussen punt A en punt B de *gekozen* stroomrichting is getekend.

Als we na berekening een positief antwoord vinden, is de stroomrichting van A naar B. Zie figuur 1.4a.

In figuur 1.4b is de stroomrichting van B naar A, want het antwoord is negatief.

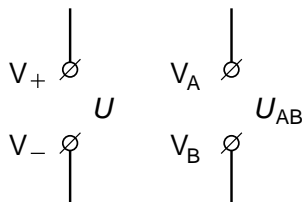


Figuur 1.4 Stroomrichting positief en negatief

1.1.2 Spanningsafspraken

Het spanningsniveau op één punt noemen we de *potentiaal*. We geven de potentiaal aan met de letter V_{index} , waarbij de index een letter, een cijfer, een plusteken (+) of minteken (-) kan zijn. Bijvoorbeeld V_a , V_1 , V_+ , V_- .

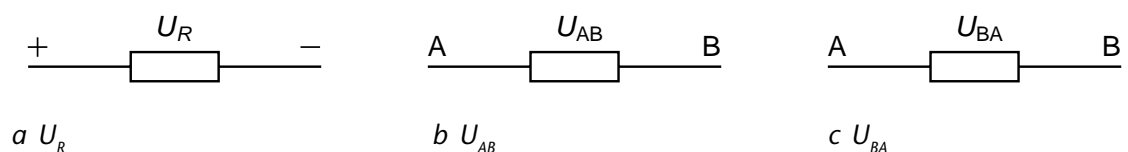
De spanning is het *potentiaalverschil* tussen twee punten, bijvoorbeeld $U = V_+ - V_-$ of $U_{AB} = V_A - V_B$. Zie figuur 1.5.



Figuur 1.5 Potentiaalverschil

De polariteit van een spanning kunnen we op twee manieren weergeven:

- met + en -, waarbij het plusteken de hoogste polariteit aangeeft (zie figuur 1.6a);
- door een dubbele index (bijvoorbeeld letters) bij het symbool van de spanning te zetten waarbij de eerste index overeenkomt met de + (zie figuur 1.6b).



Figuur 1.6 Polariteitweergave

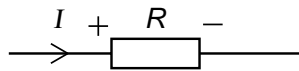
Voorbeeld 1.2

In figuur 1.6b is V_A positief ten opzichte van V_B , als het antwoord van U_{AB} positief is. De spanning geven we dan aan met U_{AB} . Bijvoorbeeld $U_{AB} = 12 \text{ V}$. Als het antwoord van U_{AB} negatief is (bijvoorbeeld $U_{AB} = -12 \text{ V}$), dan is V_B positief ten opzichte van V_A . Dit noteren we ook wel als U_{BA} .

Zie figuur 1.6c.

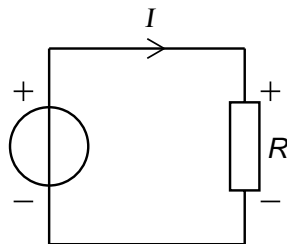
Maar (denk goed na) dan is het antwoord positief. Dus $U_{BA} = 12 \text{ V}$.

De afspraak is dat de stroom van + naar – gaat. Daarom is bij een passieve component het punt met de + polariteit, daar waar de stroom binnenkomt. Zie figuur 3.7.



Figuur 1.7 Stroomrichting en polariteit bij een passieve component

Met deze afspraken hebben we in de stroomkring van figuur 1.8 de stroomrichting en de polariteiten van de spanningsbron en de spanning over de weerstand weergegeven. Merk op dat de stroom in de weerstand van + naar – gaat en in de spanningsbron van – naar +.



Figuur 1.8 Toepassing van stroomrichting en polariteit

Voorbeeld 1.3**Gegeven**

De schakeling in figuur 1.9.

Gevraagd

- In welke richting loopt I_{AB} en in welke richting I_{BA} ?
Welke waarden hebben deze stromen?
- Welke polariteit heeft punt A ten opzichte van punt B?

Oplossing

a I is positief en stroomt dus in de getekende richting.

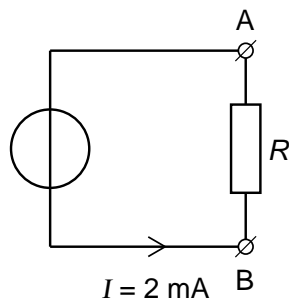
I_{AB} loopt van A naar B en is -2 mA.

I_{BA} loopt van B naar A en is 2 mA.

b De stroom komt binnen bij punt B.

Daarom is punt B positief ten opzichte van punt A.

Dan is punt A negatief ten opzichte van punt B.



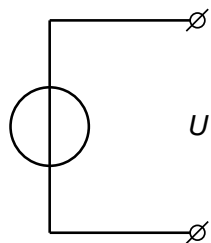
Figuur 1.9 Schakeling met $I = 2$ mA

1.1.3 Onbelaste en belaste spanning

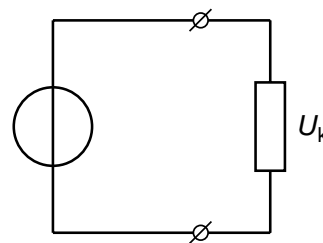
Wat we op een spanningsbron aansluiten noemen we een *belasting*.

Als er niets op de spanningsbron is aangesloten, is de spanningsbron *onbelast*. De onbelaste spanning noemen we de *bronspanning* en deze geven we aan met de letter U . Zie figuur 1.10a.

Als er een belasting op de spanningsbron is aangesloten, is de spanningsbron *belast*. De belaste spanning aan de klemmen van de spanningsbron noemen we de *klemspanning*. Deze geven we aan met U_k . Zie figuur 1.10b.



a Onbelaste spanningsbron



b Belaste spanningsbron

Figuur 1.10 Bron- en klemspanning

1.1.4 Deelspanningen en deelstromen

In een netwerk kunnen meerdere spanningen en stromen voorkomen.

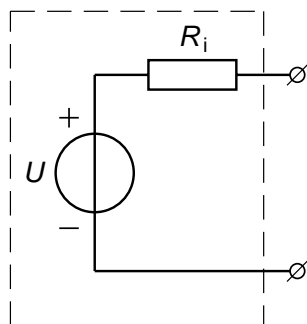
De spanningen over de componenten noemen we *deelspanningen*.

De stromen door de componenten noemen we *deelstromen*. Deelspanningen en deelstromen geven we aan met logisch genummerde indices (meervoud van index) bijvoorbeeld $U_1, U_2, I_1, I_2, U_{R_1}, U_{R_2}, I_{R_1}$ en I_{R_2} .

1.2 Bijzondere energiebronnen en weerstandswaarden

1.2.1 Ideale spanningsbronnen

Spanningsbronnen zijn gemaakt van materialen die weerstand hebben. Een spanningsbron heeft dus een eigen weerstand die we de *inwendige weerstand* noemen. We geven deze aan met R_i . Zie figuur 1.11.



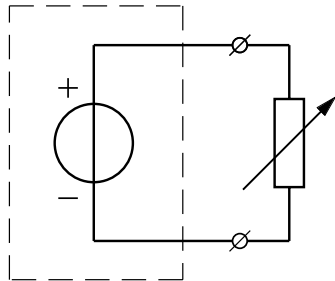
Figuur 1.11 Voorstelling van een niet-ideale spanningsbron

De *inwendige weerstand* R_i moet je zien als een weerstand die in serie is geschakeld met de spanningsbron. Een gevolg hiervan is dat er bij belasting, inwendig spanningsverlies in de spanningsbron ontstaat. Daardoor daalt de klemspanning.

Bij veel berekeningen is het handig om uit te gaan van spanningsbronnen die geen inwendige weerstand hebben. Dat noemen we *ideale spanningsbronnen*. Ideale spanningsbronnen bestaan eigenlijk alleen in theorie, maar het elektriciteitsnet mogen we wel als ideale spanningsbron beschouwen, omdat daarvan de inwendige weerstand zeer klein is. Ook *gestabiliseerde* voedingen hebben een erg lage inwendige weerstand en deze benaderen daardoor de ideale spanningsbron.

In figuur 1.12 zien we het schema van een ideale spanningsbron die belast is met een variabele weerstand.

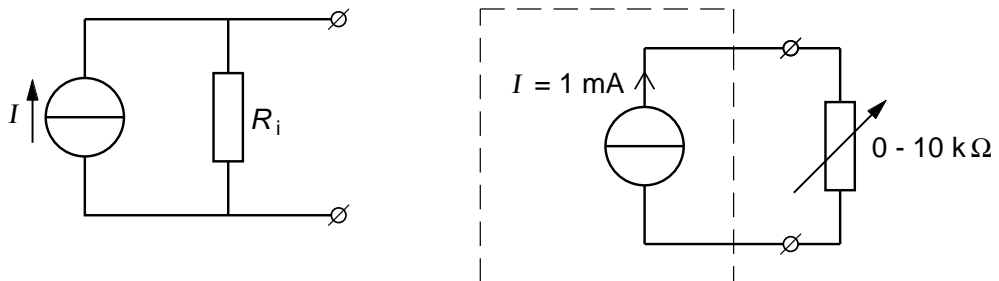
Omdat er geen inwendig spanningsverlies is, blijft de spanning aan de klemmen van de spanningsbron constant als de belasting (weerstandswaarde) varieert.



Figuur 1.12 Ideale spanningsbron met belasting

1.2.2 Ideale stroombronnen

Stroombronnen leveren een stroom aan de belasting die afhankelijk van de inwendige weerstand wel of niet constant is. De *inwendige weerstand* R_i bij een stroombron moet je zien als een weerstand die parallel is geschakeld met de stroombron. Zie figuur 1.13.



a voorstelling niet-ideale stroombron b ideale stroombron met belasting

Figuur 1.13 Stroombron

Een ideale stroombron heeft een oneindig grote inwendige weerstand. Dat betekent dat er geen stroomvariatie is als de stroombron wordt belast. Een ideale stroombron levert dus een constante stroom. In figuur 1.13b zien we een ideale stroombron waarop we een variabele belasting hebben aangesloten.

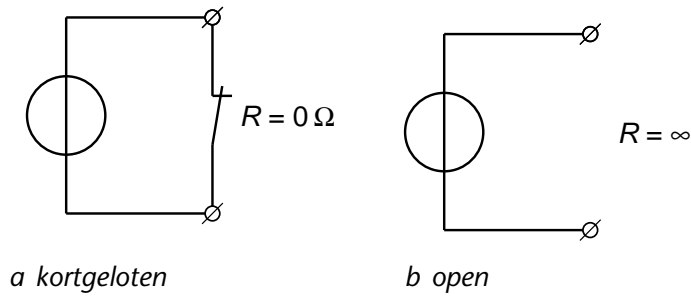
Bij wisselende belasting blijft de stroom door de weerstand constant.

Ook een ideale stroombron bestaat alleen in theorie, maar er zijn elektronische schakelingen die de ideale stroombron zeer dicht benaderen.

1.2.3 Weerstand tussen 0Ω en $\infty \Omega$

Extreme weerstandswaarden zijn 0Ω en $\infty \Omega$. Deze hebben we alleen in bijzondere situaties. Bij berekeningen gaan we er vanuit dat de weerstand aan de klemmen 0Ω is, als de klemmen zijn kortgesloten zoals in figuur 1.14a.

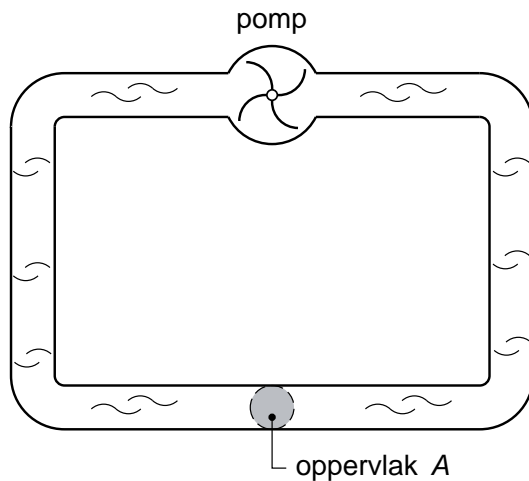
Als tussen de klemmen niets is aangesloten, is de weerstand oneindig groot. Zie figuur 1.14b.



Figuur 1.14 Kortgesloten en open klemmen

1.3 Wet van Ohm

In figuur 1.15 zien we een waterpomp waarop een buis is aangesloten met doorsnede A (oppervlakte).

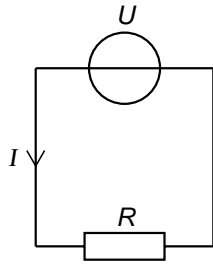


Figuur 1.15 Watermodel

De waterstroom is afhankelijk van de waterdruk en de doorsnede van de buis. Als we de waterdruk verdubbelen, verdubbelt ook de waterstroom. Daaruit volgt

dat de verhouding $\frac{\text{waterdruk}}{\text{waterstroom}} = \text{constant}$.

Hetzelfde gebeurt in een elektrische stroomkring zoals in figuur 1.16.



Figuur 1.16 Stroomkring met weerstand

De (ideale) spanningsbron kunnen we vergelijken met de waterpomp en de weerstand met de buis. Verhogen van de spanning maakt de stroom evenredig groter. Ook hier geldt voor de stroomkring de verhouding:

$$\frac{\text{spanning}}{\text{stroom}} = \text{constant}$$

Het verband tussen spanning en stroom in een stroomkring staat bekend als de *wet van Ohm*. De natuurkundige Ohm noemde de constante de *weerstand*.

Als we voor spanning, stroom en weerstand de bekende letters invullen, dan luidt de wet van Ohm in formule:

$$\mathbf{I} \quad \frac{U}{I} = R \text{ (wet van Ohm)} \quad (1.1)$$

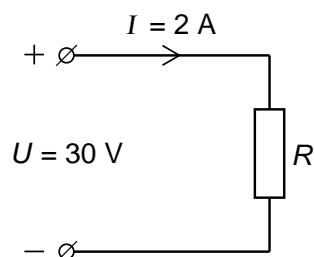
Met:

- U = spanning in V;
- I = stroom in A;
- R = weerstand in Ω .

Voorbeeld 1.4

Gegeven

Zie figuur 1.17.



Figuur 1.17 Schakeling met $U = 30 \text{ V}$

Gevraagd

Bereken de weerstand R .

Oplossing

$$R = \frac{U}{I} = \frac{30 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 15 \Omega$$

Voorbeeld 1.5

Een ideale stroombron levert een stroom van 1 mA. Op de stroombron worden achtereenvolgens een weerstand van 1 k Ω , 2 k Ω en 3 k Ω aangesloten. Bereken in deze drie gevallen de spanning over de belasting.

Gegeven

$I = 1 \text{ mA}$ constant

Gevraagd

U bij R is 1 k Ω , 2 k Ω en 3 k Ω

Oplossing

Bij $R = 1 \text{ k}\Omega$: $U = I \cdot R \Rightarrow U = 1 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ V}$

Bij $R = 2 \text{ k}\Omega$: $U = I \cdot R \Rightarrow U = 1 \text{ mA} \times 2 \text{ k}\Omega = 2 \text{ V}$

Bij $R = 3 \text{ k}\Omega$: $U = I \cdot R \Rightarrow U = 1 \text{ mA} \times 3 \text{ k}\Omega = 3 \text{ V}$

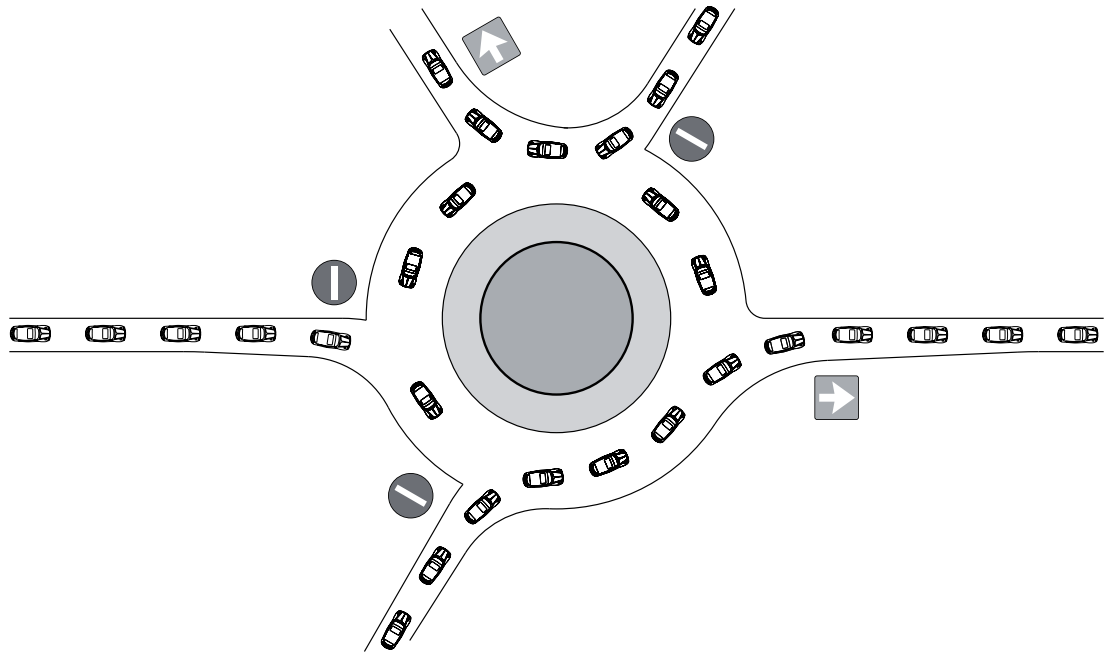
WIST JE DAT ...

- een kortsluiting niet echt 0 Ω is, omdat de leidingweerstand er nog is;
- de R afkomstig is van *resistance*;
- George Simon Ohm al in 1826 zijn wet opstelde.

1.4 Eerste wet van Kirchhoff

Tot nu toe hebben we gewerkt met één passieve component (weerstand) en één spanningsbron. In een uitgebreider netwerk komen natuurlijk veel meer passieve componenten en energiebronnen voor. Voor berekeningen aan netwerken gebruiken we twee wetten van Kirchhoff: de 1e wet van Kirchhoff en de 2e wet van Kirchhoff. Om de 1^e wet van Kirchhoff te begrijpen maken we een vergelijking met een verkeersknooppunt. Zie figuur 1.18. Daarop komen wegen uit met eenrichtingsverkeer.

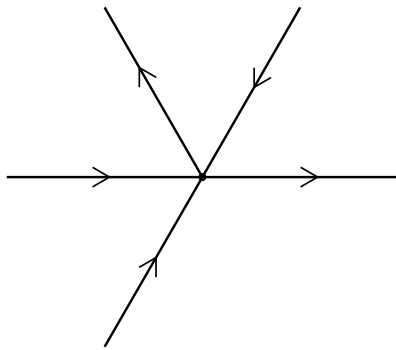
Het aantal auto's dat naar het knooppunt toe rijdt, is net zo groot als het aantal auto's dat er vanaf rijdt. (Zo niet, dan krijgen we een opstopping.)



Figuur 1.18 Verkeersknooppunt

We kunnen ook zeggen dat de som van de toevloeiende auto's gelijk is aan de som van de afvloeiende auto's: $\sum_{\text{toe}} = \sum_{\text{af}} \Rightarrow \sum_{\text{toe}} + (-)\sum_{\text{af}} = 0$. De som van de auto's is dus 0.

Zo is het ook met *stromen* in een knooppunt. Zie figuur 1.19.



Figuur 1.19 Knooppunt van stromen

Kirchhoff vond de volgende stroomvergelijking:

In een knooppunt is de som van de toevloeiende stromen gelijk aan de som van de afvloeiende stromen.

Ofwel:

$$\sum I_{\text{toevloeiend}} = \sum I_{\text{afvloeiend}} \Rightarrow \sum I_{\text{toevloeiend}} + (-\sum I_{\text{afvloeiend}}) = 0$$

We kunnen dus zeggen dat de *som* van de stromen in een knooppunt gelijk is aan 0:

$$\sum I = 0 \quad (1^{\text{e}} \text{ wet van Kirchhoff}) \quad (1.2)$$

Dit is de 1^e wet van Kirchhoff. Deze noemen we ook wel de stroomwet. Om een vraagstuk op te lossen, kunnen we het best met een *oplossingsrecept* werken. In dat recept verwerken we de tekenafspraken over stromen.

Oplossingsrecept eerste wet van Kirchhoff

Kies bij berekeningen voor onbekende stromen een stroomrichting, waarbij:

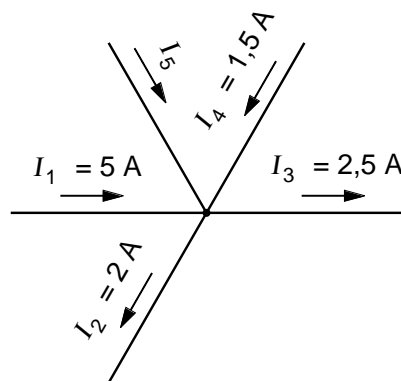
- stromen naar het knooppunt toe positief zijn;
- stromen van het knooppunt af negatief zijn.

Als we een negatief antwoord vinden voor de onbekende stroom, is de stroomrichting tegengesteld aan de gekozen richting.

Voorbeeld 1.6

Gegeven

Zie figuur 1.20.



Figuur 1.20 Stroomknooppunt

Gevraagd

I_5

Oplossing

$$\sum I = 0$$

I_1, I_4 en I_5 stromen naar het knooppunt toe, dus zijn positief volgens het recept.

I_2 en I_3 stromen van het knooppunt af en zijn dus negatief.

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 = 0 \Rightarrow$$

$$5 \text{ A} - 2 \text{ A} - 2,5 \text{ A} + 1,5 \text{ A} + I_5 = 0 \Rightarrow$$

$$2 \text{ A} + I_5 = 0 \Rightarrow$$

$$I_5 = -2 \text{ A}.$$

Het antwoord is negatief. Dat betekent dat de gekozen stroomrichting voor I_5 fout verondersteld is. Er loopt dus een stroom van 2 A van het knooppunt af.

1.5 Tweede wet van Kirchhoff

Uit onderzoek dat Kirchhoff deed, bleek dat in netwerken met meerdere spanningsbronnen en componenten ook voor elke gesloten stroomkring geldt:

De som van de spanningen in een stroomkring is 0.

Ofwel:

$$\sum U = 0 \quad (2^{\text{e}} \text{ wet van Kirchhoff}) \quad (1.3)$$

Dit is de 2^e wet van Kirchhoff, die we ook wel de spanningswet noemen. Voor het oplossen van vraagstukken met meerdere spanningsbronnen in een stroomkring gebruiken we het volgende recept:

Oplossingsrecept Tweede wet van Kirchhoff voor 1 stroomkring

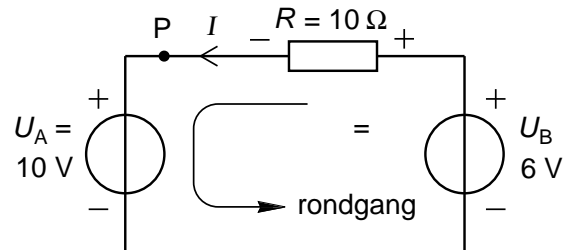
Doe de volgende stappen:

- kies een stroomrichting en teken die in de leiding;
- zet polariteiten (+ en –) bij de weerstanden (tekenafpraak is dat de + komt daar waar de stroom bij de weerstand binnenkomt);
- start uit een willekeurig punt een ‘rondgang’ langs de spanningen en geef de gekozen richting van de rondgang aan;
- als we bij het rondgaan bij een spanning eerst een + tegenkomen, dan is de spanning positief, anders negatief.

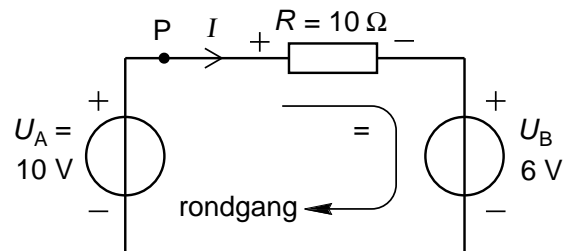
We passen dit toe op het volgende voorbeeld.

Voorbeeld 1.7

In figuur 1.21 en figuur 1.22 zijn dezelfde schakelingen getekend met twee spanningsbronnen en een weerstand. Bereken de stroom I en de spanning U_R over R . Om een oplossing te vinden gebruiken we het oplossingsrecept.



Figuur 1.21 Rondgang linksom



Figuur 1.22 Rondgang rechtsom

We starten in punt P volgens de aangegeven rondgang.

We kiezen een stroomrichting in de leiding.

Dan zetten we de polariteiten bij de weerstand

We starten in punt P (willekeurig punt) een rondgang in de aangegeven richting.

Nu kunnen we voor de twee schema's vergelijkingen opstellen

Voor figuur 1.21 geldt:

$$10 \text{ V} - 6 \text{ V} + I \cdot 10 = 0 \Rightarrow$$

$$4 \text{ V} + 10 \cdot I = 0 \Rightarrow$$

$$10 \cdot I = -4 \text{ V} \Rightarrow$$

$$I = -0,4 \text{ A} \Rightarrow$$

$$U_R = I \cdot R = -0,4 \times 10 = -4 \text{ V} \Rightarrow$$

I en U_R zijn negatief \Rightarrow stroomrichting fout gekozen.

Voor figuur 1.22 geldt:

$$I \cdot R + 6 \text{ V} - 10 \text{ V} = 0 \Rightarrow$$

$$10 \cdot I - 4 \text{ V} = 0 \Rightarrow$$

$$10 \cdot I = 4 \text{ V} \Rightarrow$$

$$I = 0,4 \text{ A} \Rightarrow$$

$$U_R = I \cdot R = 0,4 \times 10 = 4 \text{ V} \Rightarrow$$

I en U_R zijn positief \Rightarrow stroomrichting goed gekozen.

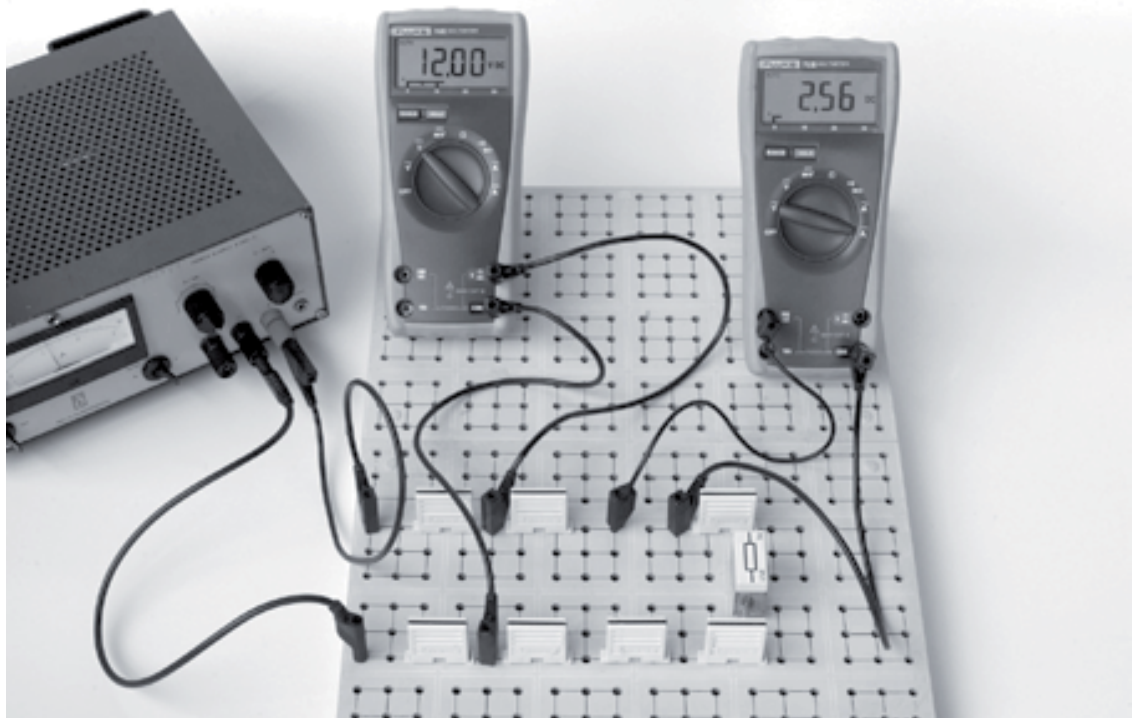
Het is overigens niet nodig, dat de gekozen stroomrichting en de gekozen rondgang hetzelfde zijn.

Meettechniek

1.6 Weerstandsmeting met volt- en ampèremeter

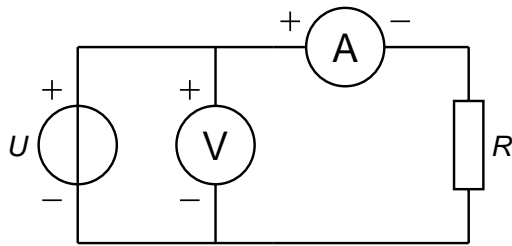
We kunnen ook zelf aan de hand van een meting aan een toestel of weerstand de wet van Ohm controleren.

Daarvoor hebben we de meetopstelling van figuur 1.23 nodig.



Figuur 1.23 Meetopstelling

In figuur 1.24 zien we het meetschema. Controleer de ‘vertaling’ van de meetopstelling naar het meetschema.



Figuur 3.24 Meetschema

Let bij het uitvoeren van deze meting op de volgende instellingen van de meters:

- Staat de voltmeter op het juiste meetbereik en spanningssoort (DC of AC, — of ~)?
- Staat de ampèremeter op het hoogste meetbereik en de juiste stroomsoort (— of ~)?
- Is bij het aansluiten van de meter op de polariteit gelet?

Het kiezen van het hoogste meetbereik bij de ampèremeter doen we omdat de stroomsterkte nog onbekend is. Ook bij onbekende spanningen stellen we de voltmeter in op het hoogste bereik. De meetwaarden noteren we in een tabel.

Voorbeeld 1.8

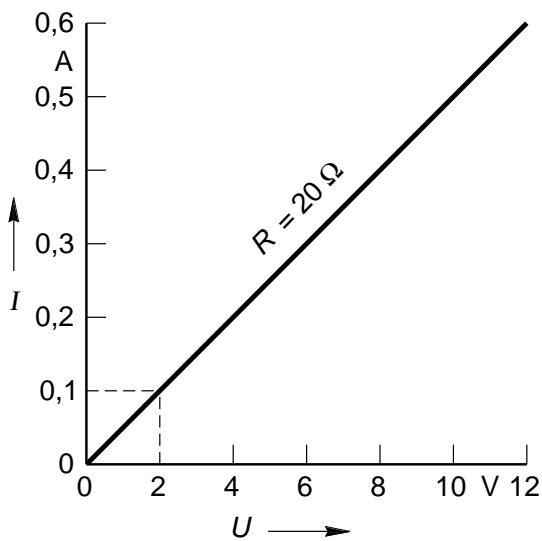
Bij een meting aan een weerstand vinden we de volgende waarden van tabel 1.1.

TABEL 1.1 MEETWAARDEN	
U (V)	I (A)
2	0,1
4	0,2
6	0,3
8	0,4
10	0,5

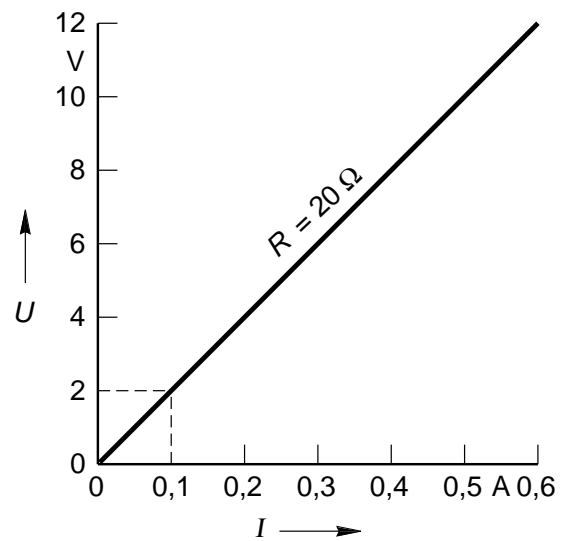
- a* Uit de meting kunnen we de weerstand berekenen. In dit voorbeeld is dat 20Ω , welke combinatie van U en I we ook nemen. Dat is logisch, want $R = \text{constant}$.

- b Met de gegevens kunnen we nu twee grafieken tekenen:
- $I = f(U)$. Hier moeten we U op de horizontale as en I op de verticale as tekenen. Deze grafiek tekenen we als we de spanning instellen en daarbij bekijken hoe de stroom verandert.
 - $U = f(I)$. Hier moeten we I op de horizontale as en U op de verticale as tekenen. Bij het tekenen van deze grafiek stellen we de stroom in en bekijken we hoe de spanning verandert.

Beide zijn lineaire functies, wat wil zeggen dat I recht evenredig met U verandert. In een grafiek is dat dan een rechte lijn. Zie figuur 1.25.



a $I = f(U)$

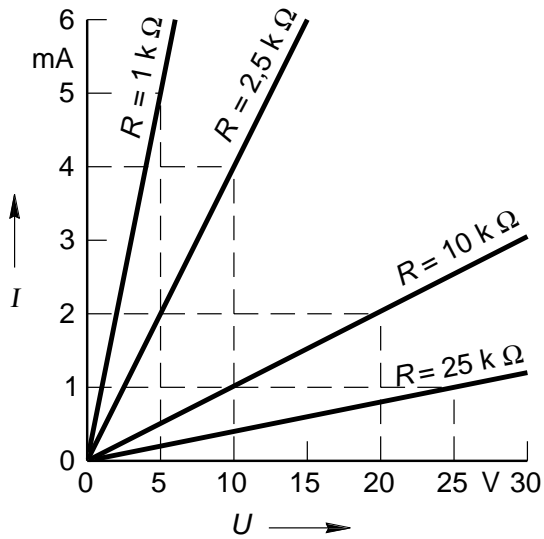


b $U = f(I)$

Figuur 1.25 Grafieken

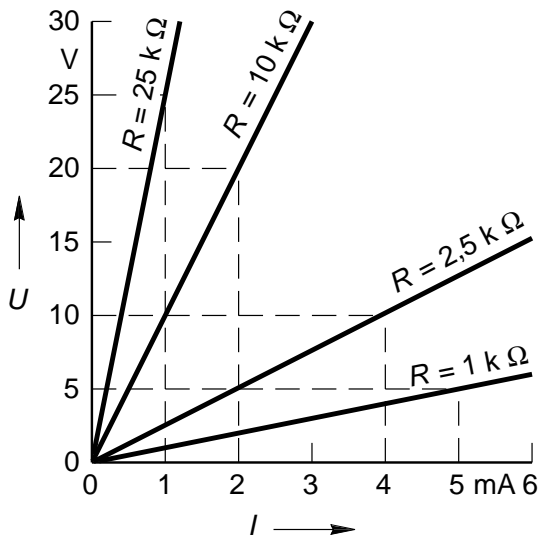
In beide grafieken stellen de lijnen een weerstand van 20Ω voor. De lijnen noemen we *weerstandslijnen*.

In een grafiek kunnen meerdere weerstandslijnen getekend zijn. In figuur 1.26 zien we een aantal weerstandslijnen in de grafiek $I = f(U)$.



Figuur 1.26 Weerstandslijnen

In figuur 1.27 zien we dezelfde weerstandswaarden in de grafiek $U = f(I)$. Controleer of je de waarden ook zelf uit de grafiek kunt bepalen.



Figuur 1.27 Dezelfde weerstandswaarden bij $U = f(I)$

1.7 Kernpunten

Stroom- en spanningsafspraken

De stroomrichting geven we aan met een pijl in de leiding.

Als bij berekeningen de stroom in het antwoord negatief is, is de stroomrichting tegengesteld aan de gekozen richting.

De potentiaal is het spanningsniveau op één punt. We geven de potentiaal aan met de letter V_{index} .

De spanning is het *potentiaalverschil* tussen twee punten. Spanning geven we aan met de letter U , eventueel met index.

Bronspanning U is de onbelaste spanning.

Klemspanning U_k is de belaste spanning.

Deelspanningen zijn spanningen over componenten.

Deelstromen zijn stromen door componenten.

Ideale spanningsbronnen hebben geen inwendige weerstand R_i .

Ideale stroombronnen hebben parallel een oneindig hoge inwendige weerstand
weerstand

Wet van Ohm

$$\frac{U}{I} = R$$

Met:

- U = spanning in V;
- I = stroom in A;
- R = weerstand in Ω .

1^e wet van Kirchhoff

In een knooppunt is de som van de toevloeiende stromen gelijk aan de som van de afvloeiende stromen.

$$\sum I = 0$$

Oplossingsrecept eerste wet van Kirchhoff

Kies bij berekeningen voor onbekende stromen een stroomrichting, waarbij:

- stromen naar het knooppunt toe positief zijn;
- stromen van het knooppunt af negatief zijn.

2^e wet van Kirchhoff

De som van de spanningen in een stroomkring is 0.

$$\Sigma U = 0.$$

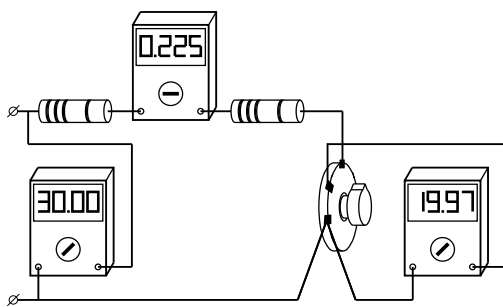
Oplossingsrecept tweede wet van Kirchhoff voor 1 stroomkring

Doe de volgende stappen:

- kies een stroomrichting en teken die in de leiding;
- zet polariteiten (+ en –) bij de weerstanden (tekenafspraken is dat de + komt daar waar de stroom bij de weerstand binnenkomt);
- start uit een willekeurig punt een ‘rondgang’ langs de spanningen en geef de gekozen richting van de rondgang aan;
- als we bij het rondgaan bij een spanning eerst een + tegenkomen, dan is de spanning positief, anders negatief.

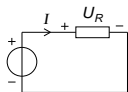
Weerstandswaarden als lijnen uitgezet in de grafiek $U = f(I)$ en $I = f(U)$ noemen we weerstandslijnen.

Opgaven



Waar gaat dit hoofdstuk over?

- Hoe je de richting van de stroom en de polariteit van de spanning aangeeft.



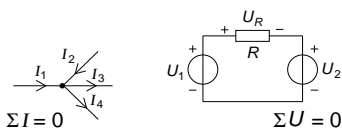
- Wat de eigenschappen van ideale spannings- en stroombronnen zijn.



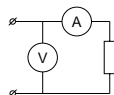
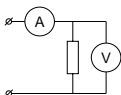
- Over het toepassen van de wet van Ohm.



- Hoe je de 1e en 2e wet van Kirchhoff toepast.



- De methode om de waarde van een weerstand te meten met een volt- en ampèremeter.



Dit weet je al!

- Het elektrisch vermogen kan in warmte worden omgezet.
- Het goed aansluiten van een voltmeter en een ampèremeter is belangrijk.
- Van een leiding kun je de weerstand berekenen.
- Van een leiding kun je de weerstand meten.
- Er zijn lineaire en niet-lineaire weerstanden.
- Je kunt de wortel trekken uit getallen met machten van 10.

Formules

Je kunt onderstaande formules toepassen en omzetten.

$$P = U \cdot I$$

$$R = \frac{l \cdot \rho}{A}$$

$$a = b^2 \cdot c$$

Twijfel je?

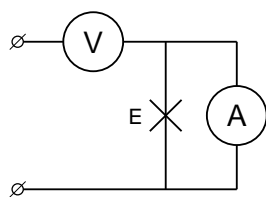
Maak dan eerst de eerste instaptoets.

Eerste instaptoets

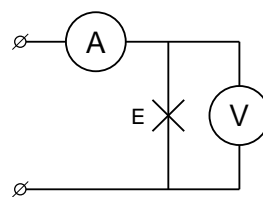
Kruis de goede antwoorden aan op de invulstaat aan het eind van deze instaptoets.

- 1 In een weerstand wordt de elektrische energie omgezet in:
 - a magnetische energie
 - b thermische energie of warmte
 - c mechanische energie
 - d bewegingsenergie

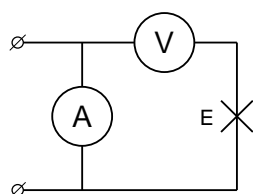
- 2 In welke schema's van figuur 3.1 zijn de volt- en ampèremeter goed aangesloten?
 - a Figuur a en b
 - b Figuur a en c
 - c Figuur b en c
 - d Figuur b en d



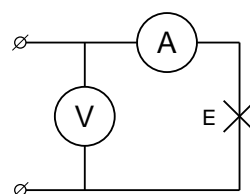
a



b



c



d

Figuur 3.1

Afspraken; wet van Ohm

Bestudeer eerst de volgende paragrafen uit je kernboek:

- 1 Afspraken en regels voor netwerken
- 2 Bijzondere energiebronnen en weerstandswaarden
- 3 Wet van Ohm

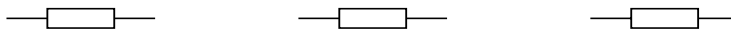
Beantwoord vervolgens de theorievragen en -opdrachten 1 t/m 14. Controleer pas *daarna* de antwoorden in je kernboek.

Theorievragen en -opdrachten

- 1 Wat verstaan we onder de potentiaal?

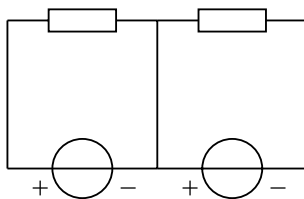
De potentiaal geven we aan met de letter _____

- 2 Geef drie verschillende manieren om de stroomrichting aan te geven.



- 3 Voor welke manier is in je kernboek gekozen om de stroomrichting aan te geven?

- 4 Kies logische stroomrichtingen in het netwerk van figuur 3.3.



Figuur 3.3

- 5 Als na berekening een stroom een negatieve waarde blijkt te hebben, wat is dan de conclusie over de gekozen stroomrichting?

- 6 Wat wordt bedoeld met de bronspanning?

- 7 Wat wordt bedoeld met de klemspanning?

- 8 Met welke letter geef je een onbelaste spanning aan, en hoe een belaste spanning?
onbelaste spanning _____ belaste spanning _____
- 9 Noem twee spanningsbronnen die de ideale spanningsbron benaderen.

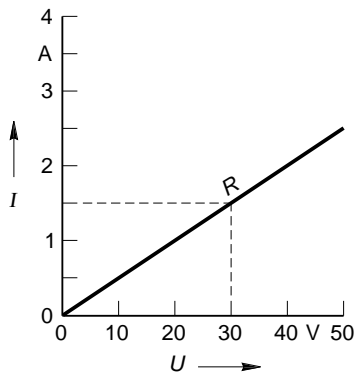
- 10 Wat is het kenmerk van een niet-ideale spanningsbron?

- 11 Door een weerstand vloeit een stroom van 20 mA. Hoe groot wordt de stroom als de spanning driemaal groter wordt?

- 12 Noem drie instellingen die je bij een multimeter moet controleren voordat je een meting uitvoert.

- 13 Je moet een onbekende gelijkspanning meten. Waarop stel je de spanningssoort en het meetbereik van de meter in?

- 14 Hoe groot is de weerstandswaarde van de weerstand in de grafiek van figuur 3.4?



Figuur 3.4

Maak nu de toetsopgaven 1 t/m 5.

Schrijf berekeningen in je schrift en vul alleen de antwoorden in. Controleer na elke toetsopgave je antwoord achter in dit werkboek.

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over en ga direct door met de volgende toetsopgave.

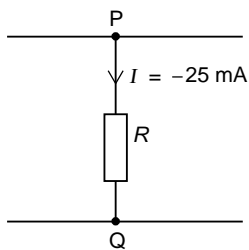
Toetsopgave 1

Gegeven is de schakeling van figuur 3.5. Geef de stroomrichting en de waarde van I_{PQ} en I_{QP} .

stroomrichting I_{PQ} van _____ naar _____

stroomrichting I_{QP} van _____ naar _____

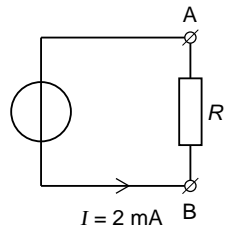
$I_{PQ} =$ _____ $I_{QP} =$ _____



Figuur 3.5

Oefenopgaven

- 1.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 3 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Gegeven is de schakeling van figuur 3.6.



Figuur 3.6

Gevraagd:

- a In welke richting loopt I_{AB} , in welke richting loopt I_{BA} en welke waarden hebben deze stromen?

I_{AB} richting: _____ waarde: _____

I_{BA} richting: _____ waarde: _____

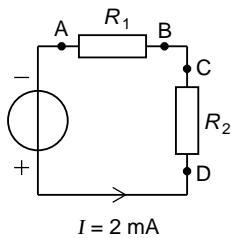
- b Welke polariteit heeft punt A ten opzichte van punt B?

- 1.2 Een stroom I_{PQ} heeft een waarde van 5 A. Hoe groot is de stroom I_{QP} dan?

Maak nu nog eens toetsopgave 1 en ga daarna verder met toetsopgave 2.

Toetsopgave 2

Welke punten bij de spanningsbron en de weerstanden hebben de hoogste polariteit in figuur 3.7.



Figuur 3.7

Oefenopgaven

- 2.1 We herhalen nu voorbeeld 2 uit je kernboek in de vorm van een opgave. Maak die nu zelf.

In figuur 3.8 is de spanning over de weerstand 12 V. In figuur 3.8a is A positief ten opzichte van B en in figuur 3.8b is B positief ten opzichte van A.



Figuur 3.8

Vragen**Antwoorden**

- | | | |
|---|---------------------------------------|-------|
| a | Hoe groot is U_{AB} in figuur 3.8a? | _____ |
| b | Hoe groot is U_{BA} in figuur 3.8a? | _____ |
| c | Hoe groot is U_{AB} in figuur 3.8b? | _____ |

- 2.2 Geef twee manieren om de polariteit van een spanning aan te geven.

2.3 Geef bij de twee manieren uit vraag 2.2 aan welk punt de hoogste polariteit heeft.

2.4 Welk punt bij een passief element waar een stroom door vloeit, heeft de hoogste polariteit?

Maak nu nog eens toetsopgave 2 en ga daarna verder met toetsopgave 3.

Toetsopgave 3

Hoe groot zal theoretisch de stroom zijn bij een kortgesloten ideale spanningsbron?

Antwoord: _____

Oefenopgaven

3.1 Wat is het kenmerk van een ideale spanningsbron?

3.2 Hoe groot is theoretisch de weerstand tussen twee kortgesloten punten?

Maak nu nog eens toetsopgave 3 en ga daarna verder met toetsopgave 4.

Toetsopgave 4

Hoe groot zal theoretisch de spanning aan de open klemmen van een ideale stroombron zijn?

Antwoord: _____

Oefenopgaven

4.1 Wat is het kenmerk van een ideale stroombron?

4.2 Hoe groot is de weerstand tussen twee open klemmen?

Maak nu nog eens toetsopgave 4 en ga daarna verder met toetsopgave 5.

Toetsopgave 5

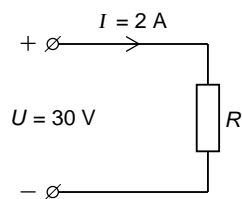
Vragen

Antwoorden

- a Door een weerstand van $12 \text{ k}\Omega$ vloeit een stroom van $0,2 \text{ mA}$.
Bereken de spanning waarop de weerstand is aangesloten.
- b Bereken de stroom als de spanning wordt verhoogd tot $3,6 \text{ V}$.

Oefenopgaven

5.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 4 uit je kernboek. Maak die nu zelf.
Bereken de weerstand in figuur 3.9.



Figuur 3.9

5.2 Zet de wet van Ohm om in twee afgeleide formules.

5.3 Over een weerstand staat 30 V . De stroom door de weerstand is $0,2 \text{ A}$.
Bereken de weerstand.

Gegeven: $U = 30 \text{ V}$
 $I = 0,2 \text{ A}$

Gevraagd: R

Oplossing: $R = \frac{U}{I} \rightarrow R = \frac{\dots\dots V}{\dots\dots A} = \dots\dots \Omega$

5.4 Vul de tabel in.

U	I	R
20 V	2 A	_____
30 V	3 mA	_____
50 V	250 μ A	_____
0,7 V	375 μ A	_____
230 V	16 A	_____

5.5 Door een weerstand van 39 Ω vloeit een stroom van 0,15 A. Welke spanning staat over de weerstand?

5.6 Over een weerstand van 120 Ω staat een spanning van 2 V. Bereken de stroom door de weerstand.

Maak nu nog eens toetsopgave 5 en ga daarna verder met toetsopgave 6.

Toetsopgave 6 (samengesteld vraagstuk)

Een SMD-weerstand van 470 Ω komt in een schakeling op een spanning te staan van 9,4 V.

a Welke stroom loopt er door de weerstand?

b Welk vermogen neemt de weerstand op?

c Welke sizecode moet de SMD hebben om dit vermogen te kunnen opnemen?

Toetsopgave 7 (praktijkvraagstuk)

In een elektronische schakeling moet over een weerstand een spanning komen van 7,5 V bij een stroomdoorgang van 25 mA. Er is een E12-reeks aan weerstanden beschikbaar, met een vermogen van 0,33 W. De weerstand mag 10% in waarde afwijken van de berekende weerstand.

- a Welke weerstandswaarde(n) kun je nemen?

- b Wordt de maximale dissipatie in de weerstand overschreden?

Wetten van Kirchhoff; Weerstandsmeting

Bestudeer eerst de volgende paragrafen uit je kernboek:

- 4 Eerste wet van Kirchhoff
- 5 Tweede wet van Kirchhof
- 6 Weerstandsmeting met volt- en ampèremeter

Beantwoord vervolgens de theorievragen en -opdrachten 15 t/m 17. Controleer pas *daarna* in je kernboek de antwoorden.

Theorievragen en -opdrachten

- 15 Hoe luidt de eerste wet van Kirchhoff in woorden en in formulevorm?

- 16 Hoe luidt de tweede wet van Kirchhoff in woorden en in formulevorm?

- 17 Noem drie instellingen die je bij een multimeter moet controleren voordat je een meting uitvoert.

Maak nu de toetsopgaven 8 t/m 11.

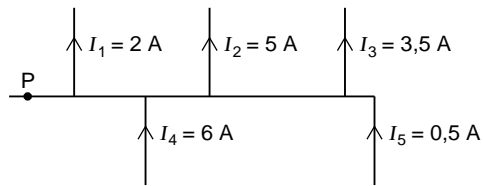
Maak de berekeningen in je schrift en vul alleen de antwoorden in. Controleer na elke toetsopgave je antwoord achter in dit werkboek.

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over en ga direct door met de volgende toetsopgave.

Toetsopgave 8

a Bereken de stroom in punt P van figuur 3.10.

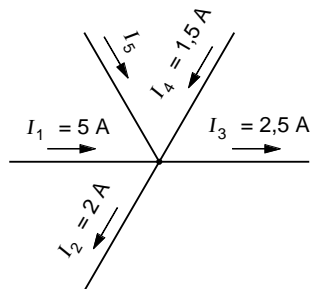
b Geef ook de stroomrichting aan.



Figuur 3.10

Oefenopgaven

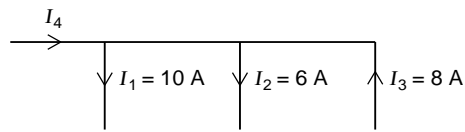
8.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 6 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Welke waarde heeft I_5 in figuur 3.11?



Figuur 3.11

8.2 Hoe luidt het oplossingsrecept dat je gebruikte om de eerste wet van Kirchhoff toe te passen?

8.3 Bereken I_4 in de schakeling van figuur 3.12.

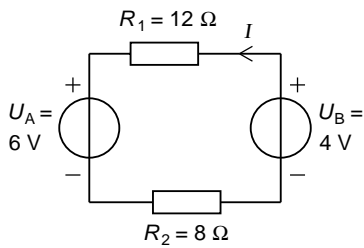


Figuur 3.12

Maak nu nog eens toetsopgave 8 en ga daarna verder met toetsopgave 9.

Toetsopgave 9

- a Bereken de stroom I en de spanningen U_{R_1} en U_{R_2} over de weerstanden R_1 en R_2 van de schakeling in figuur 3.13.



Figuur 3.13

- b Als het antwoord voor de stroom negatief is, hoe komt dat dan?

- c Is het nodig om de berekening over te maken als de antwoorden negatief zijn? Verklaar je antwoord.

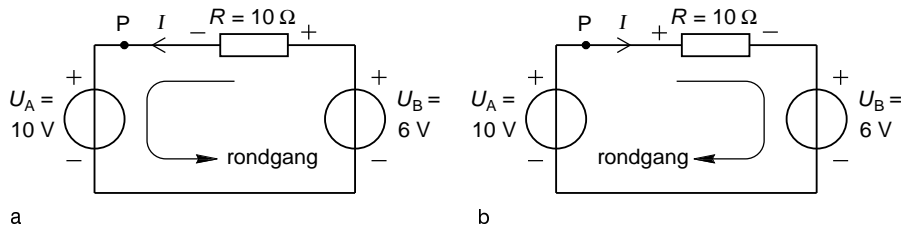
Oefenopgaven

9.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 7 uit je kernboek. Maak die nu zelf. In figuur 3.14 is tweemaal een schakeling getekend met twee spanningsbronnen en een weerstand. Bereken in beide gevallen de stroom I en de spanning U_R over R .

a $I =$ _____ $U_R =$ _____

b $I =$ _____ $U_R =$ _____

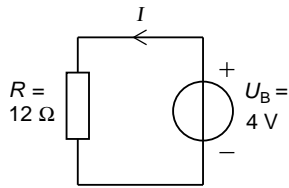
Wat is je conclusie als je kijkt naar de gekozen stroomrichting?



Figuur 3.14

9.2 Hoe luidt het oplossingsrecept dat je gebruikt om de tweede wet van Kirchhoff toe te passen?

- 9.3 Bereken de stroom I en de spanning U_R van de schakeling in figuur 3.15.



Figuur 3.15

Oplossing

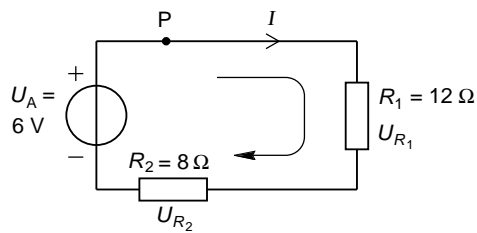
Kies een punt P en een richting van de 'rondgang'.

Zet + en - bij de spanning U_R .

Stel een spanningsvergelijking op en los de vergelijking op.

$$I = \text{_____} \quad U_R = \text{_____}$$

- 9.4 Bereken de stroom I en de spanningen U_{R_1} en U_{R_2} van de schakeling in figuur 3.16.



Figuur 3.16

Oplossing: Vanuit punt P in de richting van de rondgang geldt:

$$U_{R_1} + U_{R_2} - U_A = 0$$

$$I \cdot R_1 + \text{_____} - \text{_____} = 0$$

$$I \cdot (R_1 + \text{_____}) - \text{_____} = 0$$

$$I \cdot (\text{_____} + \text{_____}) = \text{_____}$$

$$I = \text{_____}$$

$$U_{R_1} = I \cdot R_1 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____}$$

$$U_{R_2} = I \cdot R_2 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 9 en ga daarna verder met toetsopgave 10.

Toetsopgave 10

Bij het meten van een weerstand met de volt-ampèremetermethode vind je de volgende waarden:

$U(\text{V})$	$I(\text{mA})$
3	0,2
6	0,4
9	0,6
12	0,8
15	1

a Bereken de weerstand.

b Teken de weerstandslijn in een grafiek $I = f(U)$.

c Teken de weerstandslijn in een grafiek $U = f(I)$.

Oefenopgaven

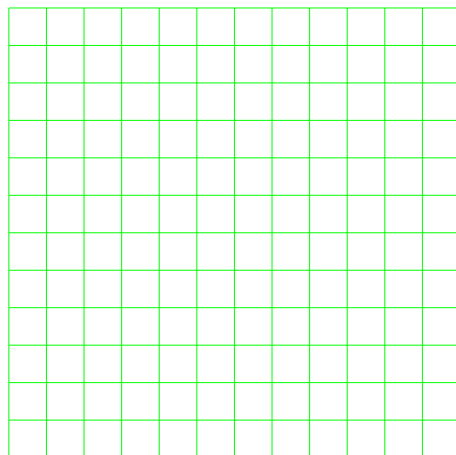
10.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 8 uit je kernboek. Maak die nu zelf.

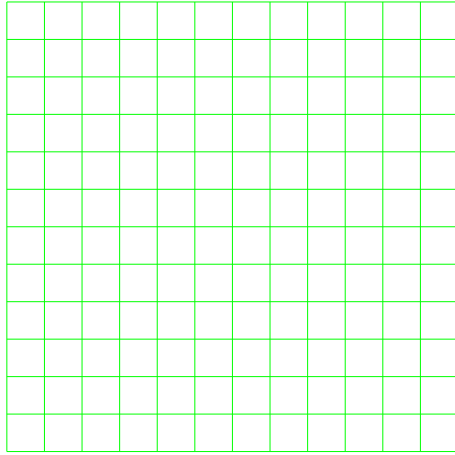
a Bereken de weerstand uit de meetgegevens van tabel 3.1.

b Teken de grafieken $I = f(U)$ en $U = f(I)$.

$U(\text{V})$	$I(\text{A})$
2	0,1
4	0,2
6	0,3
8	0,4
10	0,5

Tabel 3.1





Maak nu nog eens toetsopgave 10 en ga daarna verder met toetsopgave 11.

Toetsopgave 11 (samengesteld vraagstuk)

Met de volt-ampèremetermethode wordt de waarde van een weerstand bepaald. De kleurcode van de weerstand is bruin-zwart-bruin-goud. Er worden digitale meters gebruikt. De voltmeter wijst 3,000 V aan en de ampèremeter 31,35 mA. Beide meters hebben een nauwkeurigheid van $3^{3/4}$ -digit $\pm (1,5\% + 1 \text{ digit})$.

- a Bereken de minimale waarde en de maximale waarde van de weerstand, rekening houdend met de nauwkeurigheid van de meters.

- b Liggen de berekende waarden bij punt a binnen de grenzen van de weerstandstolerantie?

Wat je nu zeker weten moet**Formules**

$$R = \frac{U}{I}$$

$$P = I^2 \cdot R \text{ en } P = \frac{U^2}{R}$$

Eerste wet van Kirchhoff: $\Sigma I = 0$

Tweede wet van Kirchhoff: $\Sigma U = 0$

Controlelijst

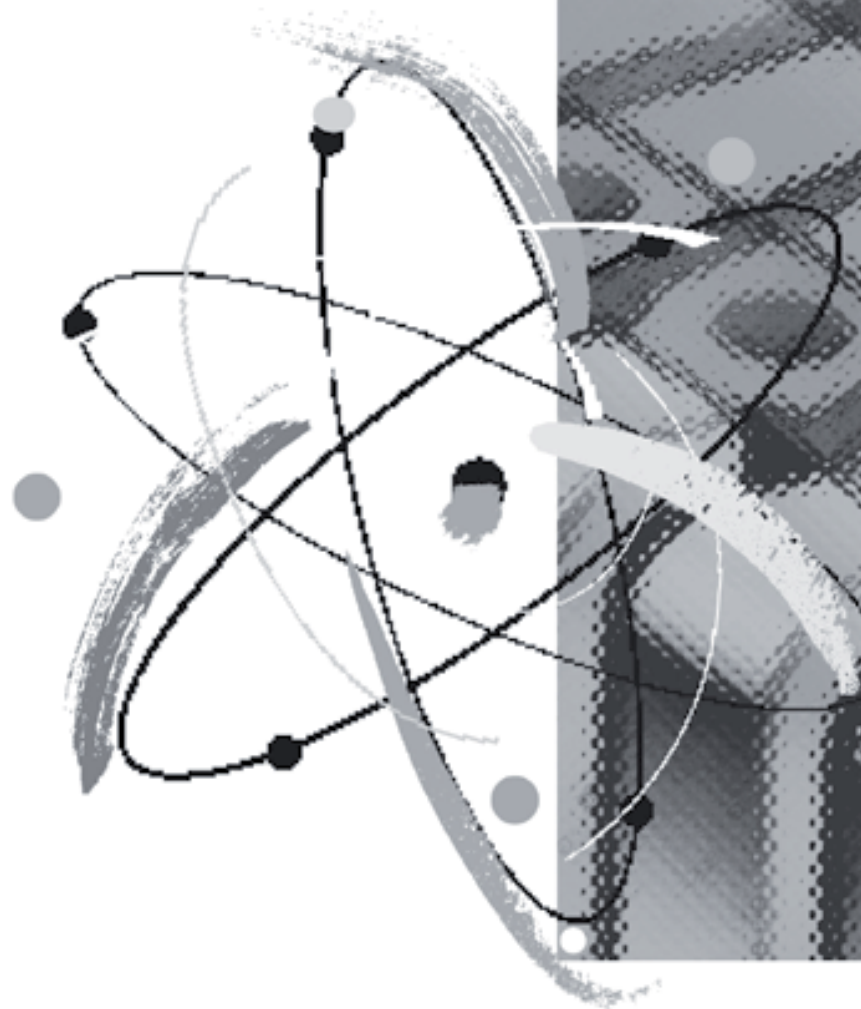
Controleer zelf met deze lijst of je nu alles weet. Kruis aan wat je weet en bestudeer nogmaals in je kernboek de onderwerpen die nog niet duidelijk zijn.

Je weet, kunt of kent:

- De richting van de stroom in een stroomkring aangeven.
- De polariteit van een spanning over een component in een stroomkring bepalen bij een gegeven stroomrichting.
- De eigenschappen van een ideale spanningbron noemen.
- De eigenschappen van een ideale stroombron noemen.
- De eerste wet van Kirchhoff toepassen.
- De tweede wet van Kirchhoff toepassen in een enkele stroomkring.
- Weten waar je op moet letten als je een weerstandswaarde meet met de volt-ampèremeter methode.
- Weten wat een weerstandslijn is.
- De weerstandslijnen kunnen tekenen aan de hand van meetgegevens.

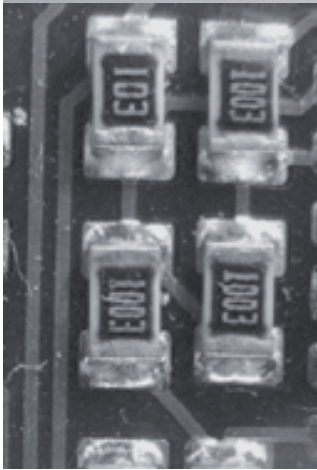
Netwerken van weerstand

2

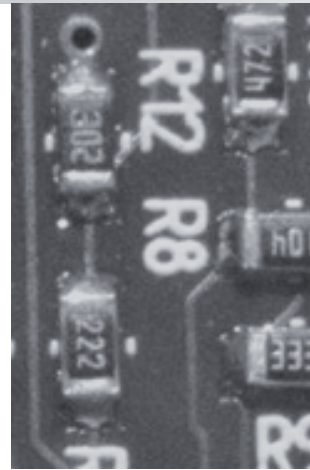


WAAR GAAT HET OVER?

- In netwerken komen allerlei soorten componenten voor. In dit hoofdstuk gaat het alleen over netwerken met weerstanden. Welke functie de weerstanden hebben ligt aan de manier waarop ze geschakeld zijn. Weerstanden kunnen geschakeld zijn in een serieschakeling, in een parallelschakeling of in een combinatie van die twee. Die gecombineerde schakeling noemen we een gemengde schakeling. De schakelingen kunnen uitgevoerd zijn met lineaire weerstanden, maar ook met niet-lineaire weerstanden zoals PTC, NTC en LDR. Meestal worden dan niet-lineaire weerstanden gebruikt in combinatie met lineaire weerstanden. Ook hoe je moet meten in netwerken komt aan de orde.



Figuur 2.0 Gemengde schakeling

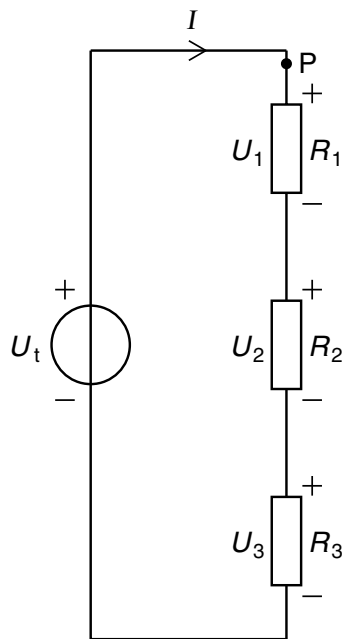


R8 en R12 in serie geschakeld

Elektriciteitsleer

2.1 Serieschakeling van weerstanden

Het eerste netwerk is de *serieschakeling*, waarmee we bedoelen dat weerstanden *achter elkaar* geschakeld zijn. Zie figuur 2.1.



Figuur 2.1 Serieschakeling

Omdat er geen knooppunten zijn, is in elk willekeurig punt de stroom naar dat punt toe hetzelfde als de stroom van dat punt af. Immers $\sum I = 0$ (1^e wet van Kirchhoff).

Conclusie

De stroom in een serieschakeling is overal gelijk.

Volgens de 2^e wet van Kirchhoff geldt: $\sum U = 0$. Passen we dat toe gerekend vanaf punt P in figuur 2.1 dan krijgen we:

$$U_1 + U_2 + U_3 - U_t = 0 \Rightarrow$$

$$\mathbf{U_t = U_1 + U_2 + U_3} \quad (2.1)$$

Daarin is U_t de totaalspanning en zijn U_1 , U_2 en U_3 deelspanningen.

Conclusie

In een serieschakeling is de som van de deelspanningen gelijk aan de totaalspanning.

Omdat I in een serieschakeling overal gelijk is, mogen we de vergelijking $U_t = U_1 + U_2 + U_3$ links en rechts van het *is gelijk*-teken (=) door I delen. We vinden nu:

$$\frac{U_t}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I} \Rightarrow$$

$$\mathbf{I} \quad R_t = R_1 + R_2 + R_3 \quad (2.2)$$

Met:

- R_t = totale weerstand van de serieschakeling;
- R_1, R_2 en R_3 = deelweerstand.

Conclusie

In een serieschakeling is de som van de deelweerstand gelijk aan de totale weerstand van de stroomkring.

Als we voor alle weerstanden de wet van Ohm toepassen, dan vinden we:

$$\begin{aligned} U_t &= I \cdot R_t \\ U_1 &= I \cdot R_1 \\ U_2 &= I \cdot R_2 \\ U_3 &= I \cdot R_3 \end{aligned}$$

Ook is af te leiden dat de spanningen en weerstanden zich als volgt verhouden:

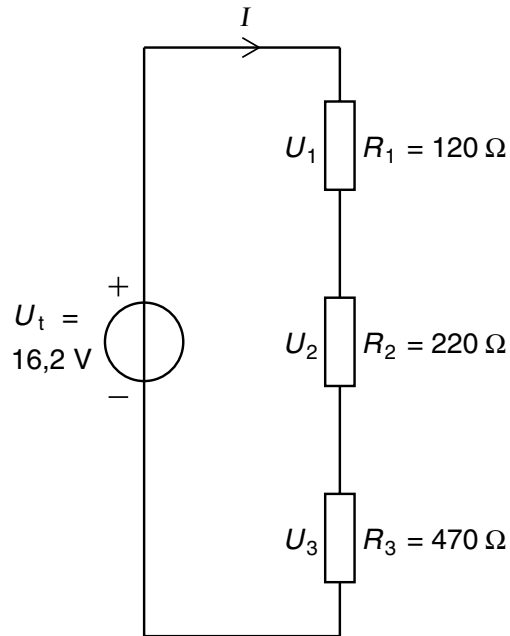
$$\mathbf{I} \quad U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3 \quad (2.3)$$

Conclusie

De spanning van de spanningsbron verdeelt zich over de weerstanden in deelspanningen. Daarbij verhouden de deelspanningen zich als de weerstanden.

Voorbeeld 2.1

We sluiten een serieschakeling van drie weerstanden aan op een spanning van 16,2 V. Zie figuur 2.2. De weerstanden zijn 120 Ω , 220 Ω en 470 Ω . Bereken de stroom en de deelspanningen. Controleer de verhouding tussen deelspanningen en weerstanden.



Figuur 2.2 Serieschakeling met drie weerstanden

Gegeven

$$R_1 = 120 \Omega$$

$$R_2 = 220 \Omega$$

$$R_3 = 470 \Omega$$

Gevraagd

I

U_1 , U_2 en U_3

Controle op verhoudingen

Oplossing

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_t = 120 \Omega + 220 \Omega + 470 \Omega = 810 \Omega$$

$$I = \frac{U_t}{R_t} = \frac{16,2 \text{ V}}{810 \Omega} = 0,02 \text{ A}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,02 \text{ A} \times 120 \text{ } \Omega = 2,4 \text{ V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,02 \text{ A} \times 220 \text{ } \Omega = 4,4 \text{ V}$$

$$U_3 = I \cdot R_3 = 0,02 \text{ A} \times 470 \text{ } \Omega = 9,4 \text{ V}$$

Controle op de verhoudingen

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

$$2,4 : 4,4 : 9,4 = 120 : 220 : 470$$

Vermenigvuldig je de spanningen met 50 dan zie je dat de verhoudingen kloppen.

Voor de deelspanningen U_1 , U_2 en U_3 is ook af te leiden dat:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_t} \cdot U_t; \quad U_2 = \frac{R_2}{R_t} \cdot U_t \quad \text{en} \quad U_3 = \frac{R_3}{R_t} \cdot U_t \quad (2.4)$$

Om te voorkomen dat apparaten of componenten een te hoge spanning krijgen, schakelen we er een weerstand mee in serie. Zo'n weerstand noemen we een *serieweerstand* of *voorschakelweerstand*.

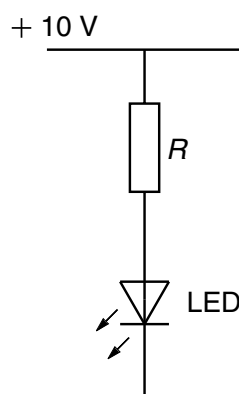
De serieweerstand moet wel dezelfde stroom kunnen verdragen als de component, anders verbrandt de weerstand.

Voorbeeld 2.2

We willen een led (lichtgevende diode) gebruiken als *aan/uit*-indicator voor een apparaat. De led brandt helder bij een stroomsterkte van 20 mA.

De spanning over de led is dan 3 V. De beschikbare spanning in het apparaat is 10 V. Om de led op de juiste spanning te laten branden moeten we er dus een weerstand voor schakelen, zie figuur 2.3.

Welke waarde moet de weerstand R dan hebben?



Figuur 2.3 Led met serieweerstand

Gegeven

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

$$U_{\text{led}} = 3 \text{ V}$$

$$I = 20 \text{ mA}$$

Gevraagd

R

Oplossing

$$U_R = U_t - U_{\text{led}} \Rightarrow$$

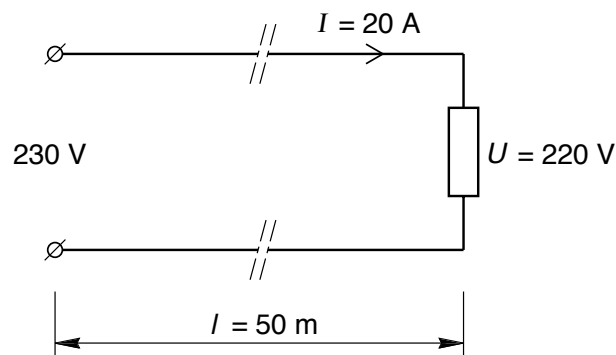
$$U_R = 10 \text{ V} - 3 \text{ V} = 7 \text{ V}$$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{7 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 350 \Omega$$

Ook als we apparaten op lange leidingen of kabels aansluiten, hebben we een serieschakeling. De leidingen staan dan in serie met het apparaat. Over de leidingweerstand is er dan spanningsverlies.

Voorbeeld 2.3

Zie de schakeling van figuur 2.4. Voor een goede werking van het apparaat moet deze ten minste een spanning van 220 V hebben. Welke doorsnede moeten de leidingen minimaal hebben, als de stroom door het toestel 20 A is?



Figuur 2.4 Apparaat op lange leiding aangesloten

Gegeven

$$I = 20 \text{ A}$$

$$U = 220 \text{ V}$$

Gevraagd

A

Oplossing

Het spanningsverlies over de leiding is:

$$U_v = 230 \text{ V} - 220 \text{ V} = 10 \text{ V}.$$

De leidingweerstand is dan:

$$\frac{U_v}{I} = \frac{10 \text{ V}}{20 \text{ A}} = 0,5 \Omega$$

De minimale leidingdoorsnede wordt dan:

$$R_{\text{leiding}} = \frac{l}{A} \cdot \rho \Rightarrow$$

$$A = \frac{l}{R_{\text{leiding}}} \cdot \rho \Rightarrow$$

$$A = \frac{(2 \times 50 \text{ m})}{0,5 \Omega} \times 0,0175 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \Rightarrow$$

$$A = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \Rightarrow$$

$$A = 3,5 \text{ mm}^2$$

In de praktijk wordt het dan een kabel met een leidingdoorsnede van 4 mm².

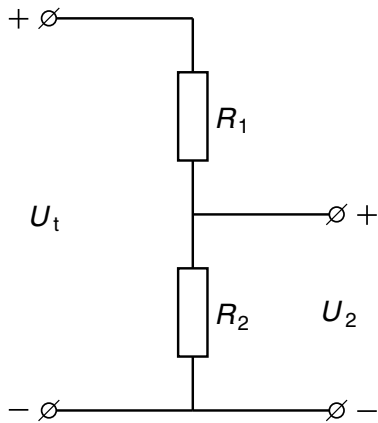
WIST JE DAT ...

- ons lichaam in serie staat met de aarde bij aanraken van de spanning?
- de weerstand van de aarde tussen 1 en 100 Ω is?
- de weerstand van ons lichaam afhangt van conditie en omstandigheden?
- onder de douche een slechte omstandigheid is? (Blijf wel douchen!)

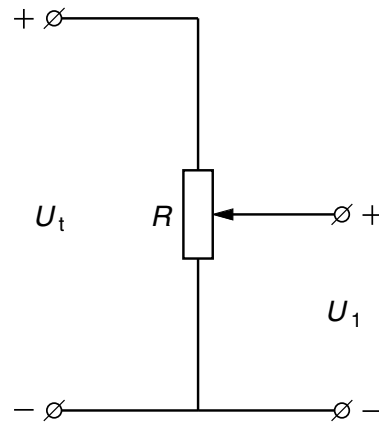
2.2 Stroom- en spanningsregeling**2.2.1 Spanningsdeler**

In figuur 2.5 zien we een serieschakeling waarbij een spanning U_2 wordt afgetakt. Op deze manier kunnen we een lagere spanning krijgen dan de voedingsspanning U_t . Dit noemen we een *spanningsdeler*. De spanning U_2 die van de schakeling komt, heeft een vaste waarde in onbelaste toestand.

In figuur 2.6 zien we een spanningsdeler waarvan de spanning U_1 regelbaar is. Een dergelijke spanningsdeler maken we met een regelbare weerstand (*potentiometer of potmeter*). De schakeling staat bekend als *potentiometer-schakeling*.

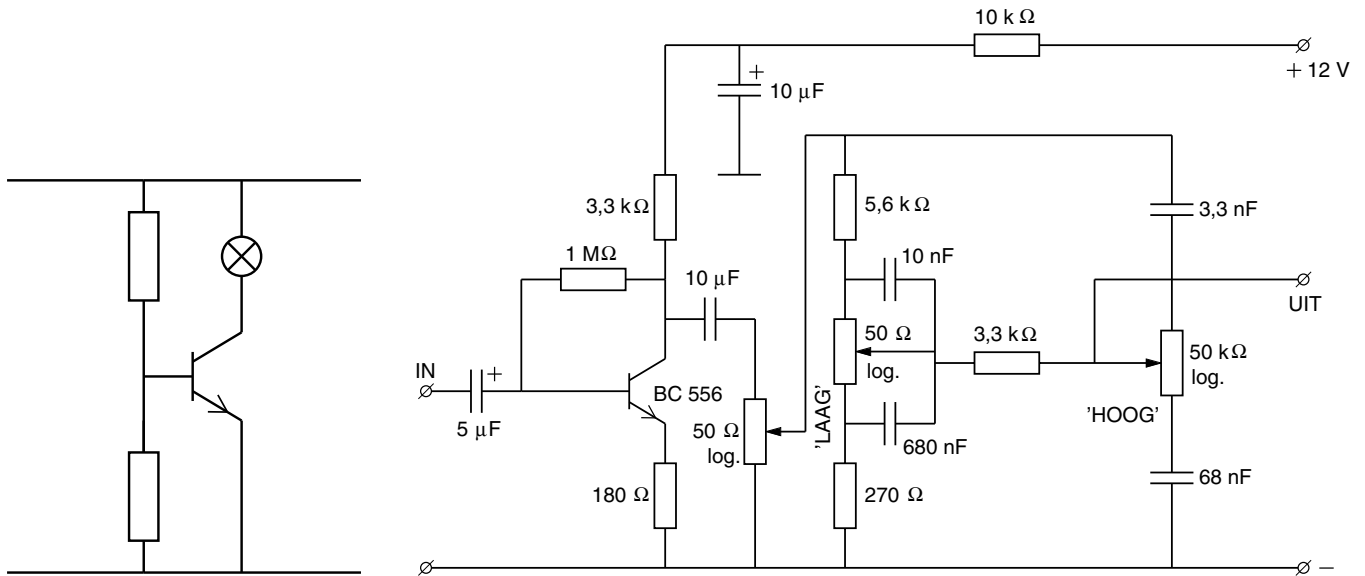


Figuur 2.5 Vaste spanningsdeler



Figuur 2.6 Potentiometerschakeling

In de elektronica komt de spanningsdeler vaak voor. In figuur 2.7 zien we voorbeelden van een schakeling met vaste en regelbare spanningsdeler.



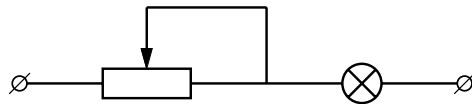
a transistorinstelling

b voorversterker

Figuur 2.7 Voorbeelden van spanningsdelers

2.2.2 Stroomregeling

De regelbare weerstand kunnen we ook schakelen zoals in figuur 2.8. Op deze manier geschakeld kunnen we de stroom regelen of instellen. Bij deze schakeling wordt maar een gedeelte van de weerstand belast, dat is het deel links van de looper (pijl). Het andere deel, rechts van de looper is kortgesloten.



Figuur 2.8 Stroomregeling

Stroomregelingen worden onder andere toegepast in elektronische schakelingen, bij motoren en bij verlichting. Belangrijk daarbij is dat het toegestane vermogen van de regelbare weerstand niet wordt overschreden. Bij overschrijding van het toegestane vermogen zal het belaste gedeelte van de regelbare weerstand verbranden.

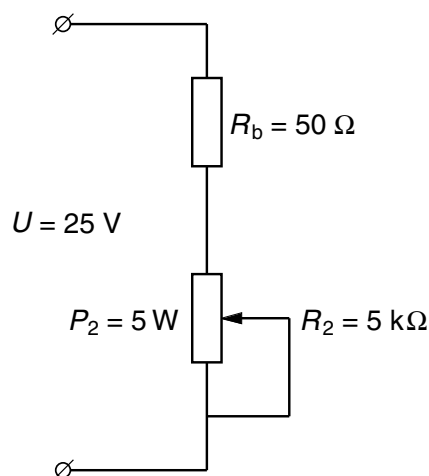
Het opgenomen vermogen van de regelbare weerstand is afhankelijk van de ingestelde waarde.

We zullen dat aantonen met een voorbeeld. Daarvoor gebruiken we een stroomregeling die belast is met een belasting R_b van 50Ω , Zie figuur 2.9.

Voorbeeld 2.4

Gegeven

Zie figuur 2.9



Figuur 2.9 Stroomregeling door een belasting

Gevraagd

- Bereken de dissipatie in de regelbare weerstand R_2 voor de ingestelde waarden $0,0001 \cdot R_{2_{\max}}$, $0,001 \cdot R_{2_{\max}}$, $0,01 \cdot R_{2_{\max}}$, $0,1 \cdot R_{2_{\max}}$ en $R_{2_{\max}}$.
- Teken een grafiek $P = f(R_2)$.
- Bereken de minimale weerstandswaarde van de belasting R_b zonder dat de dissipatie in R_2 boven de 5 W komt.
- Bereken de maximale dissipatie in R_b .

Oplossing

a De ingestelde waarden voor R_2 zijn:

- $10^{-4} \cdot R_{2\max}$
- $10^{-3} \cdot R_{2\max}$
- $10^{-2} \cdot R_{2\max}$
- $10^{-1} \cdot R_{2\max}$
- $10^0 \cdot R_{2\max}$

We berekenen eerst $I = \frac{U}{R_b + R_2}$ en vervolgens $P = I^2 \cdot R_2$.
 Dus:

$$10^{-4} \cdot R_{2\max} \Rightarrow R_2 = 0,5 \, \Omega \quad I = \frac{25 \, \text{V}}{50,5 \, \Omega} = 495 \, \text{mA} \Rightarrow P = 0,1225 \, \text{W} \quad (\text{A})$$

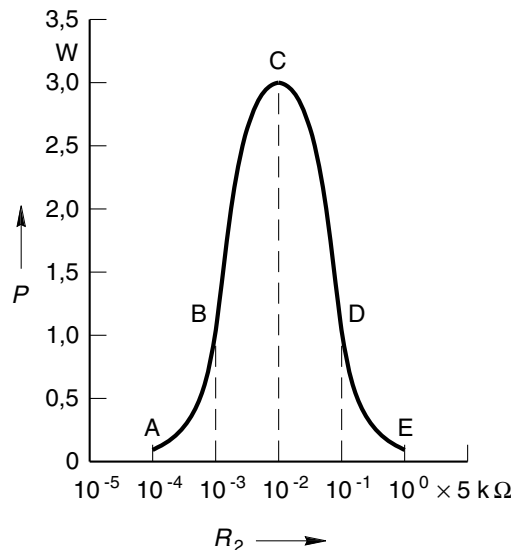
$$10^{-3} \cdot R_{2\max} \Rightarrow R_2 = 5 \, \Omega \quad I = \frac{25 \, \text{V}}{55 \, \Omega} = 455 \, \text{mA} \Rightarrow P = 1,04 \, \text{W} \quad (\text{B})$$

$$10^{-2} \cdot R_{2\max} \Rightarrow R_2 = 50 \, \Omega \quad I = \frac{25 \, \text{V}}{100 \, \Omega} = 250 \, \text{mA} \Rightarrow P = 3,13 \, \text{W} \quad (\text{C})$$

$$10^{-1} \cdot R_{2\max} \Rightarrow R_2 = 500 \, \Omega \quad I = \frac{25 \, \text{V}}{550 \, \Omega} = 45,45 \, \text{mA} \Rightarrow P = 1,04 \, \text{W} \quad (\text{D})$$

$$10^0 \cdot R_{2\max} \Rightarrow R_2 = 5 \, \text{k}\Omega \quad I = \frac{25 \, \text{V}}{5050 \, \Omega} = 4,95 \, \text{mA} \Rightarrow P = 0,1225 \, \text{W} \quad (\text{E})$$

b In figuur 2.10 zien we de grafiek $P = f(R_2)$.



Figuur 2.10 Grafiek $P = f(R_2)$

- c Uit de berekening en de grafiek blijkt dat P maximaal is als geldt:
 $R_2 = R_b$

Om te weten te komen hoe groot R_b minimaal moet zijn om te voorkomen dat de dissipatie in de potentiometer R_2 boven de maximale dissipatie uitkomt, gaan we als volgt te werk:

$$P_{2_{\max}} = I^2 \cdot R_2 = 5 \text{ W}$$

Als $R_2 = R_b$, dan geldt $P_2 = P_b \Rightarrow$

$$P_{t_{\max}} = P_2 + P_b = 10 \text{ W}$$

$$P_{t_{\max}} = U \cdot I$$

Dus:

$$10 \text{ W} = 25 \text{ V} \cdot I \Rightarrow$$

$$I = 0,4 \text{ A.}$$

Ook geldt:

$$P_{b_{\max}} = I^2 \cdot R_b \Rightarrow$$

$$5 \text{ W} = (0,4 \text{ A})^2 \cdot R_b \Rightarrow$$

$$R_b = \frac{5 \text{ W}}{0,16} = 31,25 \Omega$$

We moeten dus minimaal een weerstandsbelasting van $31,25 \Omega$ gebruiken om te voorkomen dat de regelweerstand verbrandt.

- d Als R_2 is 0Ω , is het vermogen dat R_b dissipeert maximaal. De stroom is dan het grootst.

Ofwel:

$$I_{\max} = \frac{U}{R_b} = \frac{25 \text{ V}}{31,25 \Omega} = 0,8 \text{ A}$$

$$P_{b_{\max}} = I_{\max}^2 \cdot R_b \Rightarrow$$

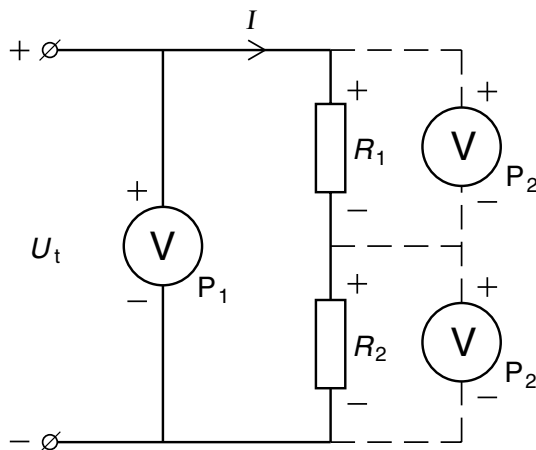
$$P_{b_{\max}} = (0,8 \text{ A})^2 \times 31,25 \Omega = 20 \text{ W.}$$

Meettechniek

2.3 Meten van spanningen bij serieschakeling

2.3.1 Meten van deelspanningen

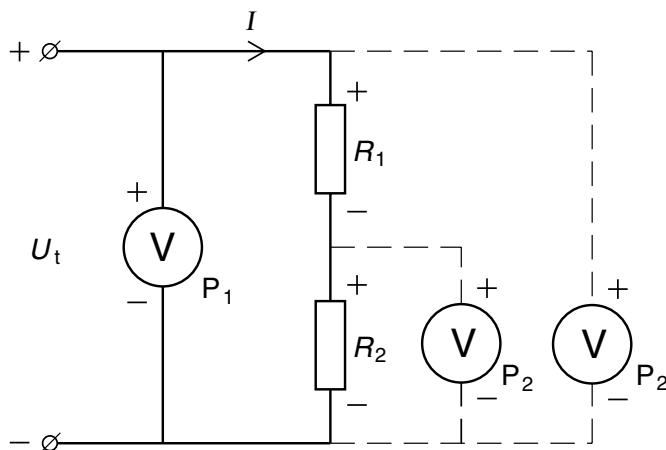
In figuur 2.11 zien we een meetschema voor het meten van deelspanningen.



Figuur 2.11 Meten van deelspanningen methode 1

We gaan er vanuit dat de meters zelf de meting niet beïnvloeden. Er zijn twee methoden om de deelspanningen te meten:

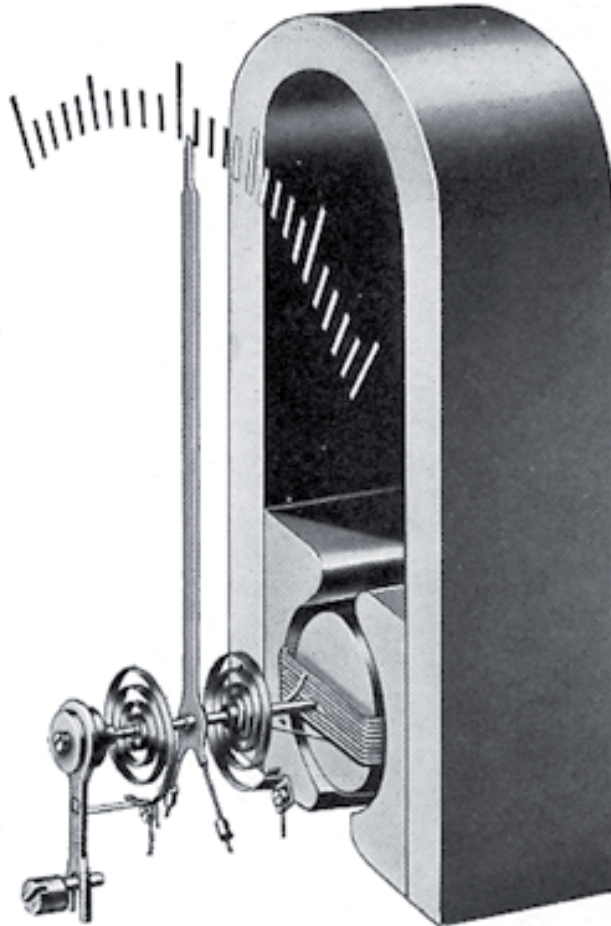
- *Methode 1:* We meten om beurten de spanning over de weerstanden R_1 en R_2 . De som van de deelspanningen moet dan gelijk zijn aan de totale spanning.
- *Methode 2:* We verbinden een punt van de meter met een vast punt van de schakeling, meestal de $-$. Daarna meten we de spanning over R_2 en over $R_1 + R_2$. Zie figuur 2.12. Aan de hand van deze metingen kunnen we de spanning over R_1 berekenen. Deze methode wordt meestal in de praktijk gebruikt.



Figuur 2.12 Meten van deelspanningen methode 2

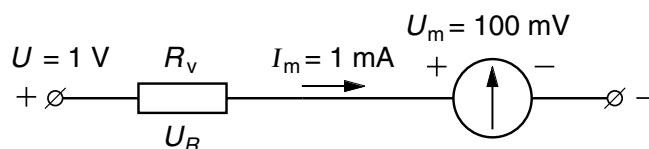
2.3.2 Vergroten van het spanningsbereik

Paneelmeters worden nog vaak uitgevoerd met een analoog draaispoelsysteem. Zie figuur 2.13. Een draaispoelmeter geeft een volle uitslag bij een spanning van bijvoorbeeld 100 mV en een stroom van 1 mA.



Figuur 2.13 Draaispoelsysteem

Bij een draaispoelsysteem kunnen we het spanningsmeetbereik vergroten door deze in serie te schakelen met een voorschakelweerstand. Zie figuur 2.14. Hoe groot de weerstand moet zijn om een gewenst meetbereik te realiseren laten we zien in een voorbeeld.



Figuur 2.14 Meetsysteem met voorschakelweerstand

Voorbeeld 2.5

Het meetbereik van een paneelmeter met een draaispoelmeetsysteem is 100 mV. De stroom door de meter is dan 1 mA. Het spanningsbereik willen we vergroten tot 1 V.

- a Hoe groot moet de voorschakelweerstand zijn?
- b Hoe groot is de meterweerstand bij het meetbereik van 1 V?

Gegeven

$$U_m = 100 \text{ mV};$$

$$I_m = 1 \text{ mA}$$

Gevraagd

a R_v

b R_t

Bij een meetbereik van 1 V.

Oplossing

- a Het meetsysteem heeft zelf een weerstand R_m van:

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{100 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 100 \Omega$$

Over de voorschakelweerstand is de spanning $1 \text{ V} - 100 \text{ mV} = 900 \text{ mV}$. De voorschakelweerstand is dan:

$$R_v = \frac{U_R}{I_m} = \frac{900 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 900 \Omega$$

- b De meterweerstand bij 1 V is:

$$R_t = R_m + R_v = 100 \Omega + 900 \Omega = 1000 \Omega$$

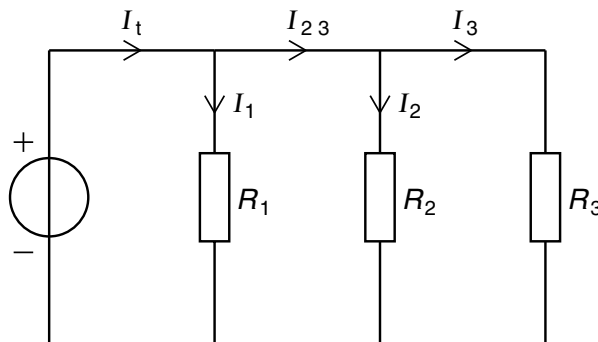
Conclusie

Bij een groter spanningsmeetbereik is de meterweerstand groter.

Elektriciteitsleer

2.4 Parallelschakeling van weerstanden

Als in een netwerk weerstanden *naast elkaar* zijn geschakeld, spreken we van een parallelschakeling. Zie figuur 2.15.



Figuur 2.15 Parallelschakeling

Bij een parallelschakeling valt direct op dat alle weerstanden met de voedingspanning zijn verbonden.

Conclusie

Bij een parallelschakeling is de spanning over elke weerstand hetzelfde.

Elke aftakking is een knooppunt, zodat we daar de 1^e wet van Kirchhoff kunnen toepassen.

In figuur 2.15 geldt:

$$\begin{aligned} I_t &= I_1 + I_{23} \\ I_{23} &= I_2 + I_3 \end{aligned}$$

Als we deze twee vergelijkingen samenvoegen, dan vinden we:

$$\mathbf{I_t = I_1 + I_2 + I_3} \quad (2.4)$$

Met:

- I_t = totaalstroom bij parallelschakeling;
- I_1, I_2 en I_3 = deelstromen.

Conclusie

In een parallelschakeling is de totale stroom gelijk aan de som van de deelstromen.

De stromen I_1 , I_2 en I_3 zijn de deelstromen. Deze kunnen we met de wet van Ohm berekenen:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Voor de totale stroom geldt dan:

$$I_t = \frac{U}{R_v}$$

R_v is de vervangingsweerstand van de schakeling. Dat houdt in dat als we alle deelweerstandenvangen door één weerstand R_v , de totale stroom gelijk blijft.

Voor $I_t = I_1 + I_2 + I_3$ kunnen we ook schrijven:

$$\frac{U}{R_v} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Als we alle termen door U delen, verandert de formule in:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (2.5)$$

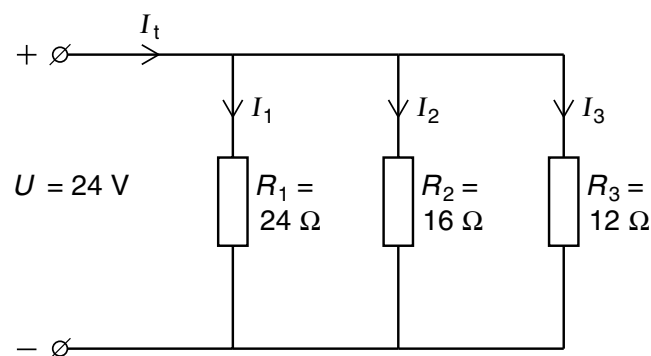
Met:

- R_v = vervangingsweerstand;
- R_1 , R_2 en R_3 = deelweerstandenv.

Voorbeeld 2.6

Gegeven

Zie figuur 2.16.



Figuur 2.16 Voorbeeld parallelschakeling

Gevraagd

- a Bereken R_v
 b Bereken de deelstromen I_1 , I_2 en I_3
 c Bereken I_t .

Oplossing

$$a \quad \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{24} + \frac{1}{16} + \frac{1}{12} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{R_v} = \frac{9}{48} \Rightarrow$$

$$R_v = \frac{48}{9} = 5,33 \Omega$$

$$b \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{24 \text{ V}}{24 \Omega} = 1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = 1,5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = 2 \text{ A}$$

$$c \quad I_t = I_1 + I_2 + I_3 \quad I_t = 4,5 \text{ A} \quad 1^{\text{e}} \text{ methode}$$

$$I_t = \frac{U}{R_v} \Rightarrow I_t = \frac{24 \text{ V}}{5,33 \Omega} = 4,5 \text{ A} \quad 2^{\text{e}} \text{ methode}$$

Als we R_v vergelijken met de deelweerstand, zien we dat R_v de kleinste waarde heeft. Dit gaat altijd op, want I_t is altijd de grootste stroom.

Conclusie

In een parallelschakeling is de vervangingsweerstand altijd kleiner dan de kleinste deelweerstand.

Voor *twee* parallelgeschakelde weerstanden kunnen we ook nog de volgende formule afleiden:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Gelijknamig maken levert:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{R_1}{R_1 \cdot R_2} + \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow$$

$$\mathbf{I} \quad R_v = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{bij parallelschakeling } R_1 \text{ en } R_2) \quad (2.6)$$

Voor gelijke weerstanden met een waarde R kunnen we het volgende afleiden:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \text{enzovoort}$$

$$\frac{1}{R_v} = \frac{n}{R} \Rightarrow$$

$$\mathbf{I} \quad R_v = \frac{R}{n} \quad (2.7)$$

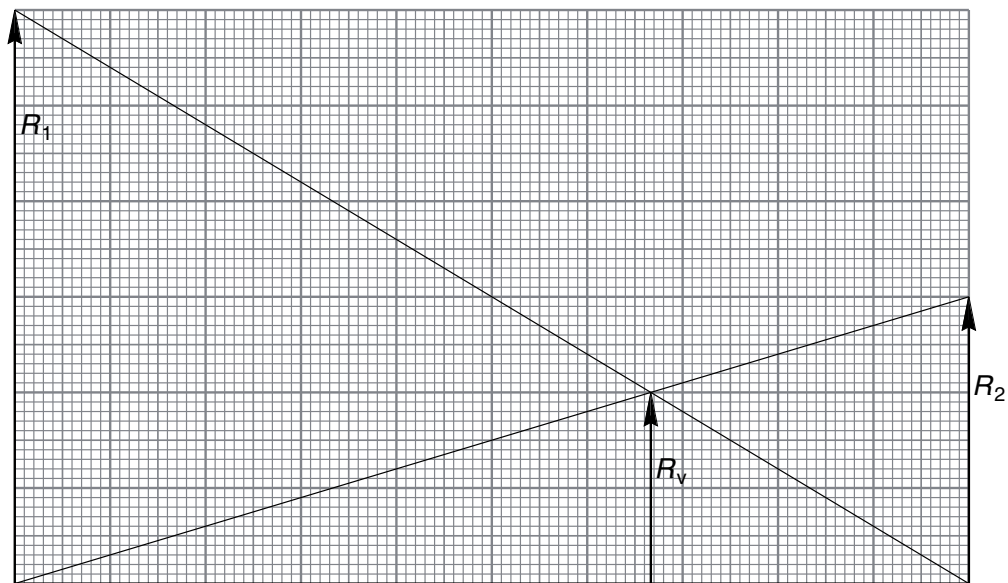
Met:

- R_v = vervangingsweerstand bij deze parallelschakeling met gelijke weerstanden in Ω ;
- R = weerstand in Ω ;
- n = het aantal gelijke weerstanden.

Parallelschakelen van weerstanden en andere componenten doen we vooral in elektronische schakelingen. Andere voorbeelden van parallelschakeling zijn de toestellen en lampen in lichtinstallaties. Deze zijn parallel op het net geschakeld. Bij transport van grote stromen worden leidingen parallel geschakeld. Op die manier ontstaan grotere doorsneden, waardoor grotere stromen mogen vloeien.

WIST JE DAT ...

- bij parallelschakeling de vervangende geleiding gelijk is aan $G_v = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$ enzovoort?
- we deze formule zelf af kunnen leiden, uitgaande van $G = \frac{1}{R}$?
- we van twee parallelgeschakelde weerstanden de vervangende weerstand ook grafisch kunnen bepalen met de methode zoals in figuur 2.17 is getekend?
- we de weerstandswaarden dan wel op schaal moeten tekenen?



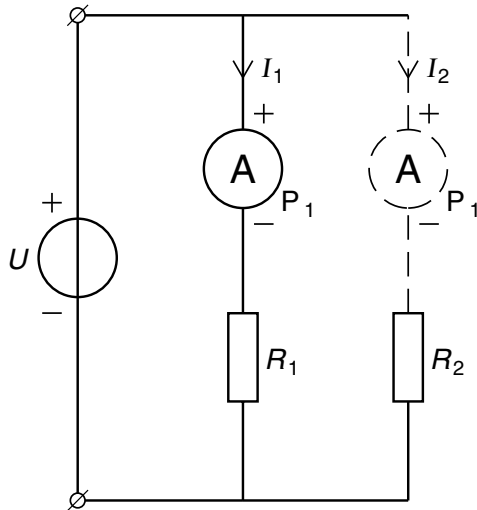
Figuur 2.17 Grafische bepaling van R_v

Meettechniek

2.5 Meten van stromen bij parallelschakeling

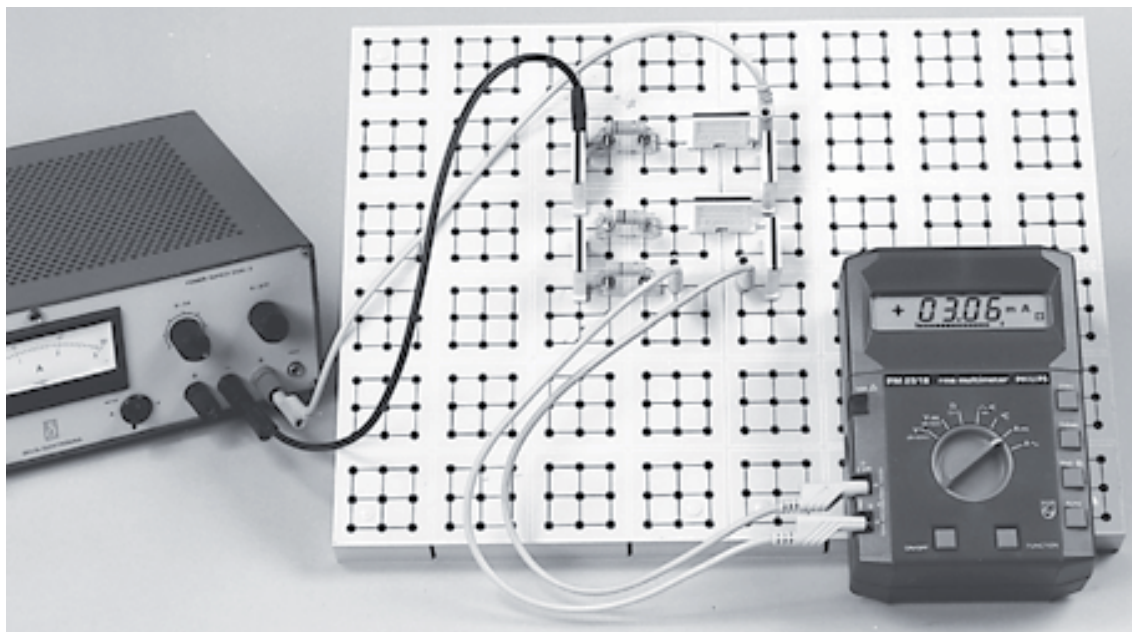
2.5.1 Meten van deelstromen

In figuur 2.18 zien we een meetschema voor het meten van de deelstromen I_1 en I_2 .

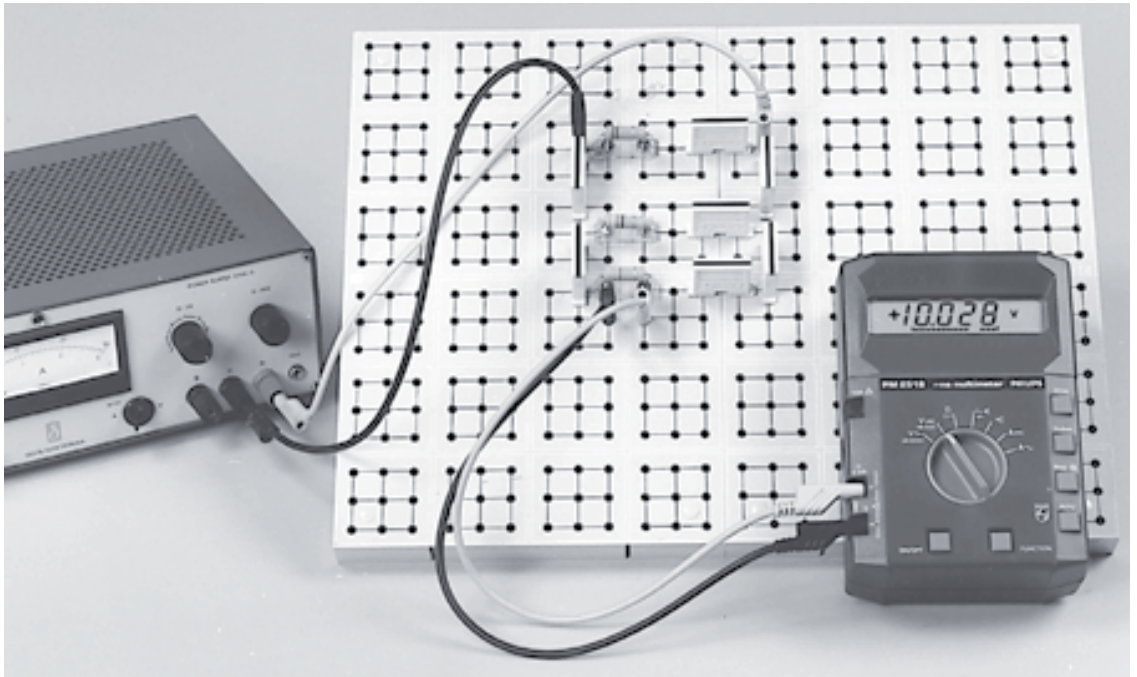


Figuur 2.18 Meetschema voor deelstromen

Voor het meten van stromen moeten we de meter *in de leiding* opnemen. We moeten de leiding dus onderbreken om de meter te kunnen plaatsen. Als dat gemakkelijk kan is dit een goede methode. Als we in een netwerk een stroom willen meten, kunnen we dat doen door een component aan één kant te onderbreken en tussen de onderbreking de ampèremeter aan te sluiten. Zie figuur 2.19. Dat onderbreken is vaak lastig. Het is daarom dan handiger om over een weerstand de spanning te meten en de stroom te berekenen. Zie figuur 2.20.



Figuur 2.19 Ampèremeter in een onderbreking van een netwerk



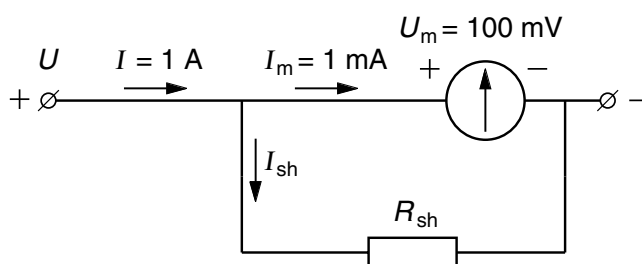
Figuur 2.20 Spanning meten over de weerstand in een netwerk

2.5.2 Vergroten stroombereik

Bij paneelmeters met een draaispoelsysteem wordt het *stroombereik* vergroot door parallel aan de meter een weerstand te schakelen. We noemen dat een shuntweerstand.

Zie figuur 2.21.

Welke waarde de weerstand moet hebben om een bepaald stroombereik te krijgen kun je berekenen.



Figuur 2.21 Meetsysteem met shuntweerstand

Voorbeeld 2.7

Gegeven

Het meetbereik van het meetsysteem is 100 mV. De stroom door de meter is dan 1 mA. Het stroombereik moeten we vergroten tot 1 A.

Gevraagd

- a Hoe groot moet de shuntweerstand zijn?
 b Hoe groot is de meterweerstand bij 1 A?

Oplossing

- a Door de shuntweerstand vloeit een stroom van $1 \text{ A} - 1 \text{ mA} = 999 \text{ mA}$.

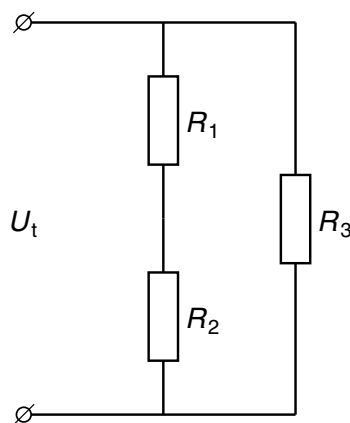
$$R_{\text{sh}} = \frac{U_{\text{m}}}{I_{\text{sh}}} = \frac{100 \text{ mV}}{999 \text{ mA}} = 0,1001 \Omega = 100,1 \text{ m}\Omega$$

- b De meterweerstand bij 1 A is $\frac{U_{\text{m}}}{I} = \frac{100 \text{ mV}}{1 \text{ A}} = 0,1 \Omega$

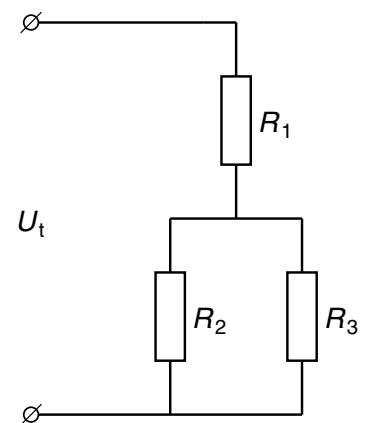
Elektriciteitsleer

2.6 Gemengde schakelingen met weerstanden

Onder gemengde schakelingen verstaan we een combinatie van serieschakeling en parallelschakeling. In figuur 2.22 zien we de twee eenvoudigste mogelijkheden van gemengde schakelingen.



a R_1 en R_2 in serie, parallel met R_3



b R_2 en R_3 parallel, in serie met R_1

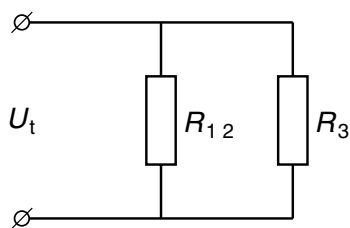
Figuur 2.22 De eenvoudigste gemengde schakelingen

Om berekeningen aan gemengde schakelingen uit te kunnen voeren gaan we de schakelingen vereenvoudigen. Elke gemengde schakeling kunnen we reduceren tot een eenvoudige serie- of parallelschakeling. In figuur 2.22a bijvoorbeeld kun-

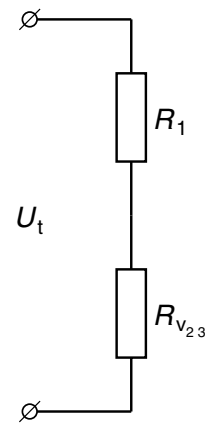
nen we de twee serieweerstanden R_1 en R_2 vervangen door een weerstand $R_{12} = R_1 + R_2$. Zie figuur 2.23a.

In figuur 2.22b kunnen we de twee parallelweerstanden R_2 en R_3 vervangen door

$$R_{v_{23}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}. \text{ Zie figuur 2.23b.}$$



a $R_{12} = R_1 + R_2$ van figuur 2.22a



b $R_{v_{23}} = R_2$ parallel aan R_3 van figuur 2.22b

Figuur 2.23 Schakelingen gereduceerd tot basisschakelingen

Als we nog verder reduceren, blijft er maar één vervangingsweerstand over.

Oplossingsrecept voor gemengde schakelingen

Bij de oplossingen van vraagstukken over gemengde schakelingen kunnen we met een oplossingsrecept werken.

Stap 1: Teken de schakeling eventueel in een overzichtelijker vorm.

Stap 2: Benoem de stromen en zet ze in de schakeling.

Stap 3: Reduceer in stappen de schakeling tot één vervangingsweerstand R_v .

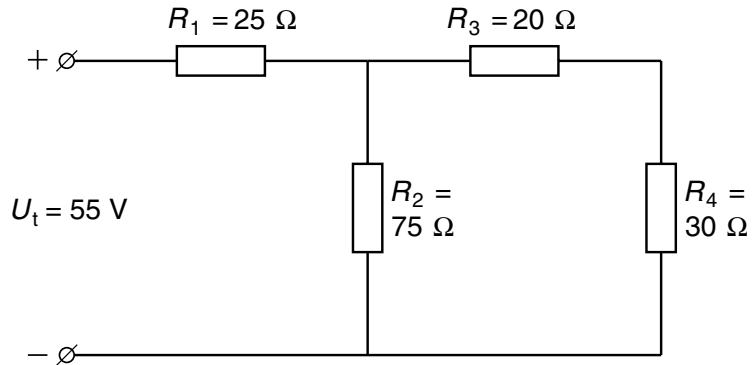
Stap 4: Bereken I_t .

Stap 5: Ga in stappen terug en bereken in elke stap de mogelijke stromen en spanningen.

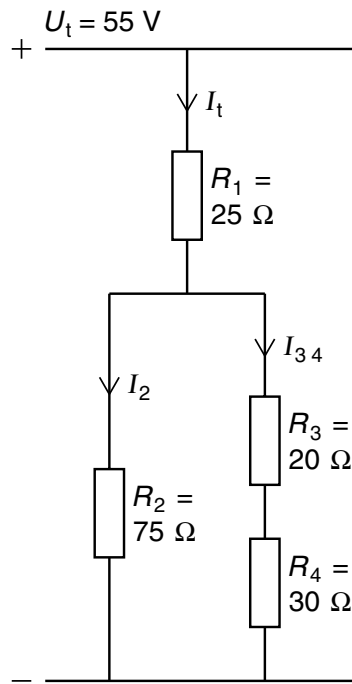
Voorbeeld 2.8

Gegeven

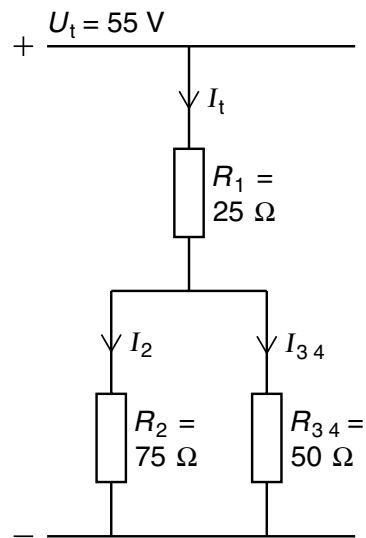
De schakeling van figuur 2.24a.



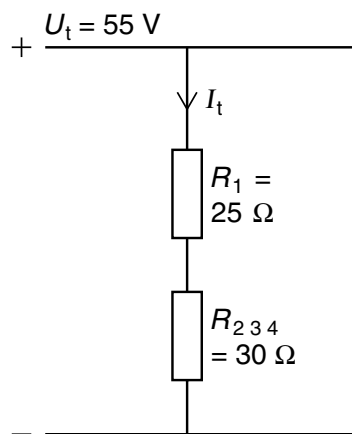
a schakeling



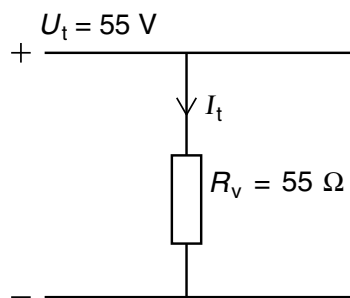
b beter overzicht en benoem de stromen



c R_3 en R_4 vervangen door R_{34}



d R_2 en R_{34} vervangen door R_{234}



e R_1 en R_{234} vervangen door R_v

Figuur 2.24 Reduceren van een gemengde schakeling

Gevraagd

- a Bereken de vervangingsweerstand R_v
- b Bereken de deelstromen I_2 , I_{34} en I_t .
- c Bereken de deelspanningen U_1 , U_2 , U_3 en U_4 .

Oplossing

Stap 1: Figuur 2.24a kunnen we ook tekenen in de overzichtelijker vorm van figuur 2.24b.

Stap 2: Benoem alle mogelijke stromen in figuur 2.24a.

Stap 3: Vervang R_3 en R_4 door $R_{34} = 20 \Omega + 30 \Omega = 50 \Omega$. Zie figuur 2.24c.

$$\text{Vervang } R_2 \text{ en } R_{34} \text{ door } R_{234} = \frac{75 \Omega \times 50 \Omega}{75 \Omega + 50 \Omega} = 30 \Omega.$$

Zie figuur 2.24d.

Vervang R_1 en R_{234} door $R_v = 25 \Omega + 30 \Omega = 55 \Omega$. Zie figuur 2.24e.

Stap 4: Nu kunnen we I_t berekenen:

$$I_t = \frac{U_t}{R_v} = \frac{55 \text{ V}}{55 \Omega} = 1 \text{ A}$$

Stap 5: Terug naar figuur 2.24d.

$$U_1 = I_t \cdot R_1 = 1 \text{ A} \times 25 \Omega = 25 \text{ V}$$

$$U_2 = I_t \cdot R_{v234} = 1 \text{ A} \times 30 \Omega = 30 \text{ V}$$

Terug naar figuur 2.24c.

U_2 staat over R_2 en over R_{34} .

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{30 \text{ V}}{75 \Omega} = 0,4 \text{ A}$$

$$I_{34} = \frac{U_2}{R_{34}} = \frac{30 \text{ V}}{50 \Omega} = 0,6 \text{ A}$$

Terug naar figuur 2.24b.

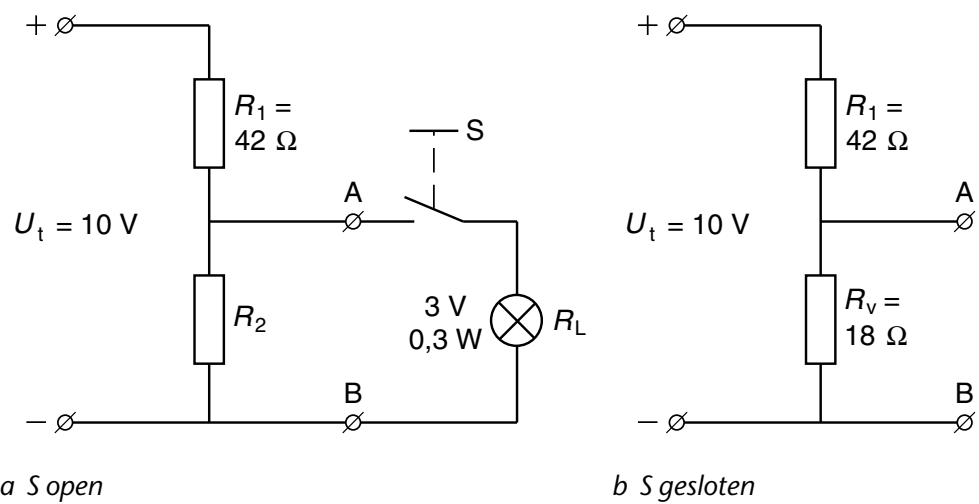
$$U_3 = I_{34} \cdot R_3 = 0,6 \text{ A} \times 20 \Omega = 12 \text{ V}$$

$$U_4 = I_{34} \cdot R_4 = 0,6 \text{ A} \times 30 \Omega = 18 \text{ V}$$

Een praktisch voorbeeld van een gemengde schakeling is een *belaste* spanningsdeler.

In figuur 2.25a zien we een *vaste* spanningsdeler die via S belast wordt met een lampje. Met een vaste spanningsdeler kunnen we een toestel of een schakeling de gewenste spanning geven. De uitgangsspanning U_{AB} wordt beïnvloed door de belasting. In het volgende voorbeeld laten we dat zien.

Voorbeeld 2.9



Figuur 2.25 Belaste vaste spanningsdeler

We beschikken over een spanningsbron van 10 V. Hierop willen we een lampje aansluiten van 3 V - 0,3 W via een spanningsdeler, zie figuur 2.25a. Van de spanningsdeler is $R_1 = 42 \Omega$.

- a Hoe groot moet weerstand R_2 zijn om het lampje op de juiste spanning te laten branden?
- b Hoe groot is de onbelaste spanning U_{AB} ?

Gegeven

Zie figuur 2.25a.

Gevraagd

- a R_2
- b U_{AB} onbelast

Oplossing

a De weerstand van het lampje $R_L = \frac{U_L^2}{P} = \frac{(3 \text{ V})^2}{0,3 \text{ W}} = 30 \Omega$.

Is S gesloten, dan staat R_L parallel met R_2 . We noemen de parallelwaarde R_v .

Voor deze schakeling geldt:

Over het lampje staat 3 V, dus $U_{AB} = 3 \text{ V}$. Dan is $U_1 = 10 \text{ V} - 3 \text{ V} = 7 \text{ V}$.

$$U_1 : U_{AB} = R_1 : R_v \Rightarrow 7 \text{ V} : 3 \text{ V} = 42 \Omega : R_v$$

$$R_v = 3 \text{ V} \times \frac{42 \Omega}{7 \text{ V}} = 18 \Omega$$

De vervangende schakeling wordt dan volgens figuur 2.25b.

$$R_{v_{23}} = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L} \Rightarrow 18 \Omega = \frac{R_2 \times 30 \Omega}{R_2 + 30 \Omega}$$

$$\Rightarrow 30 R_2 = 18 R_2 + 540 \Rightarrow 12 R_2 = 540 \Omega \Rightarrow R_2 = \frac{540 \Omega}{12} = 45 \Omega$$

b Onbelast: We passen de formule voor deelspanningen toe.

$$U_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_t$$

$$U_{AB} = \frac{45 \Omega}{42 \Omega + 45 \Omega} \times 10 \text{ V} = \frac{45}{87} \times 10 \text{ V} = 5,17 \text{ V}$$

Conclusie

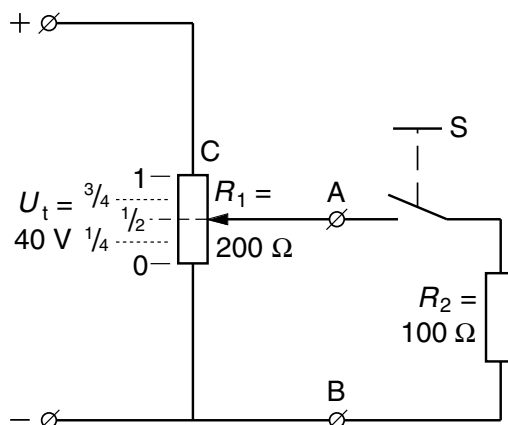
We zien dat bij het belasten de spanning U_{AB} daalt.

Hoe de spanning verloopt bij het belasten van een *regelbare* spanningsdeler is te zien bij de uitwerking van voorbeeld 2.10. Daarbij wordt de spanning berekend bij verschillende standen van de potentiometer.

Voorbeeld 2.10

Gegeven

De schakeling van figuur 2.26.



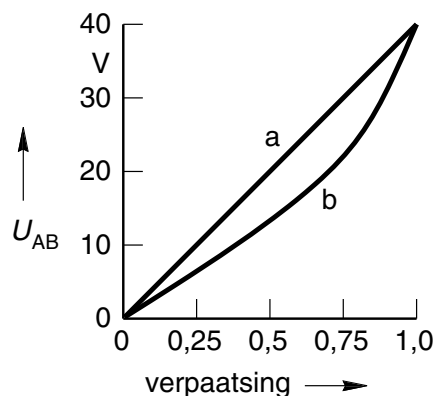
Figuur 2.26 Regelbare spanningsdeler

Gevraagd

Teken U_{AB} als functie van de verplaatsing van de looper in onbelaste en belaste toestand.

Oplossing

De weerstandswaarde van R_1 verloopt lineair met de verplaatsing van de looper. In onbelaste toestand verloopt de spanning U_{AB} recht evenredig met R en verloopt dus ook lineair met de verplaatsing. In figuur 2.27 is dat lijn a.



Figuur 2.27 $U_{AB} = f(\text{verplaatsing})$

Voor de belaste toestand berekenen we U_{AB} in een paar standen van de potentiometer (// betekent “parallel aan”):

- Stand 0: $U_{AB} = 0 \text{ V}$ want de looper is met de – (min) van de voeding verbonden.
- Stand 1/4: Weerstand van R_1 tussen A en B is $\frac{1}{4} \times 200 \text{ } \Omega = 50 \text{ } \Omega$.

$$\text{Dus: } R_{AB} = 50 \text{ } \Omega // 100 \text{ } \Omega = \frac{50 \times 100}{50 + 100} \text{ } \Omega = 33,3 \text{ } \Omega$$

$$U_{AB} = \frac{R_{AB}}{R_{AB} + R_{AC}} \cdot U_t = \frac{33,3}{33,3 + 150} \times 40 \text{ V} = 7,27 \text{ V}$$

- Stand 1/2: Weerstand van R_1 tussen A en B is $\frac{1}{2} \times 200 \text{ } \Omega = 100 \text{ } \Omega$.
Dus: $R_{AB} = 100 \text{ } \Omega // 100 \text{ } \Omega = 100/2 = 50 \text{ } \Omega$

$$U_{AB} = \frac{50}{50 + 100} \times 40 \text{ V} = 13,3 \text{ V}$$

- Stand 3/4: Weerstand van R_1 tussen A en B is $\frac{3}{4} \times 200 \text{ } \Omega = 150 \text{ } \Omega$. Dus:
 $R_{AB} = 150 \text{ } \Omega // 100 \text{ } \Omega = 60 \text{ } \Omega$.

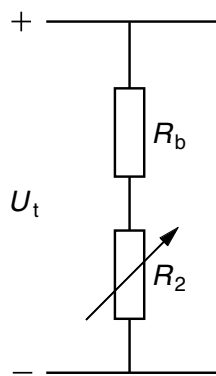
$$U_{AB} = \frac{60}{60 + 50} \times 40 \text{ V} = 21,8 \text{ V}$$

- Stand 1: $U_{AB} = 40 \text{ V}$ want de looper is met de + (plus) van de voeding verbonden.

In figuur 2.27 is lijn b het verloop van U_{AB} in belaste toestand. Ook daarin zien we dat de belaste spanning lager is dan de onbelaste spanning die door lijn a wordt voorgesteld.

2.7 Schakelingen met lineaire en niet-lineaire weerstanden

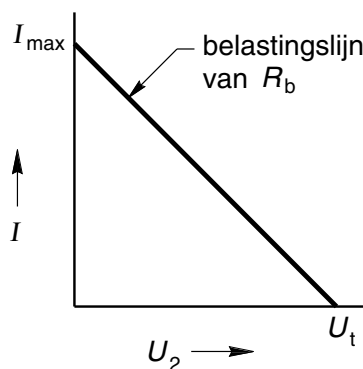
In de schakeling van figuur 2.28 kunnen we met R_2 de stroom regelen door belasting R_b .



Figuur 2.28 Stroomregeling

We gaan de spanning over de belasting R_b en de regelbare weerstand R_2 op een grafische manier bepalen in de grafiek $I = f(U_2)$. Daarin tekenen we van de belasting de *belastingslijn*. Zie figuur 2.29.

De belastingslijn in de grafiek $I = f(U)$ is de lijn die het punt van de maximale stroom door de component verbindt met het punt van de maximale spanning over de component.



Figuur 2.29 Belastingslijn

We gaan er vanuit dat we R_2 kunnen regelen tussen 0Ω en ∞ . Als we R_2 naar 0Ω regelen, geldt voor de maximale stroom die kan optreden in de keten:

$$I_{\max} = \frac{U}{R_v}$$

De spanning U_2 over de component R_2 is dan 0 V , want:

$$U_2 = I_{\max} \cdot R_2 = I_{\max} \times 0 \Omega = 0 \text{ V}.$$

Dit punt geven we aan op de I -as ($0, I_{\max}$).

Voor $R_2 = \infty$ geldt $I = 0 \text{ A}$.

$R_2 = \infty$ moeten we beschouwen als een onderbreking van R_2 .

Over een onderbreking staat altijd de totale spanning. Dus:

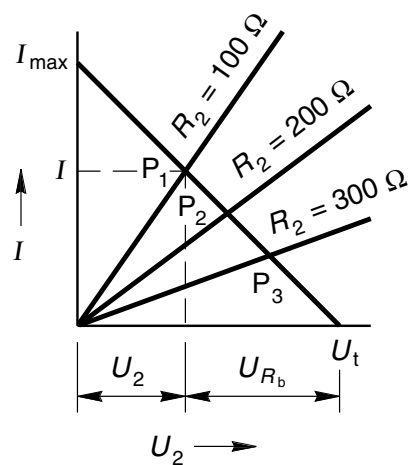
$$U_2 = U_t$$

Dat punt geven we aan op de U -as ($U_t, 0$).

Als we de twee gevonden punten verbinden met een rechte lijn, is dat de *belastingslijn*.

Dat is dus de lijn van belasting R_b . Zie figuur 2.29.

In dezelfde grafiek tekenen we voor een aantal waarden van R_2 de *weerstandslijnen* $I = f(U_2)$. We zien dat de weerstandslijnen van R_2 en de belastingslijn van R_b elkaar snijden. De snijpunten P noemen we *instelpunten*. Zie figuur 2.30.

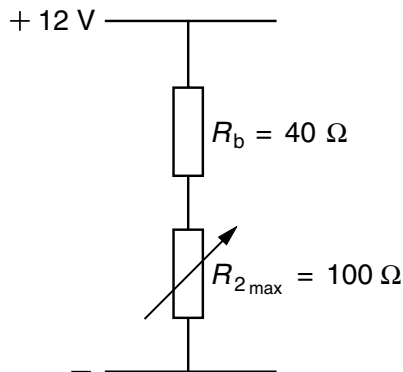


Figuur 2.30 Instelpunten

Uit de grafiek kunnen we in de instelpunten de waarden aflezen van I , U_{R_b} en U_2 . Voor instelpunt P_1 is dit aangegeven.

Voorbeeld 2.11**Gegeven**

Zie de schakeling van figuur 2.31.



Figuur 2.31 Schakeling

Gevraagd

- Teken in een grafiek de belastingslijn van R_b en de weerstandslijn $I = f(U)$ voor een ingestelde waarde van $R_2 = 20 \Omega$.
- Bepaal daarna in de grafiek I , U_2 en U_{R_b} .

Oplossing

$$a \quad R_2 = 0 \Omega \Rightarrow I_{\max} = \frac{U}{R_b} = \frac{12 \text{ V}}{40 \Omega} = 0,3 \text{ A}$$

Dit punt geven we op de I -as aan $(0; 0,3)$ in figuur 2.32.

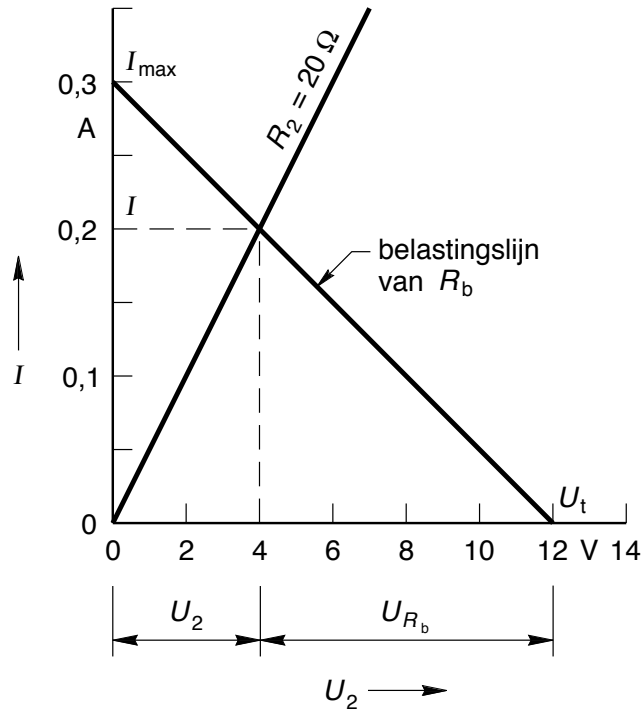
$$R_2 = \infty \text{ (onderbreking)} \Rightarrow U_2 = U_t = 12 \text{ V.}$$

Dit punt geven we op de U -as aan $(12; 0)$.

Deze twee punten verbinden we met een rechte lijn en dat is de belastingslijn van R_b .

Voor $R_2 = 20 \Omega$ tekenen we de weerstandslijn, $I = f(U)$.

In figuur 2.32 zien we de grafische voorstelling.



Figuur 2.32 Grafiek

b Vanuit het instelpunt lezen we de waarden van I , U_2 en U_{R_b} af:

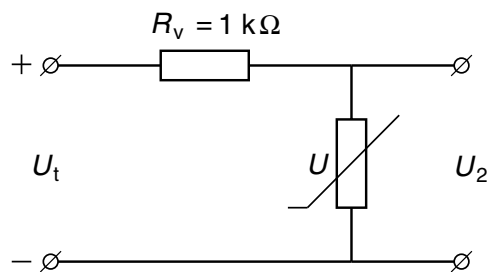
$$I = 0,2 \text{ A}$$

$$U_2 = 4 \text{ V}$$

$$U_{R_b} = 12 \text{ V} - 4 \text{ V} = 8 \text{ V}$$

Vooral als de component een niet-lineaire functie heeft, is de grafische methode een goede methode om instelwaarden te bepalen.

In figuur 2.33 zien we een onbelaste schakeling met een VDR en een voor-schakelweerstand R_v . Bij een verandering van U_t zorgt de VDR er voor dat U_2 in verhouding veel minder verandert.

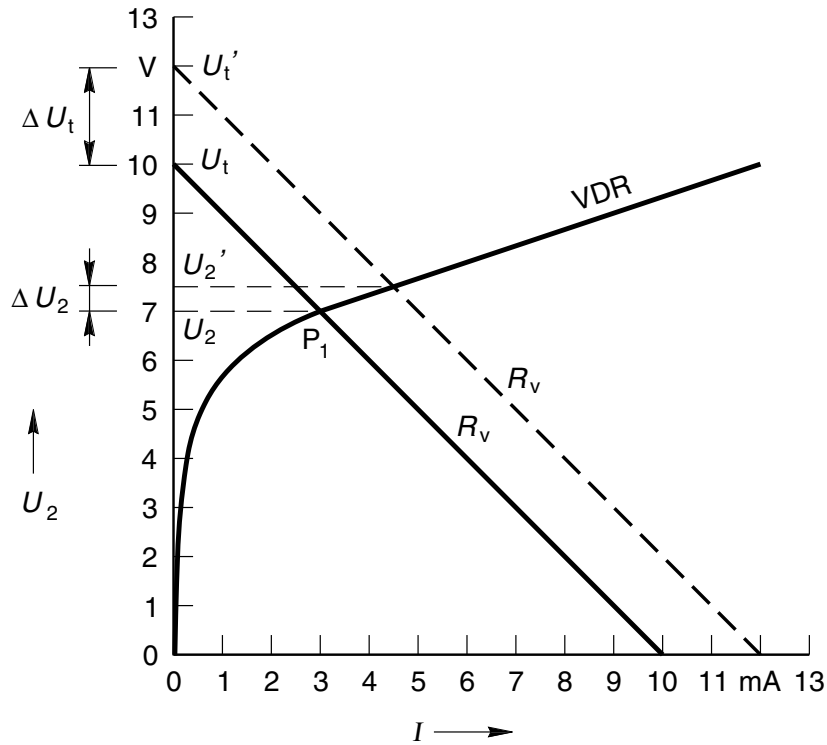


Figuur 2.33 Schakeling met VDR

Voorbeeld 2.12**Gegeven**

Zie de schakeling van figuur 2.33. $U_t = 10$ V.

Van de VDR zien we de karakteristiek $U = f(I)$ in figuur 2.34.



Figuur 2.34 $U = f(I)$ van de VDR

Gevraagd

- Teken in de grafiek de belastingslijn van R_v .
- Bepaal daarna uit de grafiek de spanning U_2 .
- Teken de belastingslijn van R_v als U_t verandert naar 12 V.
- Bepaal daarna weer de spanning U_2 .
- Hoe groot is de verandering ΔU_t ?
- Hoe groot is de verandering ΔU_2 ?
- Welke conclusie kunnen we uit deze berekening trekken?

Oplossing

a $I_{\max} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$. Op de x -as het punt (10, 0) uitzetten.

$U_t = 10$ V. Op de y -as het punt (0, 10) uitzetten.

De verbinding tussen deze twee punten is de belastingslijn van R_v .

b Bij punt P_1 vinden we een spanning $U_2 = 7$ V.

- c De gestippelde lijn is de belastingslijn bij $U_t = 12 \text{ V}$. (Ga dit zelf na.)
- d Bij punt P_2 vinden we een spanning $U_2 = 7,5 \text{ V}$.
- e $\Delta U_t = 12 \text{ V} - 10 \text{ V} = 2 \text{ V}$
- f $\Delta U_2 = 7,5 \text{ V} - 7 \text{ V} = 0,5 \text{ V}$
- g De verandering van U_2 is $4 \times$ kleiner dan de verandering van U_t . De VDR heeft dus de eigenschap om spanningsveranderingen te reduceren tot veel kleinere spanningsveranderingen.

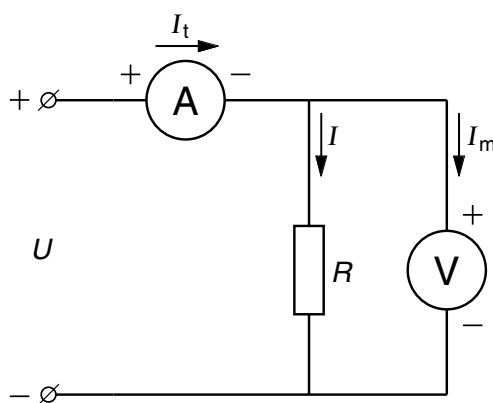
Meettechniek

2.8 Beïnvloeding meting door meterweerstand

Digitale multimeters hebben voor spanningsmeting een hoge ingangsweerstand. Afhankelijk van merk en type varieert de ingangsweerstand voor spanningsmeting van $10 \text{ M}\Omega$ - $100 \text{ M}\Omega$. De inwendige weerstand is laag bij stroommeting en varieert van $0,01 \Omega$ (groot meetbereik) tot 100Ω (klein meetbereik). Bij het meten met een volt- en ampèremeter zal door de ingangsweerstand van de meter een fout optreden.

Methode 1

In figuur 2.35 zien we het meetschema voor het meten van stroom en spanning bij een weerstand.



Figuur 2.35 Methode 1

De voltmeter meet de spanning over de weerstand U_R .

De ampèremeter meet de totale stroom I_t . Daarbij geldt: $I_t = I_R + I_m$.

De ampèremeter meet dus niet de stroom die we willen meten, maar een grotere stroom. We kunnen de fout uitdrukken als:

- *absolute fout*: dat is de gemeten waarde - werkelijke waarde;
- *relatieve fout*: dat is de $\frac{\text{absolute fout}}{\text{gemeten waarde}}$;

$$\text{procentuele fout} = \text{relatieve fout} \times 100\% \quad (2.8)$$

Voorbeeld 2.13

Gegeven

De meetschakeling van figuur 2.35, met:

$$R_{\text{voltmeter}} = R_m = 10 \text{ M}\Omega$$

$$R = 1 \text{ M}\Omega$$

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

Gevraagd

- a Wat is de absolute fout?
- b Wat is de procentuele fout?

Oplossing

$$a \quad I_m = \frac{U_R}{R_m} = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ M}\Omega} = 1 \mu\text{A}$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ M}\Omega} = 10 \mu\text{A}$$

De ampèremeter meet dus een stroom van:

$$I_t = I_r + I_m = 11 \mu\text{A}.$$

Dus:

$$\text{absolute fout} = 11 \mu\text{A} - 10 \mu\text{A} = 1 \mu\text{A}$$

$$b \quad \text{relatieve fout} = \frac{\text{absolute fout}}{\text{gemeten waarde}} \Rightarrow$$

$$\text{relatieve fout} = \frac{1 \mu\text{A}}{11 \mu\text{A}} = 0,0909$$

$$\text{De procentuele fout} = \text{relatieve fout} \times 100\% = 9,09\%$$

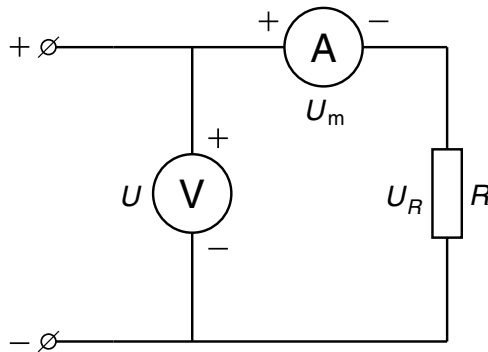
De afwijking is dus groot.

Voor grote weerstandswaarden is dit dus geen goede meetmethode.

Deze methode passen we alleen toe als de (belastings)weerstand klein is ten opzichte van de meterweerstand.

Methode 2

In figuur 2.36 zien we het schema voor methode 2. Vergelijk dit met het schema voor methode 1, figuur 2.35.



Figuur 2.36 Methode 2

Nu meten we wel de juiste stroom, maar de gemeten spanning is nu $U = U_R + U_m$. De spanning U_m over de ampèremeter is de absolute fout. Bij het berekenen van R vinden we nu een te grote waarde.

Als de spanning over de meter $U_m \ll U_R$ dan geldt ook $U \approx U_R$. De fout is dan zo klein, dat we hem kunnen verwaarlozen. Bij het meten van kleine weerstandswaarden kunnen we de fout niet verwaarlozen.

Voorbeeld 2.14

Gegeven

Je meet aan een weerstand van 8Ω , met meetmethode 2. De ampèremeter heeft een weerstand $R_m = 0,5 \Omega$.

Bij de meting stellen we een stroom in van 1 A .

Gevraagd

Hoe groot is met deze methode:

- De absolute fout.
- De relatieve fout.
- De procentuele fout.

Oplossing:

$$R_t = R + R_m = 8 \Omega + 0,5 \Omega = 8,5 \Omega$$

De totale spanning is $U = I \cdot R_t = 8,5 \text{ V}$

De absolute fout is $U_m = 1 \text{ A} \times 0,5 \Omega = 0,5 \text{ V}$.

De relatieve fout is $\frac{0,5 \text{ V}}{8,5 \text{ V}} = 0,0588$

De procentuele fout is dan $0,0588 \times 100\% = 5,88\%$

Voor kleine weerstandswaarden is deze methode dus niet goed.

Deze methode passen we alleen toe als de (belastings)weerstand groot is ten opzichte van de meterweerstand.

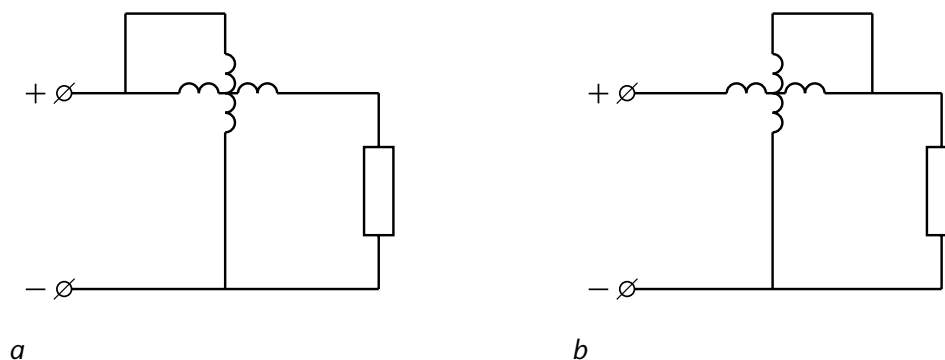
Conclusie

Kleine weerstandswaarden meten we met methode 1.

Grote weerstandswaarden meten we met methode 2.

2.9 Meten van vermogen

Bij gelijkspanning is het vermogen $P = U \cdot I$. Voor het meten van dit vermogen zijn er twee methoden. Door de schakeling van figuur 2.35 of van figuur 2.36 te gebruiken, kunnen we uit de aanwijzingen van de volt- en ampèremeter het vermogen berekenen. In beide gevallen maken we (zoals we nu weten) een fout. Dat is ook het geval als we met een wattmeter meten. In figuur 2.37 zien we de twee mogelijke aansluitmethoden.



Figuur 2.37 Twee manieren om een wattmeter aan te sluiten

In schema 4.37a meten we de spanning over de stroomspoel mee. Bij een klein vermogen is dit een goede methode. De spanning over de stroomspoel is dan klein, en daardoor is de fout ook klein. In schema 4.37b meten we de stroom door de spanningsspoel mee. Bij een groot vermogen is dit een goede methode. De stroom door de spanningsspoel is dan relatief klein ten opzichte van de stroom door het toestel. Daardoor is de fout ook klein.

W I S T J E D A T ...

- het totaal opgenomen vermogen in een netwerk gelijk is aan de som van de vermogens in de afzonderlijke componenten?
- bij oudere motorschakelingen nog voorschakelweerstand voorkomen?
- het begrip *voorschakelweerstand* een verouderd begrip aan het worden is, omdat deze term vooral bij analoge meters wordt gebruikt en we deze meters al bijna niet meer gebruiken?
- de begrippen *grote weerstandswaarden* en *kleine weerstandswaarden* altijd in relatie moeten worden gezien met de rest van een schakeling en/of weerstandswaarden van meetinstrumenten?

2.10 Kernpunten**Serieschakeling van weerstanden**

Voor een serieschakeling geldt:

- de stroom I is overal gelijk.
- de totale spanning is $U_t = U_1 + U_2 + U_3$
- de totale weerstand is $R_t = R_1 + R_2 + R_3$
- de spanningen en de weerstanden verhouden zich als $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$
- deelspanningen kun je berekenen met: $U_1 = \frac{R_1}{R_t} \cdot U_t$; $U_2 = \frac{R_2}{R_t} \cdot U_t$; enzovoort

Parallelschakeling van weerstanden

Voor een parallelschakeling geldt:

- de spanning is overal gelijk
- de totale stroom is $I_t = I_1 + I_2 + I_3$
- de totale weerstand bereken je met $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \text{enzovoort}$
- voor twee weerstanden $R_{v12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Gemengde schakelingen van weerstanden

- Elke gemengde schakeling kunnen we reduceren tot een eenvoudige serie- of parallelschakeling.
- Oplossingsrecept voor gemengde schakelingen
 - Stap 1: Teken de schakeling eventueel in een overzichtelijker vorm.
 - Stap 2: Benoem de stromen en zet ze in de schakeling.
 - Stap 3: Reduceer in stappen de schakeling tot één vervangingsweerstand R_v .
 - Stap 4: Bereken I_t .
 - Stap 5: Ga in stappen terug en bereken in elke stap de mogelijke stromen en spanningen.

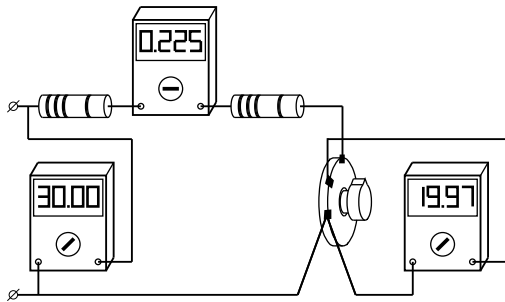
Grafieken

- De *belastingslijn* in de grafiek $I = f(U)$ is de lijn die het punt van de maximale stroom door de component verbindt met het punt van de maximale spanning over de component.
- Het snijpunt van de belastingslijn en de weerstandslijn is het instelpunt.

Meettechniek

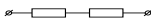
- Er zijn twee methoden voor het meten van spanningen en stromen met een volt- en ampèremeter.
- Methode 1: Voltmeter over de belasting. Amperemeter meet de totale stroom. Deze methode passen we toe als de (belastings)weerstand klein is ten opzichte van de meterweerstand.
- Methode 2: Voltmeter meet de totale spanning en ampèremeter meet de stroom door de belasting. Deze methode passen we dus toe als de (belastings)weerstand groot is ten opzichte van de meterweerstand.

Opgaven



Waar gaat dit hoofdstuk over?

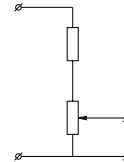
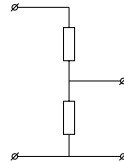
- Serieschakelen van weerstanden.



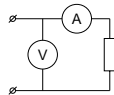
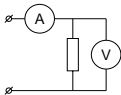
- Parallelschakelen van weerstanden.



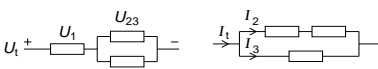
- Vaste en regelbare spanningsdeler.



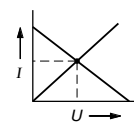
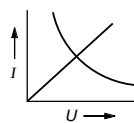
- De weerstand meten met een volt- en ampèremeter.



- Gemengde schakelingen.



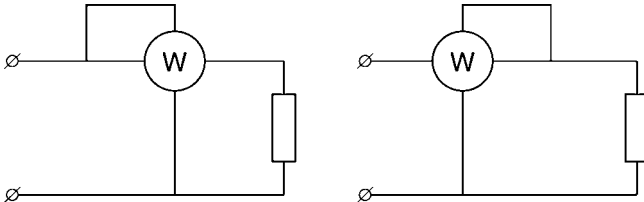
- Grafische oplossingsmethode voor schakelingen met lineaire en niet-lineaire weerstanden.



- Vergroten van het meetbereik van paneelmeters.



- Meetmethoden voor het meten van vermogen.



Dit weet je al!

- Je mag een vergelijking links en rechts van het '='-teken door hetzelfde getal delen.
- Je mag in een verhouding links, rechts, of links én rechts van het '='-teken alle termen door hetzelfde getal delen.
- Hoe je in een netwerk de stroomrichting en de polariteit van een spanning aangeeft.
- Je kunt de wet van Ohm toepassen.
- Hoe je de eerste en tweede wet van Kirchhoff moet toepassen.
- De spanning over een weerstand kun je weergeven in de grafiek $I = f(U)$.

Formules

Wet van Ohm

$$R = \frac{U}{I} \text{ en de omzetting hiervan.}$$

Eerste wet van Kirchhoff

$$\sum I_{\text{toevloeiend}} = \sum I_{\text{afvloeiend}} \text{ in een knooppunt}$$

Tweede wet van Kirchhoff

$$\sum U = 0 \text{ in een gesloten stroomkring}$$

Twijfel je?

Maak dan eerst de eerste instaptoets.

Eerste instaptoets

Kruis de goede antwoorden aan op de invulstaat aan het eind van deze instaptoets.

1 $ax = y + z$ Als we beide termen door 3 delen, krijgen we de vergelijking:

a $\frac{1}{3}ax = \frac{1}{3}y + z$

b $\frac{1}{3}ax = \frac{y+z}{3}$

c $\frac{1}{3}a \cdot \frac{1}{3}x = \frac{1}{3}y + z$

d $\frac{1}{3}a \cdot \frac{1}{3}x = \frac{y+z}{3}$

2 $\frac{a}{3} : \frac{b}{3} : \frac{c}{3} = 5 : 4 : 2$. Welke verhouding is **niet** goed?

a $a : b : c = \frac{5}{3} : \frac{4}{3} : \frac{2}{3}$

b $a : b : c = \frac{3}{5} : \frac{3}{4} : \frac{3}{2}$

c $a : b : c = 5 : 4 : 2$

d $a : b : c = 15 : 12 : 6$

3 Over een weerstand van $470 \text{ k}\Omega$ staat een spanning van 50 V . Bereken de stroom.

- a $I = 9,4 \text{ mA}$
- b $I = 23,5 \text{ mA}$
- c $I = 23,5 \text{ kA}$
- d $I = 106 \text{ }\mu\text{A}$

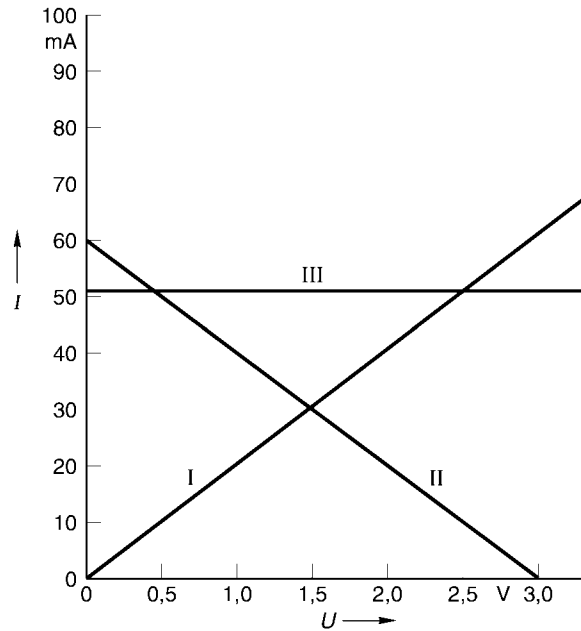
4 $a_1 = b \cdot c_1$, $b = \frac{a}{c}$, $c_1 = 5$ en $c = 12$.

Druk a_1 uit in a .

- a $a_1 = \frac{1}{60} a$
- b $a_1 = \frac{5}{12} a$
- c $a_1 = 2,4 a$
- d $a_1 = 60 a$

5 In figuur 4.1 is de weerstandslijn voor een weerstand van $50 \text{ }\Omega$:

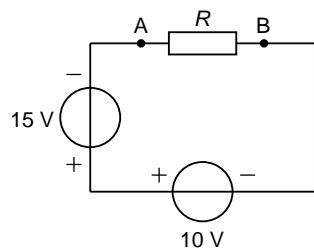
- a lijn I
- b lijn II
- c lijn III



Figuur 4.1

6 In de schakeling van figuur 4.2 is:

- a $U_{AB} = 5 \text{ V}$
- b $U_{AB} = 25 \text{ V}$
- c $U_{BA} = 5 \text{ V}$
- d $U_{BA} = 25 \text{ V}$



Figuur 4.2

Invulstaat

	a	b	c	d
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vergelijk je antwoorden met de antwoorden op de tweede instaptoets achter in dit werkboek. Heb je antwoorden fout, bestudeer dan die onderdelen in hoofdstuk Basisbegrippen voor netwerken van je kernboek nog een keer en bij wiskunde de onderwerpen ‘bewerken van vergelijkingen’ en ‘substitutie’.

Serieschakeling van weerstanden en meten van spanningen

Bestudeer eerst de volgende paragrafen uit je kernboek:

- 1 Serieschakeling van weerstanden
- 2 Stroom- en spanningsregeling
- 3 Meten van spanningen bij serieschakeling

Beantwoord vervolgens de theorievragen en -opdrachten 1 t/m 7. Controleer pas *daarna* in je kernboek de antwoorden.

Theorievragen en -opdrachten

- 1 Noem drie eigenschappen van serieschakelingen met weerstanden.

1 _____

2 _____

3 _____

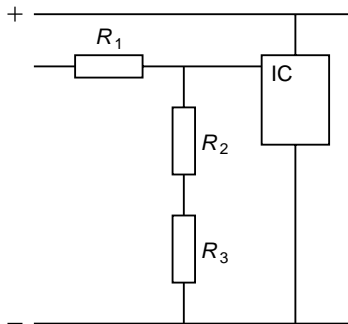
- 2 Hoe verhouden zich de deelspanningen in een serieschakeling ten opzichte van de (deel)weerstanden?

- 3 Waarvoor dient een voorschakelweerstand?

- 4 Geef twee methoden om de spanning over R_2 in de schakeling van figuur 4.3 te meten.

1 _____

2 _____



Figuur 4.3

- 5 Wat is een potentiometerschakeling?

- 6 Geef het verschil aan tussen een potentiometerschakeling en een regelbare stroomschakeling.

- 7 Geef aan hoe je het spanningsmeetbereik kunt vergroten van een paneelmeter met een draaispoelmeetsysteem.

Maak nu de toetsopgaven 1 t/m 7.

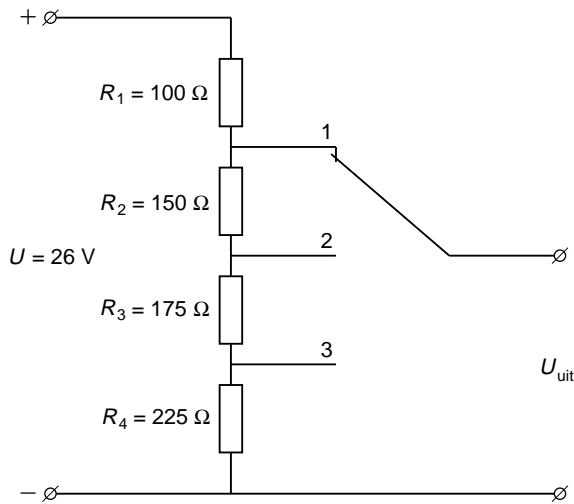
Maak de berekeningen in je schrift en vul alleen de antwoorden in. Controleer na elke toetsopgave je antwoord achter in dit werkboek.

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over en ga direct door met de volgende toetsopgave.

Toetsopgave 1

We willen beschikken over een in stappen regelbare gelijkspanning. Voor dat doel maken we de schakeling van figuur 4.4. We beschikken dan over drie spanningswaarden.

- Bereken: a De uitgangsspanningen in de standen 1, 2 en 3.
b Het gedissipeerde vermogen in elke weerstand.



Figuur 4.4

- c Het gedissipeerde vermogen van de totale schakeling.

- a U in stand 1 = _____ U in stand 2 = _____ U in stand 3 = _____
b P_1 = _____ P_2 = _____ P_3 = _____ P_4 = _____
c P_t = _____

Oefenopgaven

- 1.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 1 uit je kernboek. Maak die nu zelf. We sluiten een serieschakeling van drie weerstanden aan op een spanning van 16,2 V. De weerstanden zijn 120 Ω, 220 Ω en 470 Ω. Bereken de stroom en de deelspanningen. Controleer de verhouding tussen deelspanningen en weerstanden.

$$I = \text{_____} \quad U_1 = \text{_____} \quad U_2 = \text{_____} \quad U_3 = \text{_____}$$

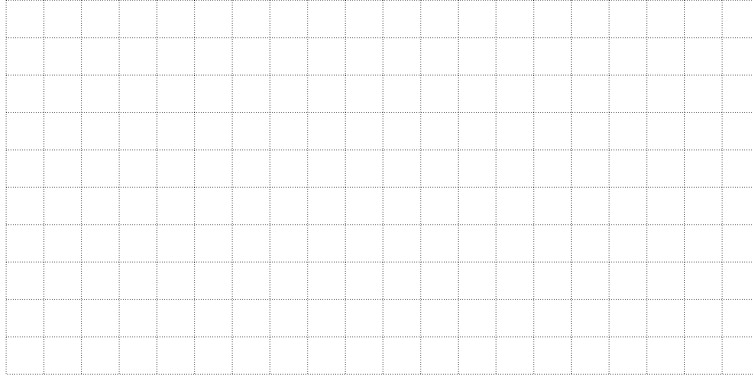
Controle verhoudingen:

- 1.2 Geef twee paar verschillende formules voor het berekenen van de deelspanningen in een serieschakeling met twee weerstanden.

1 $U_1 = \text{_____}$ $U_2 = \text{_____}$

2 $U_1 = \text{_____}$ $U_2 = \text{_____}$

- 1.3 Twee weerstanden R_1 en R_2 van 15Ω en 25Ω zijn in serie geschakeld op een spanning van 100 V .
 Teken eerst het schema en vermeld daarin de gegevens.
 Bereken daarna de stroom, de deelspanningen en het vermogen in R_2 .



Oplossing: $I = \frac{U_t}{R} = \frac{\dots\dots\dots}{40 \Omega} = \dots\dots\dots \text{ A}$

$U_1 = I \cdot R_1 = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ V}$

$U_2 = I \cdot R_2 = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ V}$

$P_2 = I^2 \cdot R_2 = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ V}$

(er zijn nog twee manieren)

Maak nu nog eens toetsopgave 1 en ga daarna verder met toetsopgave 2.

Toetsopgave 2

Vier weerstanden zijn in serie geschakeld op een spanning van 30 V . De totale weerstand van de schakeling is $15 \text{ k}\Omega$. De spanning over R_1 is 6 V en die over R_2 is 4 V , $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$ en $R_4 = 4 \text{ k}\Omega$.

- a Teken eerst het schema en vermeld de gegevens daarin.



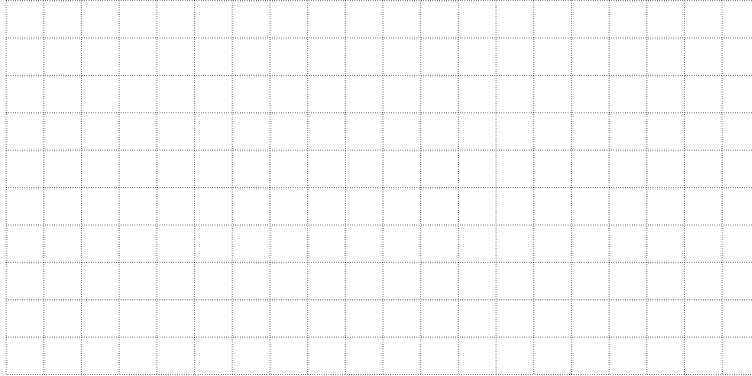
- b Bereken: I , R_1 , R_2 , U_3 , U_4 en het vermogen in R_2 .

$I = \dots\dots\dots$ $R_1 = \dots\dots\dots$ $R_2 = \dots\dots\dots$ $U_3 = \dots\dots\dots$ $U_4 = \dots\dots\dots$

Het vermogen in $R_2 = \dots\dots\dots$

Oefenopgaven

- 2.1 Twee weerstanden zijn in serie geschakeld op 20 V. R_1 is 24Ω en U_2 over R_2 is 18 V. Teken eerst het schema.



Bereken dan de spanning over R_1 , de stroom en de waarde van de weerstand R_2 .

Gegeven: $U_t = \text{_____ V}$

$R_1 = \text{_____ } \Omega$

$U_2 = \text{_____ V}$

Gevraagd schema, U_1 , I en R_2 .

Oplossing: $U_1 = U_t - U_2 = \text{_____} - \text{_____} = \text{_____ V}$

$I = \frac{\dots}{\dots} = \text{_____ A}$

...

$R_2 = \text{_____ } \Omega$

- 2.2 Door drie in serie geschakelde weerstanden vloeit een stroom van 0,05 A. Over R_1 staat een spanning van 2 V en over R_2 een spanning van 2,5 V. De weerstand R_3 is 25Ω . Teken eerst een schema met daarin de gegevens.



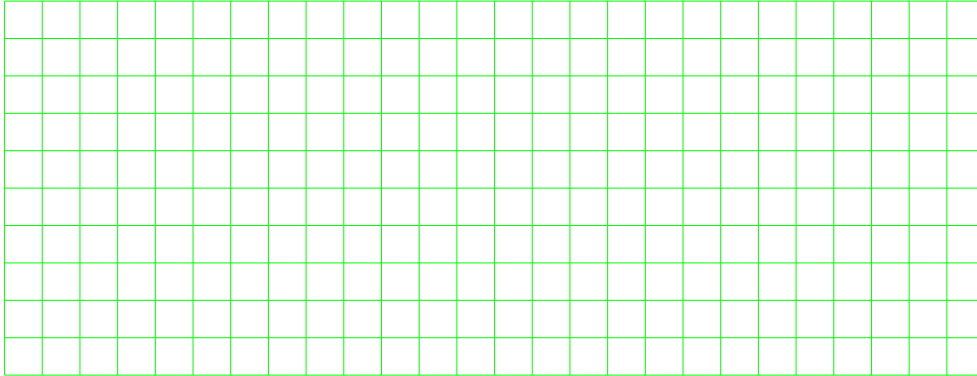
Bereken daarna U_t en R_t .

$U_t = \text{_____}$ $R_t = \text{_____}$

Maak nu nog eens toetsopgave 2 en ga daarna verder met toetsopgave 3.

Toetsopgave 3

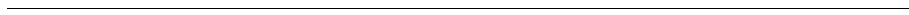
Drie weerstanden zijn in serie geschakeld op 60 V. Over R_1 staat een spanning van 12 V. $R_2 : R_3 = 5 : 3$. De totale weerstand is 400Ω . Teken eerst het schema. Bereken dan de deelspanningen U_2 en U_3 en de weerstanden R_1 , R_2 en R_3 .



$U_2 = \text{_____}$ $U_3 = \text{_____}$ $R_1 = \text{_____}$ $R_2 = \text{_____}$ $R_3 = \text{_____}$

Oefenopgaven

3.1 Geef de verhouding weer van de weerstanden ten opzichte van de deelspanningen bij een serieschakeling



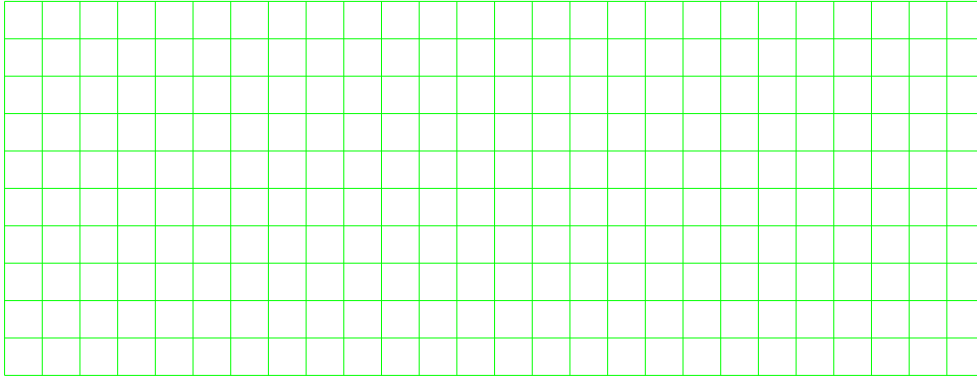
3.2 Twee weerstanden staan in serie geschakeld op een spanning van 24 V. $U_1 : U_2 = 1 : 5$. De stroom door de schakeling is 40 mA. Bereken de waarden van R_1 en R_2 .

$R_1 = \text{_____}$ $R_2 = \text{_____}$

Maak nu nog eens toetsopgave 3 en ga daarna verder met toetsopgave 4.

Toetsopgave 4

Een lichtgevende diode (led) mag maximaal een stroom voeren van 50 mA. De spanning over de led is dan 3 V. De led is in serie geschakeld met een weerstand. Teken eerst het schema met de gegevens.



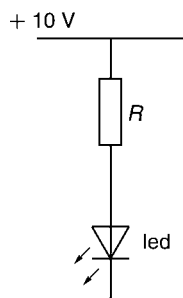
- a Bereken de voorschakelweerstand om de schakeling met led op 10 V te kunnen aansluiten.

- b Hoe groot is het vermogen dat de led opneemt en hoe groot is het vermogen dat de weerstand opneemt?

Oefenopgaven

- 4.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 2 uit je kernboek. Maak die nu zelf. We willen een led (lichtgevende diode) gebruiken als *aan/uit*-indicator voor een apparaat. De led brandt helder bij een stroomsterkte van 20 mA. De spanning over de led is dan 3 V. De beschikbare spanning in het apparaat is 10 V. Om de led op de juiste spanning te laten branden moeten we er dus een weerstand voor schakelen, zie figuur 4.5. Welke waarde moet de weerstand R dan hebben?

$$R = \text{_____}$$



Figuur 4.5 Led met serieweerstand

4.2 Bereken de dissipatie in een weerstand van 350Ω waardoor een stroom vloeit van 20 mA.

4.3 Een lampje van 6 V - 2 W wordt met een voorschakelweerstand aangesloten op 24 V. Teken het schema met de gegevens en bereken de weerstand en de dissipatie in de weerstand.

$R_v =$ _____ $P_v =$ _____



Maak nu nog eens toetsopgave 4 en ga daarna verder met toetsopgave 5.

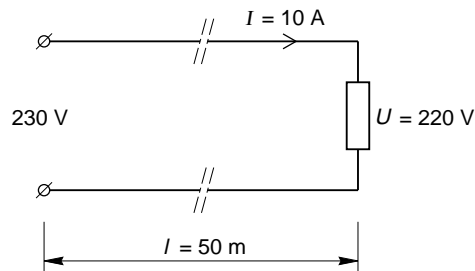
Toetsopgave 5

Je sluit een toestel van 3300 W aan op een spanning van 230 V met een kabel van 80 meter lang. De koperen aders hebben een doorsnede van $2,5 \text{ mm}^2$.

- a Bereken de spanning over het toestel. Deze bedraagt: _____
- b Bereken het vermogen dat het toestel opneemt. Dit bedraagt: _____
- c Geef een methode om het spanningsverlies door meting te bepalen.

Oefenopgaven

- 5.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 3 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Gegeven is de schakeling van figuur 4.6. Voor een goede werking van het apparaat moet dit tenminste een spanning hebben van 220 V. Welke doorsnede moeten de leidingen minimaal hebben als de stroom door het toestel 10 A is?



Figuur 4.6 Apparaat op lange leiding aangesloten

- 5.2 Je sluit met een lange leiding een motor aan op een spanning van 50 V. De leidingweerstand is $0,2 \Omega$ per ader. De stroom I is 3 A. Bereken de spanning over de motor.

Oplossing: De leidingweerstand R_l is totaal _____ Ω

Het spanningsverlies U_v in de leiding is _____ \times _____ = _____ V

De spanning over de motor is $U - U_v =$ _____ V

- 5.3 Een feestverlichting bestaat uit 66 lampen van 60 W/230 V. Je sluit de lampen aan op een 50 m lange kabel met een aderdoorsnede van $1,5 \text{ mm}^2$.

Vragen

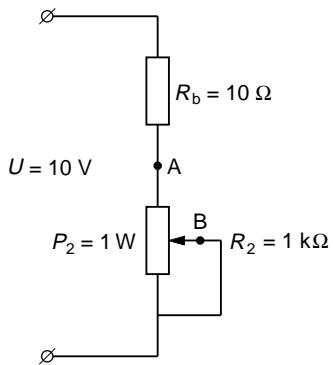
Antwoorden

- | | |
|---|-------|
| a Hoe groot is de totale weerstand van de lampen? | _____ |
| b Bereken de stroom. | _____ |
| c Bereken de spanning over de lampen. | _____ |

Maak nu nog eens toetsopgave 5 en ga daarna verder met toetsopgave 6.

Toetsopgave 6

Gegeven is de schakeling van figuur 4.7.



Figuur 4.7

a Bereken de dissipatie in de regelbare weerstand in de standen:

$10^{-4} \cdot R_2$	_____	$10^{-3} \cdot R_2$	_____
$10^{-2} \cdot R_2$	_____	$10^{-1} \cdot R_2$	_____
$10^{-0} \cdot R_2$	_____		

b Teken de grafiek $P = f(R_2)$.

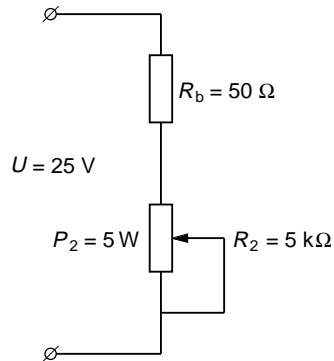


c Hoe groot moet R_b minimaal zijn om te voorkomen dat de maximale dissipatie van de regelbare weerstand wordt overschreden?

d Zal de maximale dissipatie in R_2 worden overschreden? Verklaar je antwoord.

Oefenopgaven

- 6.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 4 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Zie figuur 4.8.



Figuur 4.8

- a Bereken de dissipatie in de regelbare weerstand voor de volgende ingestelde waarden:

$$0,0001 R_{2_{\max}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,1 R_{2_{\max}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

$$0,001 R_{2_{\max}} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad R_{2_{\max}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

$$0,01 R_{2_{\max}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$$

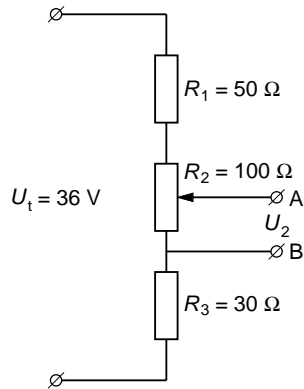
- b Teken een grafiek $P = f(R_2)$.



- c Bereken de minimale waarde van R_b waarbij de dissipatie in de regelbare weerstand niet boven 5 W komt.

- d Bereken het vermogen dat R_b maximaal dissipeert.

- 6.2 Gegeven is de schakeling van figuur 4.9.
 a Tussen welke waarden kun je de spanning U_{AB} regelen?
 b Bereken het vermogen dat de potentiometer opneemt.



Figuur 4.9

Oplossing: a $R_t = \text{_____} + \text{_____} + \text{_____} = \text{_____} \Omega$

$$U_2 = \frac{R_2}{R_t} U_t \rightarrow U_2 = \frac{\dots}{\dots} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ V}$$

U_{AB} te regelen tussen _____ V en _____ V

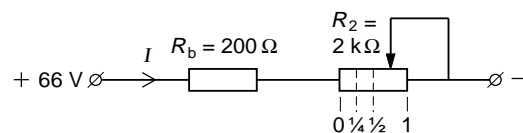
b $P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{\dots}{\dots} = \text{_____} \text{ W}$

- 6.3 Gegeven is de schakeling van figuur 4.10.
 a Bereken tussen welke waarden je de stroom kunt regelen.

- b Bereken het opgenomen vermogen van de regelbare weerstand in de volgende standen:

0 _____ $\frac{1}{4}$ _____

$\frac{1}{2}$ _____ 1 _____



Figuur 4.10

Maak nu nog eens toetsopgave 6 en ga dan verder met toetsopgave 7.

Toetsopgave 7

Een paneelmeter, uitgevoerd met een draaispoelmeetsysteem heeft een meetbereik van 0 - 100 mV. De meterweerstand is 100 Ω . Welke waarde moet de voorschakelweerstand hebben om het meetbereik te vergroten naar 0 - 1 V?

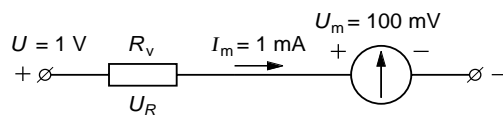
Antwoord: _____

Oefenopgaven

- 7.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 5 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Het meetbereik van een paneelmeter met een draaispoelmeetsysteem is 100 mV. Zie figuur 4.11. De stroom door de meter is dan 1 mA. Het spanningsbereik moet worden vergroot tot 1 V.

a Hoe groot moet de voorschakelweerstand zijn?

b Hoe groot is de meterweerstand bij het meetbereik van 1 V?



Figuur 4.11 Meetsysteem met voorschakelweerstand

- 7.2 Een paneelmeter heeft een meetbereik van 0 - 3 V. De meterweerstand is 3 k Ω . Om het meetbereik te vergroten tot 10 V schakel je een weerstand voor de meter. Teken eerst het schema. Bereken welke waarde je moet nemen voor de voorschakelweerstand.

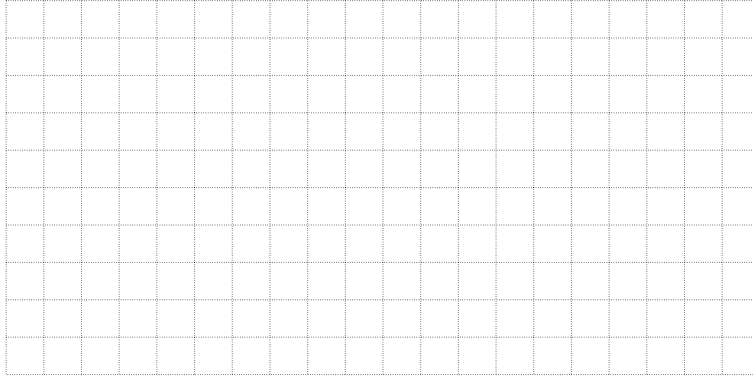


Oplossing: $I_m = \frac{U}{R_m} \rightarrow I_m = \text{_____ mA}$

$U_v \text{ over } R_v = U_t - U_m \rightarrow U_v = \text{_____ V}$

$R_v = \frac{U_v}{I} \rightarrow R_v = \text{_____ k}\Omega$

- 7.3 Een meetsysteem heeft de volgende gegevens: $I_m = 0,5 \text{ mA}$ en $R_m = 100 \Omega$. In serie met het meetsysteem schakel je een weerstand van 2900Ω . Teken eerst het schema met de gegevens.



- a Hoe groot is het meetbereik van de meter zonder voorschakelweerstand?

- b Bereken ook het meetbereik met voorschakelweerstand.

- 7.4 Een meetsysteem heeft een weerstand van 10Ω . Als door het meetsysteem een stroom vloeit van $0,1 \text{ mA}$ slaat de meter vol uit. Teken eerst het schema met de gegevens. Welke weerstand moet je voor het meetsysteem schakelen om een meetbereik van 1 V te verkrijgen?

De weerstand moet zijn: _____



Maak nu nog eens toetsopgave 7.

Parallelschakelingen van weerstanden en meten van stromen

Dit weet je al!

- Toestellen die op het lichtnet van 230 V zijn aangesloten, moeten voor 230 V geschikt zijn.
- Om breuken te kunnen optellen moet je ze eerst gelijknamig maken.
- Multimeters hebben verschillende meetbereiken.
- Eerste wet van Kirchhoff: In een knooppunt is de som van de stromen 0. ($\Sigma I = 0$)

Formules

x berekenen uit de vergelijking:

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

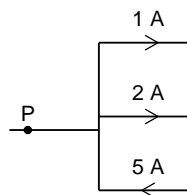
Twijfel je?

Maak dan eerst de tweede instaptoets.

Tweede instaptoets

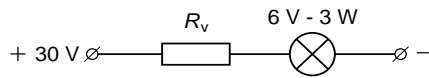
Kruis de goede antwoorden aan op de invulstaat aan het eind van deze instaptoets.

- De spanning op toestellen die zijn aangesloten op het net van 230 V is:
 - $\frac{230 \text{ V}}{\text{aantal toestellen}}$
 - 230 V
 - afhankelijk van de weerstand van elk toestel
- Tel op: $\frac{1}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12}$ is:
 - $\frac{1}{25}$
 - $\frac{3}{25}$
 - $\frac{49}{120}$
- Bij een multimeter zijn er meestal meerdere meetbereiken voor:
 - spanningsmeting
 - stroommeting
 - weerstandsmeting
 - de antwoorden onder a, b en c zijn alle drie goed
- In figuur 4.12 is de stroom en de stroomrichting in punt P:
 - 8 A naar rechts
 - 8 A naar links
 - 2 A naar rechts
 - 2 A naar links



Figuur 4.12

- 5 In de schakeling van figuur 4.13 brandt het lampje op de juiste spanning. De stroom door R_v en de spanning over R_v zijn:
- a 0,5 A en 24 V b 0,5 A en 30 V
 c 2 A en 24 V d 2 A en 30 V



Figuur 4.13

Invulstaat

- | | a | b | c | d |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 2 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 3 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Vergelijk je antwoorden met de antwoorden op de tweede instaptoets achter in dit werkboek. Heb je antwoorden fout, bestudeer dan die onderdelen in het hoofdstuk Basisbegrippen voor netwerken van je kernboek nog een keer en bij wiskunde het onderwerp ‘breuken’.

Bestudeer eerst de volgende paragrafen uit je kernboek.

- 4 Parallelschakeling van weerstanden
- 5 Meten van stromen bij parallelschakeling

Beantwoord vervolgens de theorievragen en -opdrachten 8 t/m 14. Controleer pas *daarna* in je kernboek de antwoorden.

Theorievragen en -opdrachten

- 8 Wat verstaan we onder een parallelschakeling van weerstanden?

- 9 Noem drie eigenschappen van het parallel schakelen van weerstanden.

- 10 Welke formule gebruik je voor het berekenen van R_v van twee parallel geschakelde weerstanden?

11 Wat verstaan we onder de vervangingsweerstand?

12 Hoe bereken je R_v van vier gelijke weerstanden?

13 Geef twee manieren om de stroom door een weerstand in een netwerk te meten.

14 Geef aan hoe je het stroommeetbereik van een draaispoelmeter kunt veranderen.

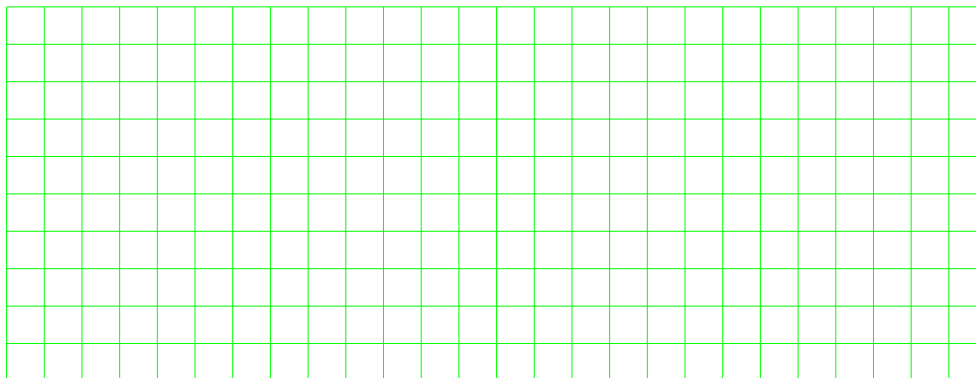
Maak nu de toetsopgaven 8 t/m 11.

Maak de berekeningen in je schrift en vul alleen de antwoorden in. Controleer na elke toetsopgave je antwoord achter in dit werkboek.

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over en ga direct door met de volgende toetsopgave.

Toetsopgave 8

Je schakelt drie weerstanden parallel geschakeld waarvan $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$ en R_3 is onbekend. Je meet een stroom door R_3 van 20 mA als je de schakeling aansluit op een spanning van 50 V. Teken nu eerst het schema en vermeld daarin alle gegevens.



Bereken dan:

a de vervangingsweerstand

b de totale stroom

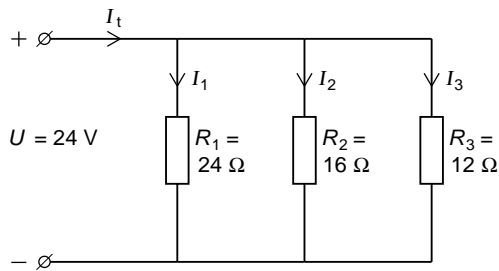
Oefenopgaven

8.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 6 uit je kernboek. Maak die nu zelf.

Gegeven is figuur 4.14. Bereken:

- a R_v
- b de deelstromen I_1, I_2 en I_3
- c I_t

R_v I_1 I_2 I_3 I_t



Figuur 4.14 Voorbeeld van een parallelschakeling

8.2 Je schakelt drie weerstanden van achtereenvolgens 120 Ω , 150 Ω en 180 Ω parallel op een spanning van 30 V. Teken eerst het schema met de gegevens.



Bereken dan:

- a R_v
- b de deelstromen I_1, I_2 en I_3
- c de totale stroom op twee manieren

Oplossing: a $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \text{_____} + \text{_____}$

$$= \frac{1}{120} + \text{_____} + \text{_____} = \frac{\dots\dots}{1800}$$

$$R_v = \frac{1800}{\dots\dots} = \text{_____} \Omega$$

$$b \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \text{-----} \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \text{-----} \text{ A}$$

$$I_3 = \text{-----}$$

$$c \quad I_t = I_1 + I_2 + I_3 = \text{-----} \text{ A (1e manier)}$$

$$I_t = \frac{U}{R_v} = \text{-----} \text{ A (2e manier)}$$

- 8.3** Je schakelt drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 van achtereenvolgens 25Ω , 50Ω en 75Ω parallel. Door R_1 vloeit een stroom I_1 van $0,2 \text{ A}$. Teken eerst de schakeling met alle gegevens.



Bereken dan:

- a de spanning op de schakeling

- b de stromen door de weerstanden van 50Ω en 75Ω

- c de vervangingsweerstand op twee manieren.

Maak nu nog eens toetsopgave 8 en ga daarna verder met toetsopgave 9.

Toetsopgave 9

Je schakelt drie weerstanden parallel op 12 V. $R_1 = 80 \Omega$ en $I_3 = 0,2 \text{ A}$. De totale stroom is 0,45 A. Bereken:

a R_2, R_3 en R_v .

$$R_2 = \text{_____} \quad R_3 = \text{_____} \quad R_v = \text{_____}$$

b Het vermogen in de afzonderlijke weerstanden is

c Het totaal opgenomen vermogen is

Oefenopgaven

9.1 Je schakelt drie weerstanden parallel geschakeld op 50 V. $R_1 = 100 \Omega$ en $I_3 = 0,8 \text{ A}$. De totale stroom is 1,5 A.

Teken eerst het schema met de gegevens.

Bereken dan:

a R_2, R_3 en R_v

b het totaal opgenomen vermogen (op twee manieren)



Oplossing: $I_1 = \frac{U}{R_1} = \text{_____} = \text{_____} \text{ A}$

$$I_2 = I_t - (\text{_____} + \text{_____}) \rightarrow I_2 = \text{_____} \text{ A}$$

$$R_2 = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \text{_____} \Omega$$

$$R_3 = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \text{_____} \Omega$$

$$R_v = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \text{_____} \Omega$$

b 1^e manier:

$$P_1 = U \cdot I_1 = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_2 = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_3 = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ W}$$

$$P_t = \text{_____} \text{ W}$$

2^e manier:

$$P_t = U \cdot I_t = \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ W}$$

9.2 Je schakelt twee weerstanden van 22 kΩ en 33 kΩ parallel op een spanning van 5,5 V. Teken eerst de schakeling en vermeld de gegevens.



Bereken dan:

a R_v

$$R_v = \text{_____}$$

b de stromen I_1 , I_2 en I_t

$$I_1 = \text{_____} \quad I_2 = \text{_____} \quad I_t = \text{_____}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 9 en ga daarna verder met toetsopgave 10.

Toetsopgave 10

Je hebt voor een schakeling een weerstand nodig van 4 kΩ. Je hebt de beschikking over de E12-reeks, en daar zit, zoals je weet, de gevraagde weerstand niet bij. Je gaat daarom de weerstand samenstellen met twee parallel geschakelde weerstanden. Je gaat uit van een weerstand van 10 kΩ.

- Welke weerstand uit de reeks moet je dan kiezen om de gewenste waarde zo dicht mogelijk te benaderen?
- Wat is de afgeronde verhouding tussen de twee weerstanden en de vervangingsweerstand?
- Hoe is de afgeronde verhouding tussen de stromen door de weerstanden en de totaalstroom?

- a $R =$ _____
- b $R_1 : R_2 : R_v =$ _____ : _____ : _____
- c $I_1 : I_2 : I_t =$ _____ : _____ : _____

Oefenopgaven

10.1 Twee weerstanden van 10Ω en 30Ω zijn parallel geschakeld op een spanning van 60 V .

a Bereken de vervangingsweerstand R_v , de deelstromen I_1 en I_2 en de totaalstroom I_t .

$$R_v = \text{_____} \quad I_1 = \text{_____} \quad I_2 = \text{_____} \quad I_t = \text{_____}$$

b Bereken de verhouding $R_1 : R_2 : R_v$ en de verhouding $I_1 : I_2 : I_t$

$$\text{_____} : \text{_____} : \text{_____} \quad \text{_____} : \text{_____} : \text{_____}$$

c Hoe verhouden de stromen zich in vergelijking met de weerstanden?

10.2 In een parallelschakeling verhouden de weerstanden zich als $1 : 2 : 5$. Hoe verhouden de stromen zich?

Maak nu nog eens toetsopgave 10 en ga daarna verder met toetsopgave 11.

Toetsopgave 11

Een meetsysteem heeft een meetbereik van 50 mV . De stroom is dan $100 \mu\text{A}$. Bereken de shuntweerstand die nodig is om het stroombereik te vergroten tot 10 mA .

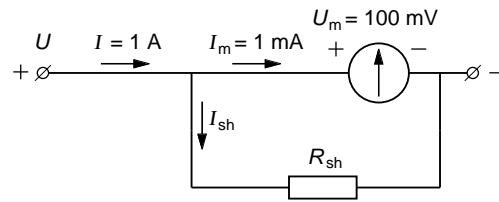
Antwoord: _____

Oefenopgaven

11.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 7 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Het meetbereik van het meetsysteem in figuur 4.15 is 100 mV . De stroom door de meter is dan 1 mA . Het stroombereik moet worden vergroot tot 1 A .

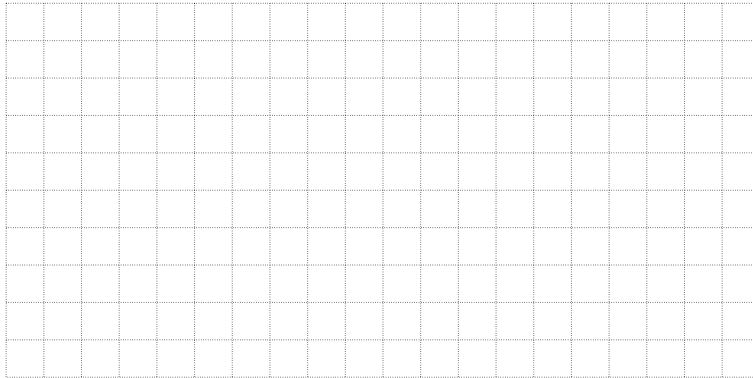
a Hoe groot moet de shuntweerstand zijn? _____

b Hoe groot is de meterweerstand bij 1 A ? _____



Figuur 4.15 Meetsysteem met shuntweerstand

- 11.2 Een meter heeft zijn volle uitslag bij 10 mA. De meterweerstand is dan 10 Ω . Teken eerst het schema met de gegevens.



Bereken dan de shuntweerstand om het stroombereik te vergroten tot 30 mA.

Oplossing: $I_{sh} = I_t - I_m \rightarrow I_{sh} = \text{_____ mA}$

$$U_m = I_m \cdot R_m \rightarrow U_m = \text{_____ mV}$$

$$R_{sh} = \frac{U_m}{I_{sh}} \rightarrow R_{sh} = \text{_____ } \Omega$$

- 11.3 Een meetsysteem heeft een meetbereik van 2 mA bij een spanning van 1 V. Teken eerst het schema met de gegevens.



Bereken dan de shuntweerstand voor een meetbereik van 20 mA.

Maak nu nog eens toetsopgave 11.

Gemengde schakelingen met weerstanden en meetmethoden

Bestudeer eerst de volgende paragrafen uit je kernboek:

- 6 Gemengde schakelingen met weerstanden
- 7 Schakelingen met lineaire en niet-lineaire weerstanden
- 8 Beïnvloeding meting door de meterweerstand
- 9 Meten van vermogen

Beantwoord vervolgens de theorievragen en -opdrachten 15 t/m 19. Controleer pas *daarna* in je kernboek de antwoorden.

Theorievragen en -opdrachten

15 Wat verstaan we onder een gemengde schakeling?

16 Welke invloed heeft een belasting op de uitgangsspanning van een spanningsdeler?

17 Wat stelt bij een belaste stroomregeling de belastingslijn voor?

18 Hoe vind je bij een belaste stroomregeling het instelpunt?

19 Teken twee schema's voor het aansluiten van een wattmeter en geef het verschil aan tussen deze twee meetmethoden.

Maak nu de toetsopgaven 12 t/m 21.

Maak de berekeningen in je schrift en vul alleen de antwoorden in. Controleer na elke toetsopgave je antwoord achter in dit werkboek.

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over en ga direct door met de volgende toetsopgave.

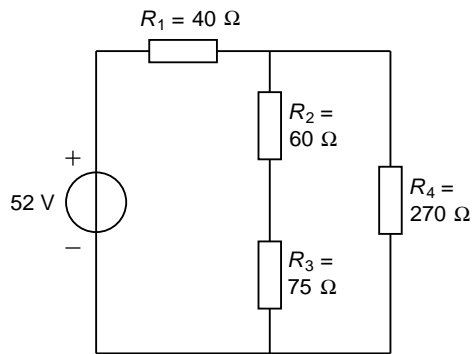
Toetsopgave 12

Gegeven is de schakeling van figuur 4.22. Bereken R_v , I_t en de spanningen over de weerstanden.

$$R_v = \text{_____} \quad I_t = \text{_____}$$

De spanningen over de weerstanden zijn:

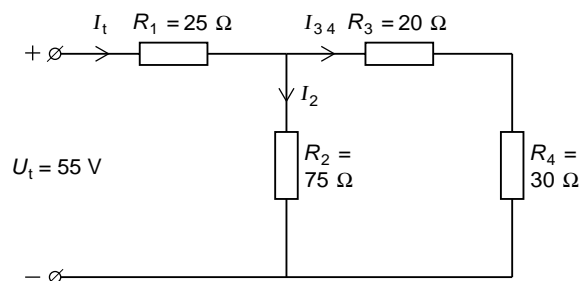
$$U_1 = \text{_____} \quad U_2 = \text{_____} \quad U_3 = \text{_____} \quad U_4 = \text{_____}$$



Figuur 4.22

Oefenopgaven

- 1.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 8 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Gegeven is de schakeling van figuur 4.23.



Figuur 4.23

Bereken:

- a de vervangingsweerstand R_v

$$R_v = \text{_____}$$

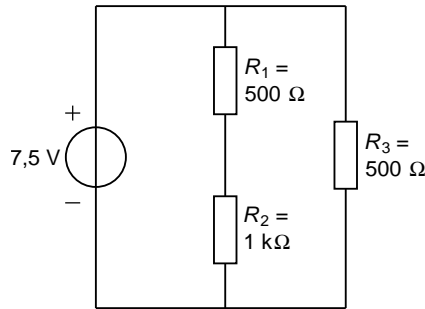
- b de deelstromen I_2 , $I_{3,4}$ en I_t

$$I_2 = \text{_____} \quad I_{3,4} = \text{_____} \quad I_t = \text{_____}$$

- c de deelspanningen U_1 , U_2 , U_3 en U_4

$$U_1 = \text{_____} \quad U_2 = \text{_____} \quad U_3 = \text{_____} \quad U_4 = \text{_____}$$

12.2 Gegeven is de schakeling van figuur 4.24.



Figuur 4.24

Bereken: R_v , I_t en de spanningen over de weerstanden.

Oplossing: $R_{12} = R_1 + R_2 = \text{_____} \Omega$

$$R_v = R_{12} // R_3 = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \text{_____} \Omega$$

$$I_t = \frac{U}{R_v} = \text{_____} \text{ A}$$

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U = \text{_____} \text{ V}$$

$$U_2 = \text{_____} \text{ V}$$

$$U_3 = \text{_____} \text{ V}$$

12.3 Een weerstand R_1 van 550 kΩ staat in serie met een weerstand R_2 van 450 kΩ. Parallel over deze twee weerstanden staat een weerstand R_3 van 1,5 MΩ. De schakeling is aangesloten op een spanning van 30 V.

a Teken de schakeling met daarin de gegevens.



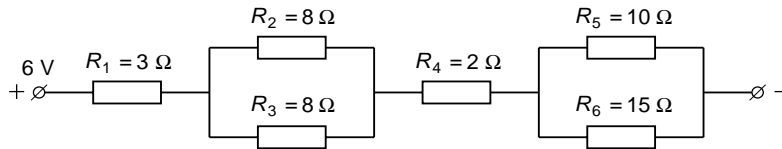
b Bereken R_v , I_t en de spanningen over de weerstanden R_1 en R_2 .

$$R_v = \text{_____} \quad I_t = \text{_____} \quad U_1 = \text{_____} \quad U_2 = \text{_____}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 12 en ga daarna verder met toetsopgave 13.

Toetsopgave 13

Gegeven is de schakeling van figuur 4.25. Bereken de vervangingsweerstand R_v , de totaalstroom I_t , de deelspanningen U_1 en U_4 en de deelstromen I_2, I_3, I_5 en I_6 .

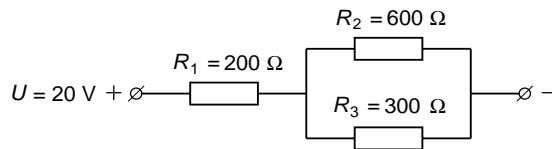


Figuur 4.25

		deelspanningen	
R_v	I_t	U_1	U_4
		deelstromen	
I_2	I_3	I_5	I_6

Oefenopgaven

13.1 Bereken van de schakeling van figuur 4.26 de vervangingsweerstand R_v , de totaalstroom I_t , de deelspanningen en de deelstromen.



Figuur 4.26

Oplossing: $R_{23} = R_2 // R_3 = \frac{\dots}{\dots} = \dots \Omega$

$R_v = R_1 + R_{23} = \dots \Omega$

$I_t = \frac{U}{R_v} = \dots \text{ A}$

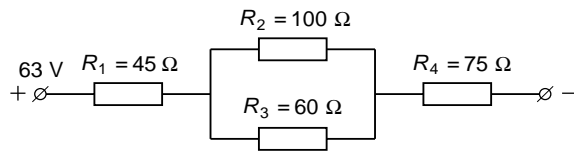
$U_1 = \dots \cdot \dots = \dots \text{ V}$

$U_{23} = I_t \cdot R_{23} = \dots \text{ V}$

$I_2 = \frac{\dots}{\dots} = \dots \text{ A}$

$I_3 = \frac{\dots}{\dots} = \dots \text{ A}$

13.2 Bereken van de schakeling van figuur 4.27 R_v , I_t , de deelspanningen en de deelstromen.



Figuur 4.27

$R_v =$ _____ $I_t =$ _____

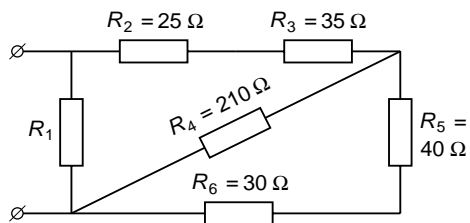
de deelspanningen zijn:

de deelstromen zijn:

Maak nu nog eens toetsopgave 13 en ga daarna verder met toetsopgave 14.

Toetsopgave 14

Gegeven de schakeling van figuur 4.28. $R_v = 100 \Omega$. Bereken R_1 .

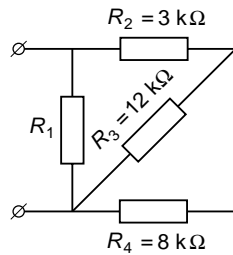


$R_1 =$ _____

Figuur 4.28

Oefenopgaven

14.1 Gegeven is de schakeling van figuur 4.29. $R_v = 6,5 \text{ k}\Omega$. Bereken R_1 .



Figuur 4.29

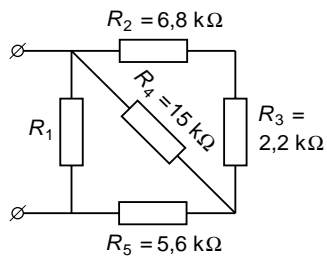
Oplossing: $R_{3,4} = R_3 // R_4 = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \Omega$

$R_{234} = R_2 + R_{3,4} = \dots\dots\dots \Omega$

$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{234}} \rightarrow \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_v} - \frac{1}{R_{234}}$

$\frac{1}{R_1} = \dots\dots\dots \rightarrow R_1 = \dots\dots\dots \Omega$

14.2 Gegeven is de schakeling van figuur 4.30. $R_v = 4,5 \text{ k}\Omega$. Bereken R_1 .



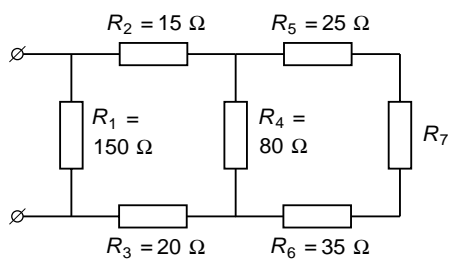
$R_1 = \dots\dots\dots$

Figuur 4.30

Maak nu nog eens toetsopgave 14 en ga daarna verder met toetsopgave 15.

Toetsopgave 15

Gegeven is de schakeling van figuur 4.31. De vervangingsweerstand $R_v = 50 \Omega$. Bereken de weerstand R_7 .

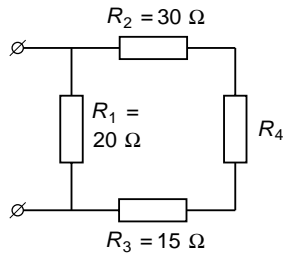


$R_7 = \dots\dots\dots$

Figuur 4.31

Oefenopgaven

15.1 Gegeven is de schakeling van figuur 4.32. $R_v = 16 \Omega$. Bereken R_4 .



Figuur 4.32

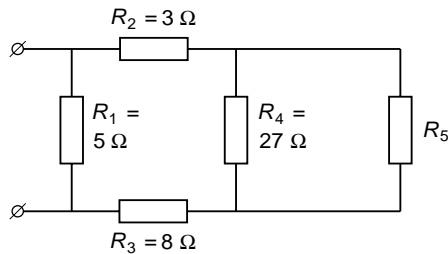
Oplossing: $R_v = R_1 // R_{234} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots}$

$$16 \Omega = \frac{20 \Omega \times R_{234}}{20 \Omega + R_{234}} \rightarrow$$

$$16 \Omega \times (20 \Omega + \text{_____}) = 20 \Omega \times R_{234} = \text{_____}$$

$$R_4 = \text{_____} - (\text{_____} + \text{_____}) = \text{_____} \Omega$$

15.2 Gegeven is de schakeling van figuur 4.33. $R_v = 4 \Omega$. Bereken R_5 .



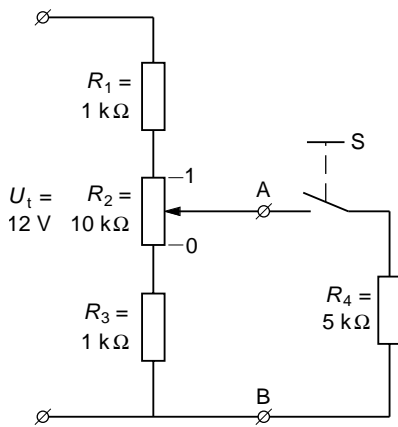
Figuur 4.33

$$R_5 = \text{_____}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 15 en ga daarna verder met toetsopgave 16.

Toetsopgave 16

Gegeven is de schakeling van figuur 4.34.

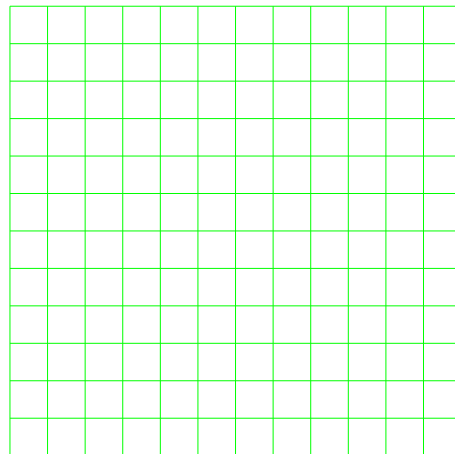
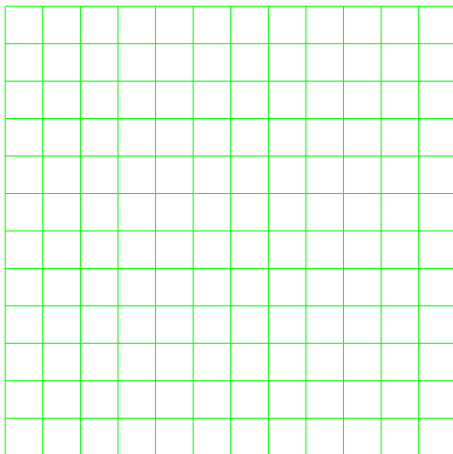


Figuur 4.34

- a Bereken de uitgangsspanning U_{AB} in onbelaste en belaste toestand voor $\alpha = 0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ en 1. Zet de waarden van U_{AB} (onbelast en belast) in onderstaande tabel.

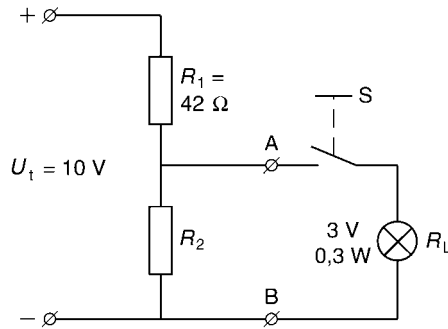
α	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1
onbelast					
belast					

- b Teken met de berekende waarden de grafieken $U = f(\alpha)$ in onbelaste en belaste toestand.



Oefenopgaven

- 16.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 9 uit je kernboek. Maak die nu zelf. We beschikken over een spanningsbron van 10 V. Hierop willen we een lampje aansluiten van 3 V/0,3 W via een spanningsdeler, zie figuur 4.35. Van de spanningsdeler is $R_1 = 42 \Omega$.
- a Hoe groot moet weerstand R_2 zijn om het lampje op de juiste spanning te laten branden?
 - b Hoe groot is de onbelaste spanning U_{AB} ?



Figuur 4.35

Gegeven: Figuur 4.35.

Gevraagd: a R_2
 b U_{AB} onbelast

Oplossing: a De weerstand van het lampje

$$R_L = \frac{U_L^2}{P} = \frac{(\dots \text{V})^2}{\dots \text{W}} = \dots \Omega$$

$$U_1 = \dots \text{V} - \dots \text{V} = \dots \text{V}$$

$$U_1 : U_{AB} = R_1 : R_v \rightarrow \dots : \dots = \dots \Omega : R_v$$

$$R_v = \frac{\dots \text{V} \times \dots \Omega}{\dots \text{V}} = \dots \Omega$$

$$R_v = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L} \rightarrow \dots \Omega = \frac{R_2 \times \dots \Omega}{R_2 + \dots \Omega}$$

$$\rightarrow \dots R_2 = \dots R_2 + \dots \Omega \rightarrow \dots R_2 = \dots \Omega$$

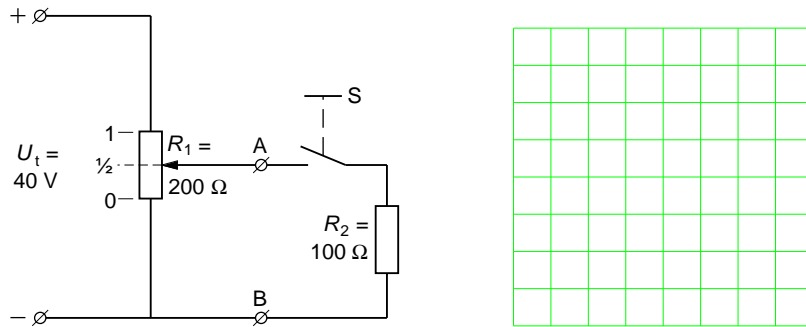
$$R_2 = \frac{\dots \Omega}{\dots} = \dots \Omega$$

b Onbelast: We passen de formule voor deelspanningen toe.

$$U_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_t$$

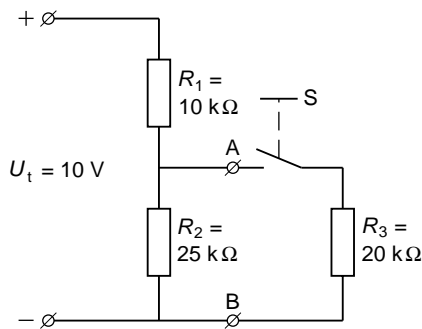
$$U_{AB} = \frac{\dots\dots\Omega}{\dots\dots\Omega + \dots\dots\Omega} \times \dots\dots V = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} \times 10 V = \dots\dots V$$

16.2 We herhalen de opgave van voorbeeld 10 uit je kernboek. Maak die nu zelf. In figuur 4.36 is $R_1 = 200 \Omega$ en de belasting $R_2 = 100 \Omega$. Teken U_{AB} als functie van de verplaatsing van de looper in onbelaste en belaste toestand.



Figuur 4.36 Regelbare spanningsdeler

16.3 Gegeven is de schakeling van figuur 4.37.



Figuur 4.37

Bereken de uitgangsspanning in onbelaste en belaste toestand.

Oplossing: onbelast: $U_{AB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \dots\dots \times \dots\dots = \dots\dots V$

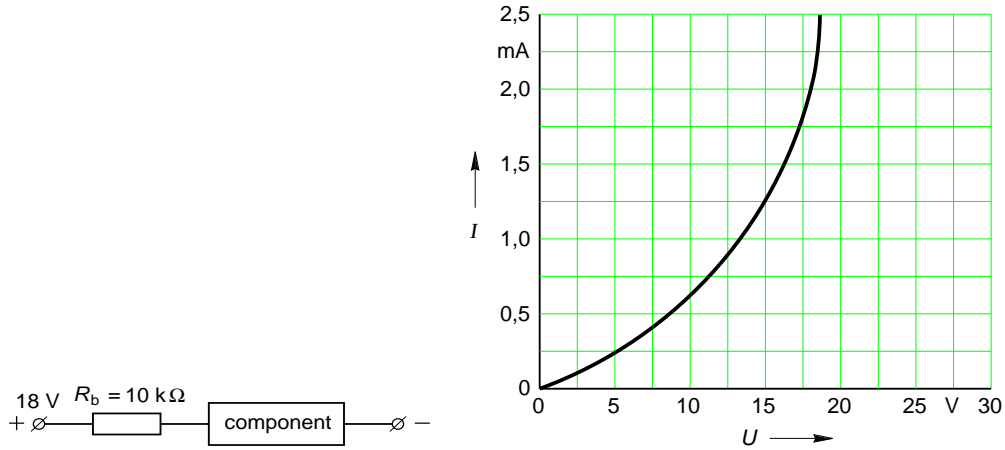
belast: $R_{23} = \dots\dots \Omega$

$U_{AB} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots + \dots\dots} \cdot \dots\dots = \dots\dots V$

Maak nu nog eens toetsopgave 16 en ga daarna verder met toetsopgave 17.

Toetsopgave 17

De component van figuur 4.38 heeft een karakteristiek $I = f(U)$ zoals aangegeven in figuur 4.39. De component staat in serie met een belastingsweerstand $R_b = 10 \text{ k}\Omega$.



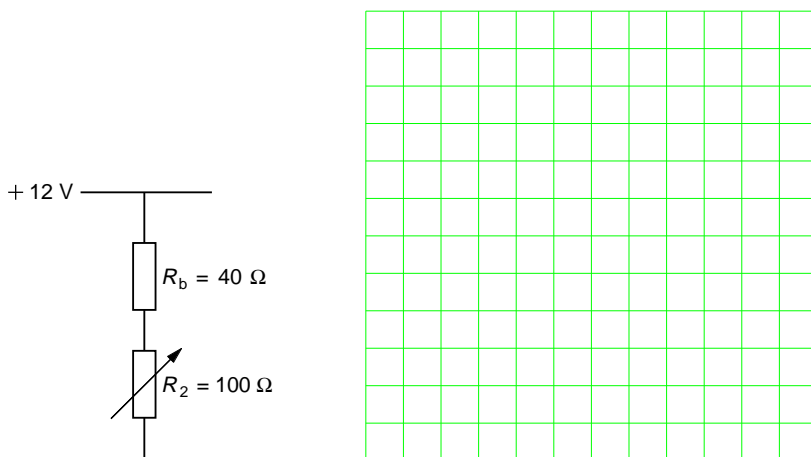
Figuur 4.38

Figuur 4.39

- a Teken in de grafiek de belastingslijn.
- b De stroomsterkte in het instelpunt bedraagt _____
- c De spanningen over de component en de weerstand in het instelpunt bedragen: _____ en _____

Oefenopgaven

17.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 11 uit je kernboek. Maak deze nu zelf. Gegeven is de schakeling van figuur 4.40.

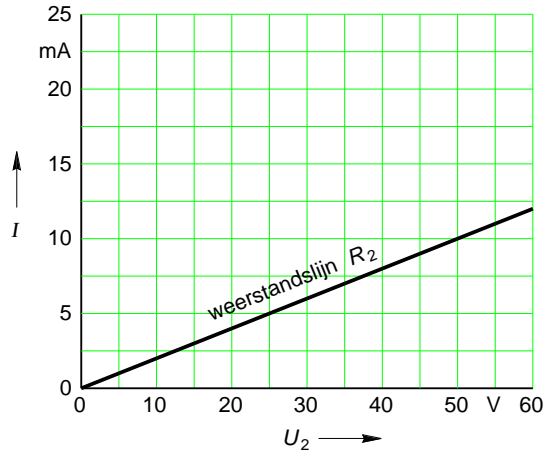


Figuur 4.40 Schakeling

- a Teken de grafiek van de belastingslijn van R_b en de weerstandslijn voor een ingestelde waarde van $R_2 = 20 \Omega$.
- b Bepaal daarna I , U_2 en U_{R_b} .

$I = \text{_____}$ $U_2 = \text{_____}$ $U_{R_b} = \text{_____}$

- 17.2 In figuur 4.41 is de karakteristiek $I = f(U)$ van een weerstand R_2 getekend. In serie met deze weerstand staat een belastingsweerstand R_b van $2 \text{ k}\Omega$. De schakeling is op 50 V aangesloten. Teken in figuur 4.41 de belastinglijn van de belastingsweerstand. Bepaal daarna de coördinaten van het instelpunt en de spanningen over R_2 en R_b .



Figuur 4.41

Oplossing: Bereken I_k ($R_2 = 0 \Omega$) en $U_{2_{\max}}$ ($R_2 = \infty$)

$$I_k = \frac{U}{R_b} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots \text{ mA}$$

$$U_{2_{\max}} = U = \dots\dots \text{ V}$$

Verbind deze punten (belastinglijn van R_b). Bepaal de coördinaten van het snijpunt (= instelpunt) en lees de spanningen af.

$$U_2 = \dots\dots \quad U_b = \dots\dots$$

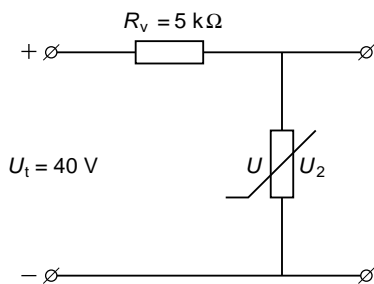
Maak nu nog eens toetsopgave 17 en ga daarna verder met toetsopgave 18.

Toetsopgave 18

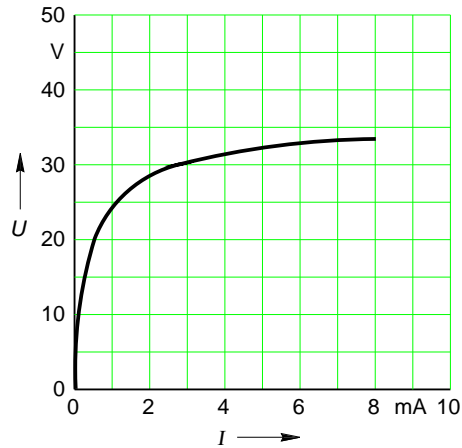
Van de VDR in de schakeling van figuur 4.42 is in figuur 4.43 de karakteristiek getekend.

a Bepaal de spanning U_2 over de VDR.

b Bepaal de spanningsvariatie over de VDR als de spanning U_t varieert tussen 36 V en 44 V.



Figuur 4.42 Schakeling met VDR

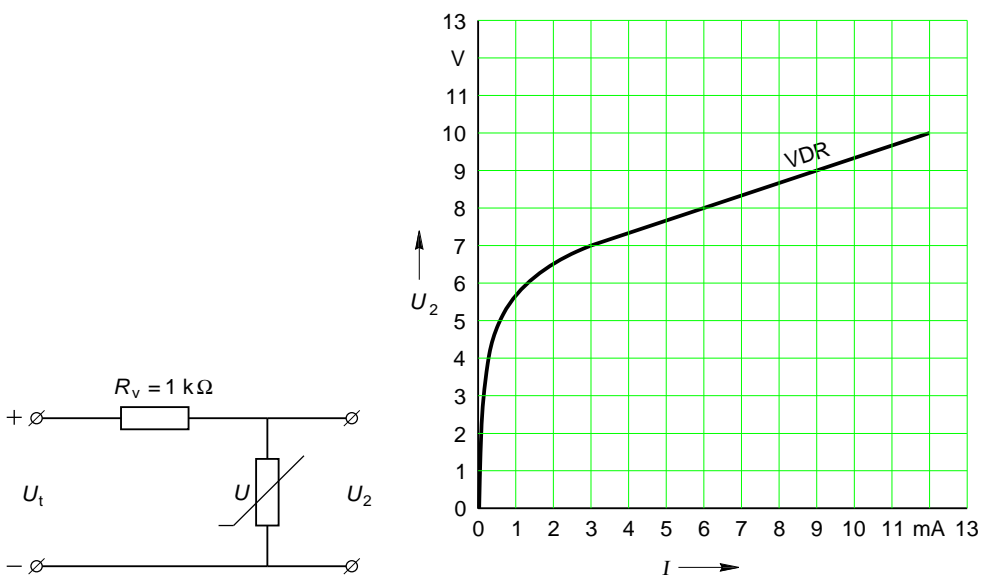


Figuur 4.43 Karakteristiek van de VDR

Oefenopgaven

18.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 12 uit je kernboek. Maak die nu zelf. Gegeven is de schakeling van figuur 4.44 met een U_t van 10 V. Van de VDR is de karakteristiek $U = f(I)$ getekend in figuur 4.45.

- a Teken in de grafiek de belastingslijn van R_v .
- b Bepaal daarna uit de grafiek de spanning U_2 . $U_2 =$ _____
- c Teken de belastingslijn van R_v als U_t verandert naar 12 V.
- d Bepaal daarna weer de spanning U_2 . $U_2 =$ _____
- e Hoe groot is de verandering ΔU_t ? $\Delta U_t =$ _____
- f Hoe groot is de verandering ΔU_2 ? $\Delta U_2 =$ _____



Figuur 4.44

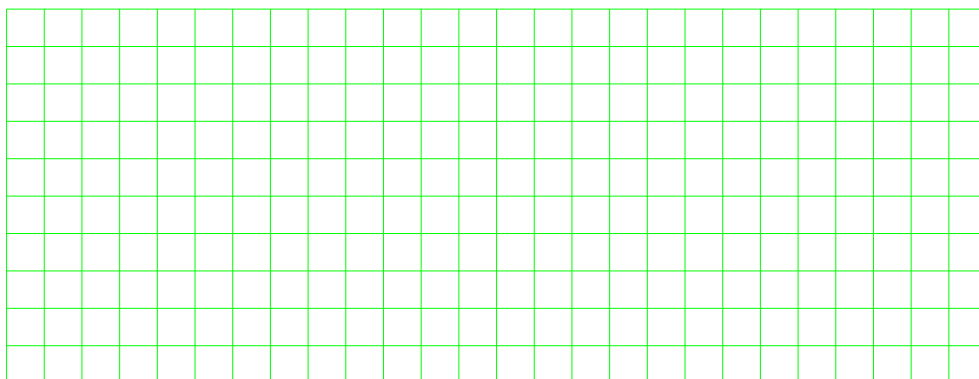
Figuur 4.45 $U = f(I)$ van de VDR

g Welke conclusie kun je uit deze berekening trekken?

Maak nu nog eens toetsopgave 18 en ga daarna verder met toetsopgave 19.

Toetsopgave 19

Met de volt-ampèremetermethode meten we een weerstand. De weerstand is $2\text{ M}\Omega$. De voltmeter heeft een weerstand van $10\text{ M}\Omega$. De voltmeter staat daarbij over de weerstand en wijst 10 V aan. Teken eerst het schema met de gegevens.



Vragen

Antwoorden

a Bereken de fout in de stroom.

b Bereken de procentuele fout.

c Bereken de berekende waarde van R .

Oefenopgaven

19.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 13 uit je kernboek. Maak die nu zelf.
 Gegeven: Voor het meten van een weerstand schakelen we de voltmeter over de weerstand (methode 1).
 $R_{\text{voltmeter}} = 10 \text{ M}\Omega$
 $R = 1 \text{ M}\Omega$
 $U \text{ over } R = 10 \text{ V}$

Bereken: a de absolute fout _____
 b de procentuele fout _____

19.2 Een weerstand van $1,5 \text{ M}\Omega$ meet je met de volt-ampèremetermethode. De meter heeft een weerstand van $20 \text{ M}\Omega$. De voltmeter staat daarbij over de weerstand en wijst 15 V aan.
 Teken eerst het schema met de gegevens.
 Bereken daarna:
 a de absolute fout
 b de relatieve fout
 c de procentuele fout



Oplossing: $I_m = \frac{U_R}{R_m} = \text{_____ } \mu\text{A}$

$I_R = \frac{U_R}{R} = \text{_____ } \mu\text{A}$

$I_t = \text{_____ } \mu\text{A}$

a De absolute fout is _____ μA

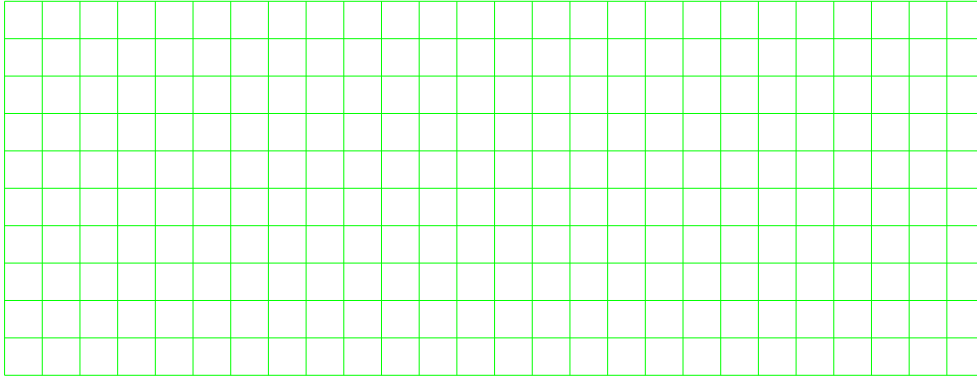
b De relatieve fout is $\frac{\text{absolute fout}}{\text{gemeten waarde}} = \frac{I_m}{I_t} = \text{_____}$

c De procentuele fout is _____ $\times 100\% = \text{_____ } \%$

Maak nu nog eens toetsopgave 19 en ga daarna verder met toetsopgave 20.

Toetsopgave 20

Met de volt-ampèremetermethode meet je een weerstand. De weerstand is $1,5 \Omega$. De ampèremeter heeft een weerstand van $0,5 \Omega$. De voltmeter plaats je over de voeding van 3 V . Teken eerst het schema met de gegevens.



Bereken dan:

a de absolute fout _____

b de procentuele fout _____

Oefenopgaven

20.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 14 uit je kernboek. Maak deze nu zelf. Je meet aan een weerstand van 8Ω , met meetmethode 2 (voltmeter over de voeding). De ampèremeter heeft een weerstand $R_m = 0,5 \Omega$. Bij de meting stellen we een stroom in van 1 A . Hoe groot is met deze methode:

a de absolute fout _____

b de relatieve fout _____

c de procentuele fout _____

20.2 Een weerstand van 5Ω meet je met de volt-ampèremetermethode. De voltmeter staat over de voeding en de ampèremeter heeft een weerstand van $0,2 \Omega$. De ampèremeter wijst een stroom aan van $0,5 \text{ A}$.

Bereken:

a de absolute fout

b de procentuele fout

Oplossing: De absolute fout is $U_m = \text{_____} \text{ V}$

$$\text{De relatieve fout} = \frac{U_m}{U_t} = \text{_____}$$

$$\text{De procentuele fout} = \text{_____} \times 100\% = \text{_____}\%$$

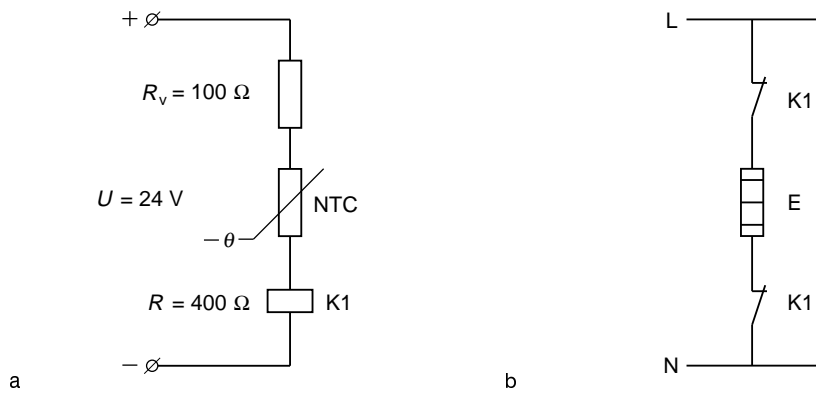
Maak nu nog eens toetsopgave 20 en ga daarna verder met toetsopgave 21.

Toetsopgave 21 (praktijkvraagstuk)

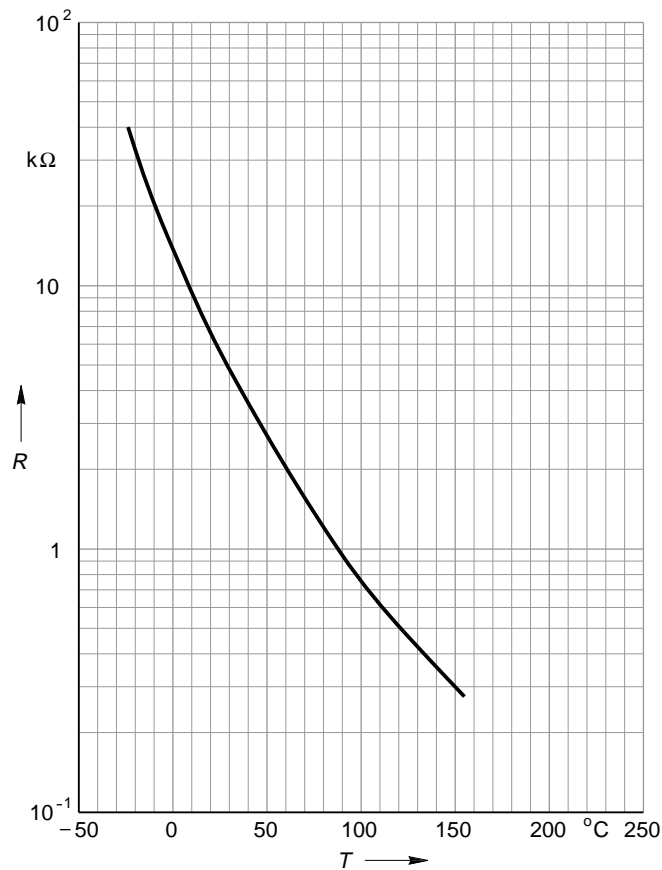
Voor de regeling van de temperatuur in een droogkamer wordt de schakeling van figuur 4.46 gebruikt. Het relais heeft een opkomstroom van 10 mA. De afvalstroom van het relais is 8 mA. Bereken met behulp van de karakteristiek van figuur 4.47:

- a de temperatuur waarbij het relais afschakelt (en het verwarmingselement dus wordt ingeschakeld);
- b de temperatuur waarbij het relais inschakelt (en het verwarmingselement dus wordt uitgeschakeld).

a _____ b _____



Figuur 4.46



Figuur 4.47 Karakteristiek van de NTC

Wat je nu zeker weten moet**Formules**

Serieschakeling van weerstanden:

$$U_t = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$U_1 : U_2 : U_3 : \dots = R_1 : R_2 : R_3 : \dots$$

Deelspanningen: $U_1 = \frac{R_1}{R_t} \cdot U_t$

Parallelschakeling van weerstanden:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

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

$$I_t = \frac{U}{R_v}$$

Twee parallel geschakelde weerstanden: $R_v = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Gelijke weerstandswaarden: $R_v = \frac{R}{n}$ (n is aantal weerstanden)

- Gemengde schakelingen:
- reduceren tot één weerstand
 - stromen en spanningen berekenen

Controlelijst

Controleer zelf met deze lijst of je nu alles weet. Kruis aan wat je weet en bestudeer nogmaals in je kernboek de onderwerpen die nog niet duidelijk zijn.

Je weet, kunt of kent:

- De eigenschappen van een serieschakeling noemen en toepassen bij berekeningen.
- De serieweerstand berekenen voor een component waarvan de gegevens bekend zijn.
- Het spanningsverlies over (lange) leidingen berekenen.
- De spanning over toestellen, aangesloten op lange leidingen, berekenen.
- De uitgangsspanning van een vaste spanningsdeler berekenen.
- De grenswaarden van de uitgangsspanning van een regelbare spanningsdeler berekenen.
- De minimale waarde van de voorschakelweerstand voor een regelbare weerstand berekenen.
- Aangeven hoe je deelspanningen moet meten.
- De eigenschappen van een parallelschakeling noemen en toepassen bij berekeningen.
- Aangeven hoe je deelstromen moet meten.
- Aangeven welke meetmethode je moet toepassen voor het meten van kleine weerstandswaarden en grote weerstandswaarden met een volt- en ampèremeter.
- Aangeven wat de absolute fout, de relatieve fout en de procentuele fout bij een meting voorstellen.
- Bij een meting de absolute fout, de relatieve fout en de procentuele fout berekenen.
- Aangeven hoe bij paneelmeters het meetbereik van een voltmeter en een ampèremeter wordt vergroot.
- Reduceren van een gemengde schakeling tot één weerstand.
- In een gemengde schakeling de deelstromen en deelspanningen berekenen.

- Berekenen van de uitgangsspanning van een onbelaste en belaste spanningsdeler en het tekenen van de grafiek ervan.
- Uit een grafiek de spanningen en de stroom bepalen van een belaste stroomregeling.
- Uit een grafiek de spanningen en de stroom bepalen van een serieschakeling van een niet-lineaire weerstand en een lineaire weerstand.

3

HOOFDSTUK

Arbeid en vermogen

Waar gaat dit hoofdstuk over?

- › Wat arbeid is, en hoe je die berekent bij elektrische apparaten.



- › Wat vermogen is, en hoe je dit berekent bij elektrische apparaten.



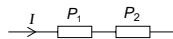
- › Wat de maximale stroom mag zijn door een weerstand of toestel.

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

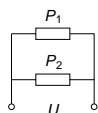
- › Wat de maximale spanning mag zijn over een weerstand of toestel.

$$U = \sqrt{P \cdot R}$$

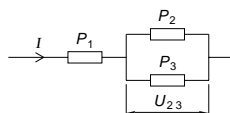
- › Hoe je het vermogen berekent bij de weerstanden van een serieschakeling.



- › Hoe je het vermogen berekent bij de weerstanden van een parallelschakeling.



- › Hoe je het vermogen berekent bij de weerstanden van een gemengde schakeling.



- › Hoe je energie kunt meten.



- › Hoe je vermogen kunt meten.



Dit weet je al!

- Hoe je een onbekende grootte berekent uit een formule met vier grootheden.
- Hoe je moet worteltrekken uit een getal.
- De eigenschappen van een serie-, een parallel- en een gemengde schakeling.
- Hoe je deelspanningen en deelstromen kunt meten.

Twijfel je?

Maak dan eerst de instaptoets.

Instaptoets

Kruis de goede antwoorden aan op de invulstaat aan het einde van deze instaptoets.

- 1 Gegeven is een parallelschakeling met drie weerstanden.

Voor de stroom door R_3 geldt dan:

- a. $I_3 = I_t - I_1 + I_2$
- b. $I_3 = I_t - (I_1 - I_2)$
- c. $I_3 = I_t + (I_1 - I_2)$
- d. $I_3 = I_t - (I_1 + I_2)$

- 2 Gegeven is een serieschakeling van vier weerstanden.

Voor de spanning over R_3 geldt dan:

- a. $U_3 = U_t - (U_1 + U_2 + U_4)$
- b. $U_3 = U_t - U_1 + U_2 + U_4$
- c. $U_3 = U_t - U_1 + (U_2 + U_4)$
- d. $U_3 = U_t - (U_1 - U_2 - U_4)$

- 3 $420 = 12 \times a \times 5$. Bereken a .

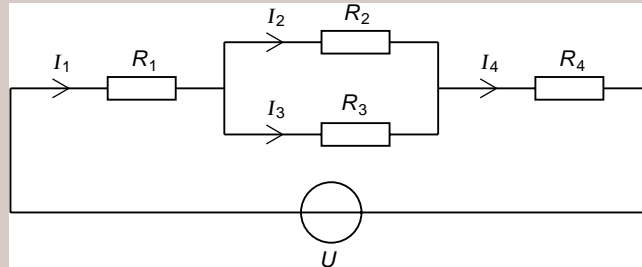
- a. $a = 1008$
- b. $a = 175$
- c. $a = 7$
- d. $a = 0,143$

- 4 De wortel uit $3,24 \cdot 10^4 =$

- a. 569
- b. 180
- c. 18
- d. 1,8

Instaptoets

5 In de schakeling van figuur 3.1 geldt:



Figuur 3.1

- $I_2 = I_3$
- $I_1 = I_4$
- $I_1 = (I_2 + I_3) - I_4$
- $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$

Invulstaat

	a	b	c	d
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vergelijk je antwoorden met de antwoorden op de instaptoets achter in dit boek. Heb je antwoorden fout, bestudeer dan die onderdelen nog een keer.

3.1 Energieomzetting in toestellen

Toestellen die op het elektriciteitsnet zijn aangesloten, verbruiken *elektrische energie*. Deze energie wordt in het toestel omgezet in een andere energievorm. Andere energievormen zijn bijvoorbeeld:

- licht;
- warmte;
- beweging en magnetisme.

In plaats van ‘elektrische energie’ gebruiken we ook de woorden ‘arbeid’ en ‘verbruik’. Ook in dit hoofdstuk zullen we deze drie benamingen door elkaar gebruiken.

Van elektrische energie naar lichtenergie

Huizen, fabrieken, scholen, kantoren, terreinen enzovoort hebben allemaal verlichting. We gebruiken daarvoor verschillende soorten lampen. Veel voorkomende lampen zijn gloeilampen, TL-buizen, halogeenlampen en natriumlampen. In al deze lampen wordt elektrische energie omgezet in lichtenergie.

In figuur 3.2 zie je een voorbeeld van verlichting.



Figuur 3.2 Van elektrische energie naar lichtenergie

Van elektrische energie naar warmte of thermische energie

Bepaalde toestellen zetten elektrische energie in warmte om. Zulke toestellen hebben een hoog energieverbruik. Voorbeelden zijn strijkijzers, broodroosters, wasmachines, vaatwassers, wasdrogers en ovens. Warmte noemen we ook wel *thermische energie*. In figuur 3.3 zie je een toestel waarbij elektrische energie in warmte wordt omgezet.

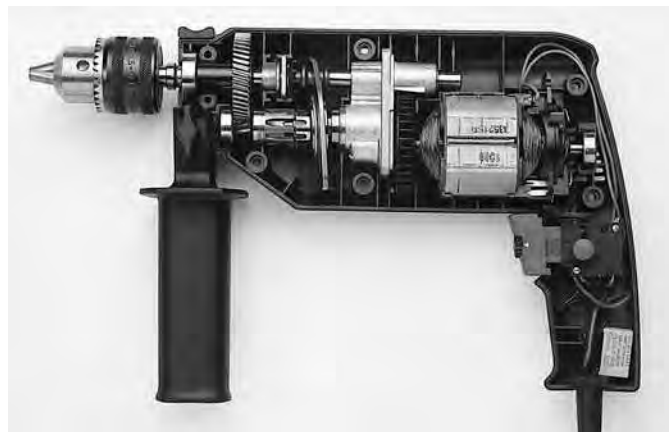


Figuur 3.3 Van elektrische energie naar warmte

Van elektrische energie naar bewegingsenergie

Elektrische machines zijn apparaten met bewegende delen. Daarin wordt elektrische energie in bewegingsenergie omgezet. Meestal worden deze machines door elektromotoren aangedreven.

De ene machine moet meer bewegingsenergie leveren dan de andere. Hoe meer energie er *geleverd* moet worden, hoe meer elektrische energie er wordt *gebruikt*. Zo zal de motor van een zware machine meer energie verbruiken dan de motor van een lichte machine. Zie figuur 3.4.



Figuur 3.4 Zware en lichte machine

Van elektrische energie naar magnetische energie

In elektromotoren wordt de elektrische energie eerst in magnetische energie omgezet, en pas daarna in bewegingsenergie.

Er zijn ook andere toestellen waarbij elektrische energie omgezet wordt in magnetische energie. Een voorbeeld is een *elektromagneet*.

Een elektromagneet is een spoel met een ijzeren kern. Elektromagneten worden onder andere toegepast in relais, zoals in figuur 3.5 afgebeeld. Elektromagneten worden verder ook toegepast in zoemers, bellen, hefmagneeten en deuropeners.



Figuur 3.5 Relais

3.2 Energieverbruik en elektrische arbeid

Elektrische toestellen verbruiken dus energie. Die energie wordt opgenomen uit het elektriciteitsnet. Het verbruik meten we met een kWh-meter.

Zie figuur 3.6. De kWh (kilowatt-uur) is een oude eenheid. Alleen bij de kWh-meter komen we die nog tegen.



Figuur 3.6 De kWh-meter

Tegenwoordig gebruiken we als eenheid van arbeid de *joule*.

De joule is een kleine eenheid, daarom gebruiken we in de praktijk meestal de *kilojoule* of de *megajoule*.

$$1 \text{ kilojoule (1 kJ)} = 1000 \text{ joule} = 1 \times 10^3 \text{ J.}$$

$$1 \text{ megajoule (1 MJ)} = 1\,000\,000 \text{ joule} = 1 \times 10^6 \text{ J.}$$

Elektrische arbeid of energie geven we aan met de hoofdletter *W* van *work*.

De omrekening van kWh naar MJ gaat als volgt:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ Wh (wattuur)} = 3600 \text{ Ws (wattseconde)}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ J (dus 1 wattseconde noemen we 1 joule)}$$

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$\text{Dus: } 1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

Voorbeeld 1

Een toestel heeft 12 kWh aan energie opgenomen. Hoeveel MJ is dat?

Gegeven: $W = 12 \text{ kWh}$

Gevraagd: W in MJ

Oplossing: $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} \Rightarrow$
 $12 \text{ kWh} = 12 \times 3,6 \text{ MJ} = 43,2 \text{ MJ}$

Voorbeeld 2

Een toestel heeft 20 MJ verbruikt. Hoeveel kWh is dat?

Gegeven: $W = 20 \text{ MJ}$

Gevraagd: W in kWh

Oplossing: $3,6 \text{ MJ} = 1 \text{ kWh} \Rightarrow$
 $1 \text{ MJ} = \frac{1}{3,6} \text{ kWh} = 0,278 \text{ kWh (afgerond)}$
 Dus $20 \text{ MJ} = 20 \times 0,278 \text{ kWh} = 5,56 \text{ kWh}$

Achteraan in de eenheden kWh en Ws zien we eenheden voor *tijd*. De verbruikte energie hangt namelijk af van van de tijd dat een toestel is ingeschakeld. Dat is natuurlijk ook logisch. Hoe langer een lamp brandt, hoe meer energie die lamp uit het elektriciteitsnet opneemt.

Voorbeeld 3

Een elektrische machine verbruikt in 20 minuten 2 MJ. Hoe groot is het verbruik in 3 uur?

Gegeven: $W = 2 \text{ MJ}$
 $t = 20 \text{ minuten}$

Gevraagd: W in 3 uur

Oplossing: 20 minuten = $1/3$ uur.
 Per uur is het verbruik dan $3 \times 2 \text{ MJ} = 6 \text{ MJ}$.
 In 3 uur is het verbruik dus $3 \times 6 \text{ MJ} = 18 \text{ MJ}$.

Vragen en opdrachten

Beantwoord de theorievragen 1 t/m 7. Je kunt je antwoorden controleren door ze na te zoeken in de paragrafen 3.1 en 3.2. Maar doe dat pas *nadat* je zelf antwoord hebt gegeven.

- 1 In welke energievorm(en) wordt elektrische energie omgezet in een lamp?

- 2 In welke energievorm(en) wordt elektrische energie omgezet in een machine?

- 3 Hoe noemen we warmte ook wel?

- 4 Welk soort toestellen heeft een hoog energieverbruik?

- 5 Welke twee energie-omzettingen vinden in een elektromotor plaats?

- 6 Noem twee eenheden van energie die worden gebruikt.

- 7 Welke eenheid wordt het meest gebruikt?

Maak nu de toetsopgave(n).
 Maak de berekeningen in je schrift en vul alleen de antwoorden in.
 Controleer na elke toetsopgave je antwoord achter in dit boek.
 Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je
 antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over.

Toetsopgave 1

Reken de waarden in kWh om naar MJ.

$$5 \text{ kWh} = \text{_____ MJ}$$

$$20 \text{ kWh} = \text{_____ MJ}$$

$$6,8 \text{ kWh} = \text{_____ MJ}$$

$$125 \text{ kWh} = \text{_____ MJ}$$

$$2,78 \text{ kWh} = \text{_____ MJ}$$

Oefenopgaven

1.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 1. Maak die nu zelf.
 Een toestel heeft 12 kWh aan energie opgenomen.
 Hoeveel MJ is dat?

1.2 Een toestel heeft een energieverbruik van 3 kWh. Hoeveel MJ is dat?

Gegeven: $W = 3 \text{ kWh}$

Gevraagd: W in MJ

Oplossing: $1 \text{ kWh} = \text{_____ MJ}$, dan is

$$3 \text{ kWh} = 3 \times \text{_____ MJ} = \text{_____ MJ}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 1.

Toetsopgave 2

Reken de waarden in MJ om naar kWh.

$$5 \text{ MJ} = \quad \text{kWh}$$

$$20 \text{ MJ} = \quad \text{kWh}$$

$$6,8 \text{ MJ} = \quad \text{kWh}$$

$$125 \text{ MJ} = \quad \text{kWh}$$

$$2,78 \text{ MJ} = \quad \text{kWh}$$

Oefenopgaven

- 2.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 2. Maak die nu zelf.
Een toestel heeft 20 MJ verbruikt. Hoeveel kWh is dat?

- 2.2 Een toestel heeft 3 MJ aan energie verbruikt. Hoeveel kWh is dat?

Gegeven: $W = 3 \text{ MJ}$

Gevraagd: W in kWh

Oplossing: $1 \text{ MJ} = \quad \text{kWh}$, dan is

$$3 \text{ MJ} = 3 \times \quad \text{kWh} = \quad \text{kWh}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 2.

Toetsopgave 3

Een elektrisch toestel verbruikt per uur 2,5 MJ aan energie. Bereken het verbruik na:

a. 10 uur _____

b. 10 minuten _____

c. 10 seconden _____

Oefenopgaven

- 3.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 3. Maak die nu zelf.
Een elektrische machine verbruikt in 20 minuten 2 MJ.
Hoe groot is het verbruik in 3 uur?
-

- 3.2 We willen weten hoeveel energie een bepaald toestel in 15 seconden verbruikt. Het toestel verbruikt in 45 minuten 6 MJ.

Gegeven: $W_1 = 6 \text{ MJ}$
 $t_1 = 45 \text{ min}$
 $t_2 = 15 \text{ s}$

Gevraagd: W_2

Oplossing: $45 \text{ min.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s}$. Het verbruik per seconde is dan
 $\frac{6 \text{ MJ}}{\underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J}$. In 15 s is het verbruik dus:
..... s
 $15 \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ J} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J}$.

Maak nu nog eens toetsopgave 3.

3.3 Het vermogen van elektrische toestellen

Op toestellen zoals wasmachines en strijkijzers staan altijd een aantal gegevens vermeld. Ook op lampen vind je zulke gegevens. In figuur 3.7 zien we de gegevens van een halogeenlampje.



Figuur 3.7 Gegevens van een halogeenlampje

Een van de vermelde gegevens is het *vermogen* van het toestel. Het vermogen drukken we uit in watt (W). Het vermogen is de hoeveelheid elektrische energie die een toestel per seconde verbruikt. We kunnen ook zeggen:

vermogen is de arbeid per seconde

We nemen de arbeid die een toestel levert. We delen die arbeid door de tijd dat het toestel is ingeschakeld. Zo vinden we het vermogen van het toestel:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}}$$

vermogen geven we aan met de hoofdletter *P* van *power*

De eenheid van vermogen is de watt (W).

De formule om het vermogen te berekenen luidt dus:

$$P = \frac{W}{t}$$

met: P = vermogen in W;

W = arbeid in J;

t = tijd in s.

Uit de formule $P = \frac{W}{t}$ leiden we af dat:

$$W = P \cdot t$$

We kunnen dus het verbruik berekenen aan de hand van het vermogen van het toestel en de tijd dat het toestel is ingeschakeld.

Voorbeeld 4

Een oven heeft een vermogen van 1000 W. De oven is 1,5 uur in gebruik. Hoeveel energie in kWh gebruikt de oven in die tijd?

Gegeven: $P = 1000 \text{ W}$
 $t = 1,5 \text{ uur}$

Gevraagd: W in kWh

Oplossing: $W = P \cdot t \Rightarrow$
 $W = 1000 \text{ W} \times 1,5 \text{ uur} = 1500 \text{ Wh} = 1,5 \text{ kWh}$

Voorbeeld 5

Hoeveel kJ verbruikt een lamp van 12 W in één uur?

Gegeven: $I = 12 \text{ W}$
 $t = 1 \text{ uur} = 3600 \text{ s}$

Gevraagd: W in kJ

Oplossing: $W = 12 \text{ W} \times 3600 \text{ s} \Rightarrow$
 $W = 43\,200 \text{ J} = 43,2 \text{ kJ}$

Een elektrisch apparaat ‘haalt’ zijn vermogen uit de spanningsbron. Apparaten die we op het elektriciteitsnet aansluiten, krijgen allemaal dezelfde spanning. Het verschil in vermogen wordt dus bepaald door de stroom door het apparaat. Heeft een apparaat een tweemaal zo groot vermogen, dan zal daardoor een stroom vloeien die ook tweemaal zo groot is.

In formule:

$$P = U \cdot I$$

Met:

- P = vermogen in W;
- U = spanning in V;
- I = stroom in A.

Voorbeeld 6

Op de netspanning van 230 V sluiten we een lamp van 60 W aan. Hoe groot is de stroom door de lamp?

Gegeven: $P = 60 \text{ W}$
 $U = 230 \text{ V}$

Gevraagd: I

Oplossing: $P = U \cdot I \Rightarrow$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,261 \text{ A}$$

De formule $P = U \cdot I$ kun je invullen in de formule $W = P \cdot t$. Dan krijg je de volgende formule:

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

Op deze manier kun je de dus de arbeid berekenen met als gegevens de spanning, de stroom en de tijd.

Voorbeeld 7

Een toestel is aangesloten op 24 V. Door het toestel vloeit een stroom van 2,5 A. Hoeveel energie in kJ is na 15 minuten verbruikt?

Gegeven: $U = 24 \text{ V}$
 $I = 2,5 \text{ A}$
 $t = 15 \text{ min.} = 15 \times 60 \text{ s} = 900 \text{ s}$

Gevraagd: W in kJ

Oplossing: $W = U \cdot I \cdot t \Rightarrow$
 $W = 24 \text{ V} \times 2,5 \text{ A} \times 900 \text{ s}$
 $W = 54\,000 \text{ J} = 54 \text{ kJ}$

Wist je dat ...

- voor *arbeid* ook andere woorden worden gebruikt, zoals *energie* en *verbruik*?
- als we het aantal Ah van een batterij vermenigvuldigen met de batterijspanning, we dan de energie weten die deze spanningsbron kan leveren?
- we het elektriciteitsbedrijf niet betalen voor het aantal apparaten dat we thuis hebben, maar voor hoe lang we met deze apparaten energie verbruiken?
- voor alle eenheden die we gebruiken, we voorvoegsels kunnen zetten zoals

Mega	=	M	=	10^6
kilo	=	k	=	10^3
milli	=	m	=	10^{-3}
micro	=	μ	=	10^{-6}
- dus: 1 MW = 1 000 000 W
 1 kJ = 1000 J
 1 mW = 0,001 W
 1 μ W = 0,000 001 W

Vragen en opdrachten

Beantwoord de theorievragen 8 t/m 11. Je kunt je antwoorden controleren door ze na te zoeken in paragraaf 3.3. Maar doe dat pas *nadat* je zelf antwoord hebt gegeven.

- 8 Omschrijf het begrip vermogen.

- 9 Wat is de eenheid van vermogen?

- 10 Welke letter gebruiken we om het vermogen aan te geven?

- 11 Met welke formule kunnen we het vermogen berekenen uit de arbeid?

Maak nu de toetsopgave(n).

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla dan de oefenopgaven over.

Toetsopgave 4

Een elektromotor verbruikt in 8 uur een energie van 144 MJ. Bereken het vermogen van de motor.

Het vermogen is: _____ kW

Oefenopgaven

- 4.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 4. Maak die nu zelf.
Een oven heeft een vermogen van 1000 W. De oven is 1,5 uur in gebruik. Hoeveel energie in kWh gebruikt de oven in die tijd?

- 4.2 We herhalen de opgave van voorbeeld 5. Maak die nu zelf.
Hoeveel kJ verbruikt een lamp van 12 W in één uur?

- 4.3 Een ventilator gebruikt per uur 900 kJ aan energie. Bereken het vermogen van de ventilator.

Gegeven: $t = 1$ uur

$$\text{_____} = 900 \text{ kJ}$$

Gevraagd: P

Oplossing: $900 \text{ kJ} = \text{_____} \text{ J}$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow$$

$$P = \frac{\text{..... J}}{\text{..... s}} = \text{_____ W}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 4.

Toetsopgave 5

Op een avond staan tussen 6 uur en 11 uur de volgende apparaten ingeschakeld:

3 uur lang de tv van 800 W,

5 uur lang 3 lampen van 40 W en 2 lampen van 60 W,

1/2 uur lang een koffiezetapparaat van 400 W,

1 uur lang een versterker van 40 W,

2 uur lang de koelkast van 0,2 kW.

- a. Hoeveel energie in MJ is er deze avond verbruikt? _____ MJ
- b. Hoeveel kWh is dit? _____ kWh
- c. Hoeveel kost dat, als 1 kWh f 0,27 kost? f _____

Oefenopgaven

- 5.1 a. Een PL-lamp van 11 W heeft 1 kWh verbruikt. Hoe lang heeft de lamp gebrand?

- b. Hoeveel J is er dan verbruikt?

- c. De PL-lamp wordt gebruikt voor buitenverlichting. In de winter brandt de lamp van 6 uur in de avond tot 8 uur de volgende morgen. Stel dat 1 kWh f 0,30 kost. Hoeveel kost het branden van de lamp per week in de winter?

- d. In plaats van de PL-lamp van 11 W kunnen we ook een gloeilamp van 60 W nemen. Die geeft net zoveel licht. Hoeveel kost het als we zo'n gloeilamp zouden gebruiken?

- 5.2 Een strijkbout heeft een vermogen van 1000 W. Hoeveel energie (in kJ en kWh) wordt er in een kwartier uit het net opgenomen?

Gegeven: $P = 1000 \text{ W}$
 $t = 1 \text{ kwartier}$

Gevraagd: W in kJ
 W in kWh

Oplossing: $t = 1 \text{ kwartier} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ h}$
 $W = P \cdot t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W} \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ s} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ws}$
 $= \underline{\hspace{2cm}} \text{ J} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ}$
 en $W = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW} \times \underline{\hspace{2cm}} \text{ h} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kWh}$

- 5.3 Op een kamer branden drie spots van 40 W en een leeslamp van 60 W gedurende 3 uur. Hoeveel elektrische arbeid is er dan verricht? Druk de arbeid uit in kJ en ook in kWh.

$\underline{\hspace{2cm}}$ kJ en $\underline{\hspace{2cm}}$ kWh

Maak nu nog eens toetsopgave 5.

Toetsopgave 6

Een wasmachine is aangesloten op een netspanning van 230 V. De machine heeft een totaal vermogen van 3,3 kW. Bereken de opgenomen stroom.

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

Oefenopgaven

- 6.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 6. Maak die nu zelf. Op de netspanning van 230 V sluiten we een lamp van 60 W aan. Hoe groot is de stroom door de lamp?

Oplossing: $I = \underline{\hspace{2cm}}$

6.2 Op een fietslampje staat 6 V/0,2 A. Hoe groot is het vermogen van het lampje?

Gegeven: $U = \underline{\hspace{2cm}}$ V

$I = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Gevraagd: P

Oplossing: $P = \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}}$ W

6.3 Een auto heeft een accu van 12 V. Door de achterrautverwarming van de auto vloeit een stroom van 5 A. Bereken het vermogen van deze verwarming.

Oplossing: $P = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Maak nu nog eens toetsopgave 6.

Toetsopgave 7

Een huisinstallatie heeft een aansluitwaarde (vermogen) van 7,36 kW. De netspanning is 230 V. Bereken:

- de stroomsterkte $\underline{\hspace{2cm}}$
- het energieverbruik per dag, als gemiddeld 60 % van het vermogen is ingeschakeld

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

Oefenopgaven

7.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 7. Maak die nu zelf. Een toestel is aangesloten op 24 V. Door het toestel vloeit een stroom van 2,5 A. Hoeveel energie in kJ is na 15 minuten verbruikt?

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

- 7.2 Een boiler verbruikt in 8 uur 12 kWh. De netspanning is 230 V. Bereken het opgenomen vermogen en de stroomsterkte.

Gegeven: $t =$ _____

$W =$ _____

$U =$ _____

Gevraagd: Bereken P en I .

Oplossing: $P = \frac{W}{t} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} =$ _____ kW

$I = \frac{P}{U} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} =$ _____ A

- 7.3 Een toestel met een vermogen van 4000 W is aangesloten op een spanning van 400 V.

a. Bereken de opgenomen stroom van het toestel.

b. Na het aansluiten zijn er 2 uur en 20 minuten verstreken. Bereken hoeveel energie in MJ het toestel heeft verbruikt.

- 7.4 Een installatie heeft een totaal vermogen van 5 kW. Gemiddeld is er 70% van de installatie ingeschakeld. Bereken het gemiddeld ingeschakelde vermogen.

Maak nu nog eens toetsopgave 7.

3.4 Maximale stroom door een weerstand

Weerstanden kunnen maar een bepaald maximum aan vermogen opnemen. Als het maximaal vermogen overschreden wordt, zal de weerstand verbranden. Veel voorkomende vermogenswaarden zijn: 0,33 W, 0,5 W, 1 W, 2 W en 5 W. Zie figuur 3.8. Dit soort weerstanden wordt onder andere toegepast in elektronische schakelingen.



Figuur 3.8 Weerstanden met verschillende vermogens

Belangrijk is om te weten hoe groot de *stroom* door de weerstand mag zijn. Daarvoor leiden we een formule af waarin vermogen, weerstand en stroom voorkomen. We gaan daarvoor twee formules gebruiken. Die ken je al:

$$P = U \cdot I$$

en

$$U = I \cdot R$$

In de formule $P = U \cdot I$ vullen we voor U de tweede formule in:

$$P = U \cdot I = I \cdot R \cdot I = I^2 \cdot R$$

Voor het opgenomen vermogen geldt dus:

$$P = I^2 \cdot R$$

Voorbeeld 8

Bereken de maximale stroom door een weerstand van 100Ω .
De weerstand mag maximaal $0,33 \text{ W}$ opnemen.

Gegeven: $R = 100 \Omega$
 $P = 0,33 \text{ W}$

Gevraagd: I

Oplossing: $P = I^2 \cdot R \Rightarrow$
 $I^2 = \frac{P}{R}$
 $I^2 = \frac{0,33 \text{ W}}{100 \Omega} = 33 \times 10^{-4} \text{ A}^2$

$$I = \sqrt{33 \times 10^{-4} \text{ A}^2} = 5,74 \times 10^{-2} \text{ A} = 57,4 \text{ mA}$$

Dit is dus de stroom die maximaal door deze weerstand mag vloeien.

3.5 Maximale spanning over een weerstand

Je hebt al gezien dat het vermogen van een weerstand een maximum heeft. Daardoor zit er ook een grens aan de *spanning* over de weerstand. De maximale spanning over de weerstand berekenen we als volgt. We gebruiken weer formules die je al kent:

$$P = U \cdot I$$

en

$$I = \frac{U}{R}$$

In de formule $P = U \cdot I$ vullen we voor I de tweede formule in.

$$P = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

Voor het opgenomen vermogen geldt dus ook:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Voorbeeld 9

Bereken de maximale spanning over de weerstand van voorbeeld 8.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$U^2 = P \cdot R = 0,33 \text{ W} \times 100 \Omega = 33 \text{ V}^2 \Rightarrow$$

$$U = \sqrt{33 \text{ V}^2} = 5,74 \text{ V}$$

Toetsopgaven en oefenopgaven

Maak nu de toetsopgave(n).

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla dan de oefenopgaven over.

Toetsopgave 8

We hebben een weerstand van 470Ω - $0,25 \text{ W}$.

Bereken de maximale stroom die door de weerstand mag vloeien.

Oplossing: $I_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$

Oefenopgaven

8.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 8. Maak die nu zelf.

Een weerstand van 100Ω mag maximaal $0,33 \text{ W}$ opnemen. Bereken de maximale stroom door de weerstand.

8.2 Bereken de maximale stroom door een weerstand van 100Ω - $0,5 \text{ W}$.

Gegeven: $R = 100 \Omega$
 $P = 0,5 \text{ W}$

Gevraagd: I

Oplossing: $P = I^2 \cdot R \Rightarrow I^2 = \frac{P}{R} \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

$$I = \sqrt{\frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots}} = \sqrt{\dots\dots\dots} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ A} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ mA}$$

8.3 Bereken de maximale stroom door een weerstand van $15 \text{ k}\Omega$ - 1 W .

Maak nu nogmaals toetsopgave 8.

Toetsopgave 9

We hebben een weerstand van $22 \text{ k}\Omega$ - $0,33 \text{ W}$.

Bereken de maximale spanning waarop de weerstand mag worden aangesloten.

Oplossing: $U_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$

Oefenopgaven

- 9.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 9. Maak die nu zelf.
Bereken de maximale spanning over een weerstand van 100Ω .
De weerstand mag maximaal $0,33 \text{ W}$ opnemen.
-

- 9.2 Bereken de maximale spanning over een weerstand van 47Ω - $0,25 \text{ W}$.

Gegeven: $R = 47 \Omega$
 $P = 0,25 \text{ W}$

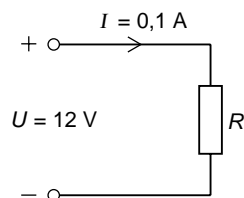
Gevraagd: U

Oplossing: $P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U^2 = P \cdot R \Rightarrow U = \sqrt{P \cdot R}$

$$U = \sqrt{\dots \times \dots} = \sqrt{\dots} = \dots \text{ V}$$

- 9.3 Bereken de maximale spanning over een weerstand van $6,8 \text{ k}\Omega$ - 1 W .
-

- 9.4



Figuur 3.9

- a. Bereken de weerstand van figuur 3.9.
-

- b. Welk vermogen moet de weerstand minstens kunnen opnemen?
-

Maak nu nog eens toetsopgave 9.

3.6 Het vermogen in verschillende schakelingen

Weerstanden kunnen we in serie, parallel of gemengd schakelen. De vermogens die ze opnemen zullen *verschillend* zijn.

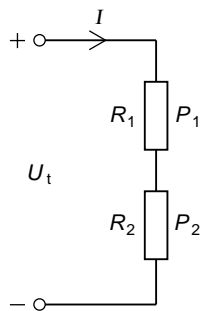
Het maximale vermogen mag niet worden overschreden. Dat geldt voor elke weerstand in een schakeling. We moeten daar rekening mee houden.

Serieschakeling

Bij een serieschakeling gaat door elke weerstand dezelfde stroom. Dat weet je al. Als we de stroom weten, kunnen we het vermogen per weerstand berekenen. Dat doen we met: $P = I^2 \cdot R$.

Voorbeeld 10

Een weerstand van 100Ω en een weerstand van 200Ω zijn in serie geschakeld. Zie figuur 3.10. De schakeling is aangesloten op een spanning van 15 V . Bereken het vermogen dat elke weerstand opneemt.



Figuur 3.10

Gegeven: $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $U_t = 15 \text{ V}$

Gevraagd: P_1 en P_2

Oplossing: $R_t = R_1 + R_2 = 100 \Omega + 200 \Omega = 300 \Omega$

$$I = \frac{U_t}{R_t} = \frac{15 \text{ V}}{300 \Omega} = 0,05 \text{ A}$$

$$P_1 = I^2 \cdot R_1 = (0,05 \text{ A})^2 \times 100 \Omega = 0,25 \text{ W}$$

$$P_2 = I^2 \cdot R_2 = (0,05 \text{ A})^2 \times 200 \Omega = 0,5 \text{ W}$$

Let op!

- Bij een serieschakeling neemt de *grootste* weerstand het grootste vermogen op.
- Vaak heb je een serieschakeling met weerstanden die allemaal hetzelfde vermogen kunnen opnemen. Dan hoef je alleen uit te rekenen of dat vermogen bij de *grootste* weerstand niet wordt overschreden. Meer is dan niet nodig.

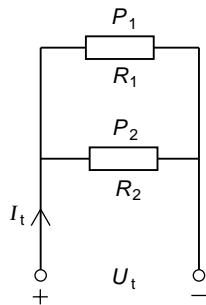
Parallelschakeling

Bij een parallelschakeling staat over elke weerstand dezelfde spanning. Als de spanning bekend is, kunnen we het vermogen per weerstand berekenen. Dat

doen we met: $P = \frac{U^2}{R}$

Voorbeeld 11

Een weerstand van 100Ω en een weerstand van 200Ω zijn parallel geschakeld. Zie figuur 3.11. De schakeling is aangesloten op een spanning van 15 V . Bereken het vermogen dat elke weerstand opneemt.



Figuur 3.11

Gegeven: $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $U_t = 15 \text{ V}$

Gevraagd: P_1 en P_2

Oplossing: $P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{(15 \text{ V})^2}{300 \Omega} = 2,25 \text{ W}$

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{(15 \text{ V})^2}{200 \Omega} = 1,13 \text{ W}$$

Let op!

- Bij een parallelschakeling neemt de *kleinste* weerstand het grootste vermogen op.
- Vaak heb je een parallelschakeling met weerstanden die allemaal hetzelfde vermogen kunnen opnemen. Dan hoeft je alleen uit te rekenen of dat vermogen bij de *kleinste* weerstand niet wordt overschreden. Meer is dan niet nodig.

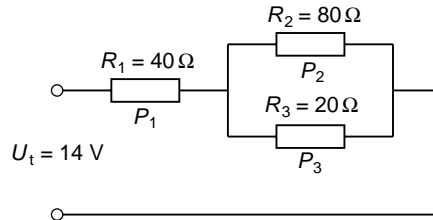
Gemengde schakeling

Een gemengde schakeling is een schakeling met serie- en parallelschakeling. De vraag is weer welke weerstand het grootste vermogen zal opnemen. Dat is hierbij moeilijker te zeggen.

Voorbeeld 12

Gegeven is de schakeling van figuur 3.12. Bereken:

- het vermogen dat elke weerstand opneemt;
- het totaal opgenomen vermogen van de schakeling.



Figuur 3.12

Gegeven: de schakeling van figuur 3.12

Gevraagd: a. P_1 , P_2 en P_3
b. P_t

Oplossing: $R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{80 \Omega \cdot 20 \Omega}{100 \Omega} = 16 \Omega$

$$R_t = R_1 + R_{23} = 40 \Omega + 16 \Omega = 56 \Omega$$

$$I_t = \frac{U_t}{R_t} = \frac{14 \text{ V}}{56 \Omega} = 0,25 \text{ A}$$

$$U_1 = I_t \cdot R_1 = 0,25 \text{ A} \times 40 \Omega = 10 \text{ V}$$

$$U_{23} = U_t - U_1 = 14 \text{ V} - 10 \text{ V} = 4 \text{ V}$$

$$\text{a. } P_1 = I_t^2 \cdot R_1 = (0,25 \text{ A})^2 \times 40 \Omega = 2,5 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{U_{23}^2}{R_2} = \frac{(4 \text{ V})^2}{80 \Omega} = 0,2 \text{ W}$$

$$P_3 = \frac{U_{23}^2}{R_3} = \frac{(4 \text{ V})^2}{20 \Omega} = 0,8 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } P_t &= P_1 + P_2 + P_3 \\ &= 2,5 \text{ W} + 0,2 \text{ W} + 0,8 \text{ W} = 3,5 \text{ W} \end{aligned}$$

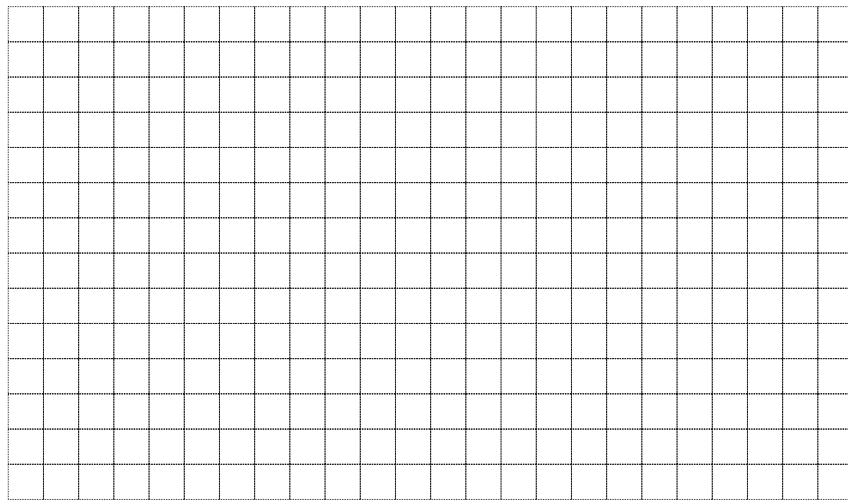
Toetsopgaven en oefenopgaven

Maak nu de toetsopgave(n).

Als je antwoord niet goed is, maak dan eerst de oefenopgaven. Als je antwoord wel goed is, sla de oefenopgaven dan over.

Toetsopgave 10

Drie weerstanden van achtereenvolgens $100\ \Omega$, $175\ \Omega$ en $225\ \Omega$ zijn in serie geschakeld. De schakeling is aangesloten op een voedingsspanning van $25\ \text{V}$. Teken eerst het schema met de gegevens.



- Bereken R_t .
- Bereken I .
- Bereken het vermogen dat elke weerstand opneemt.
- Bereken het vermogen dat de totale schakeling opneemt.

$$R_t = \underline{\hspace{2cm}} \quad I = \underline{\hspace{2cm}}$$

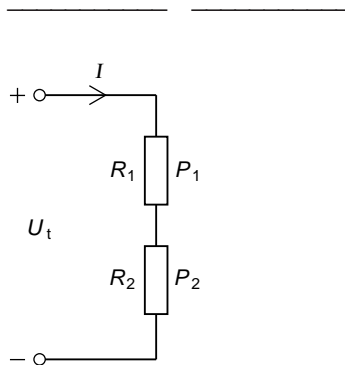
$$\text{opgenomen vermogen: } P_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad P_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad P_3 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{totaal opgenomen vermogen} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Oefenopgaven

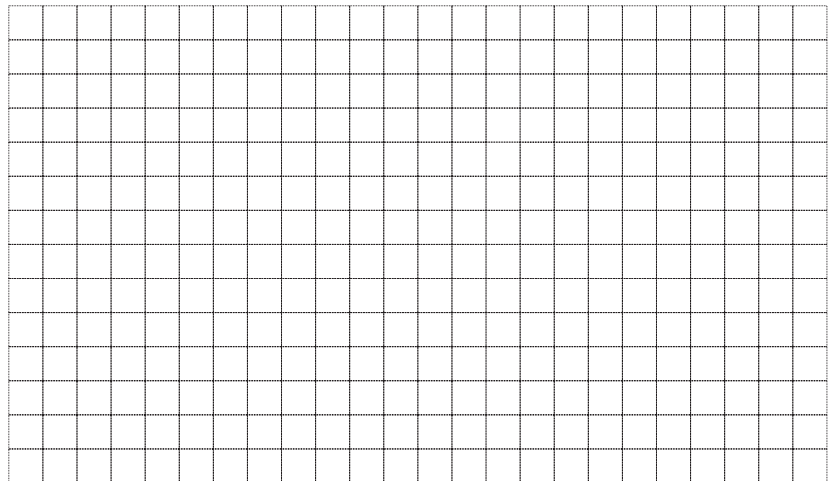
10.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 10. Maak die nu zelf.

Een weerstand van $100\ \Omega$ en een weerstand van $200\ \Omega$ zijn in serie geschakeld. Zie figuur 3.13. De schakeling is aangesloten op een spanning van $15\ \text{V}$. Bereken het vermogen dat elke weerstand opneemt.



Figuur 3.13

3.2 Twee weerstanden R_1 en R_2 van $15\ \Omega$ en $25\ \Omega$ zijn in serie geschakeld. De schakeling is aangesloten op een spanning van $100\ \text{V}$. Teken eerst het schema en vermeld daarin de gegevens.



Bereken:

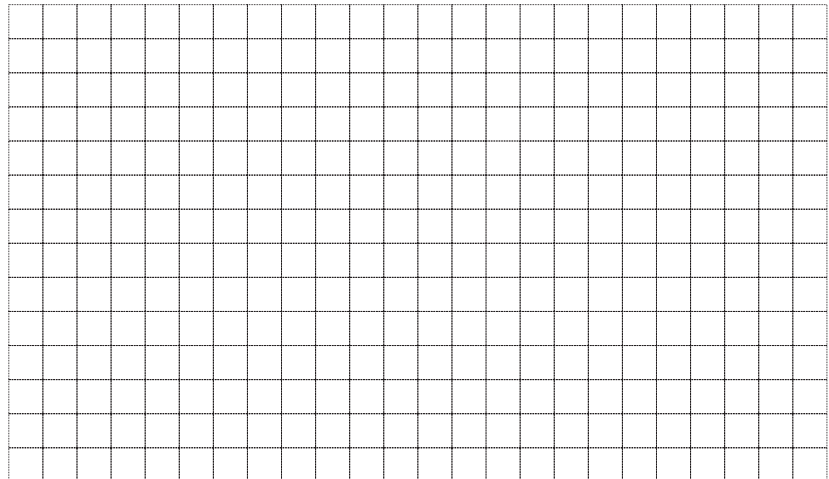
- de stroom;
- het opgenomen vermogen in R_1 en R_2 ;
- het totaal opgenomen vermogen.

- Gevraagd:
- I
 - P_1 en P_2
 - P_t

Oplossing:

- $I = \frac{U_t}{R_t} = \frac{\dots\dots\dots}{40 \Omega} = \dots\dots\dots \text{ A}$
- $P_1 = I^2 \cdot R_1 = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ W}$
 $P_2 = I^2 \cdot R_2 = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ W}$
- $P_t = P_1 + P_2 = \dots\dots\dots + \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ W}$

- 10.3 Drie weerstanden zijn in serie geschakeld op een spanning van 100 V. De waarde van de weerstanden is achtereenvolgens: 250 Ω , 150 Ω en 600 Ω . Teken eerst het schema met de gegevens.



- Bereken:
- de totale weerstand.
 - de stroom.
 - het vermogen dat R_1 opneemt.
 - het vermogen dat de totale schakeling opneemt.

a. _____

b. _____

c. _____

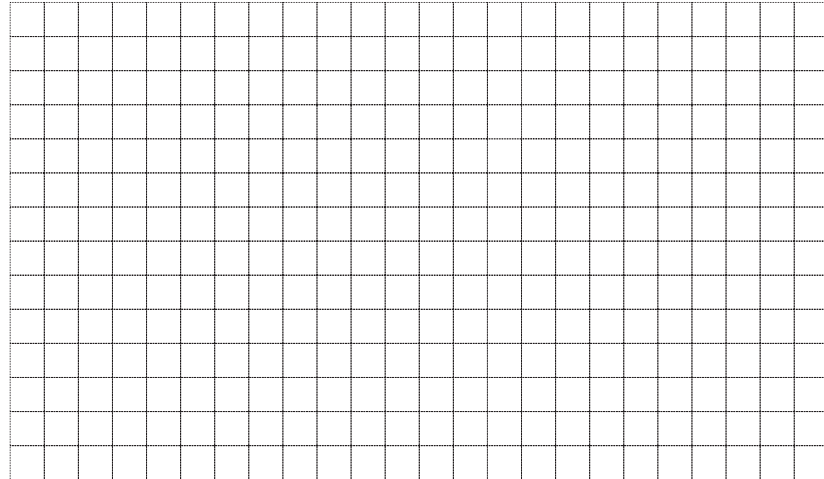
d. _____

Maak nu nog eens toetsopgave 10.

Toetsopgave 11

Door een lichtgevende diode (led) mag maximaal een stroom gaan van 30 mA. De spanning over de led is dan 3 V. De led is in serie geschakeld met een weerstand.

Teken eerst het schema met de gegevens.



- a. Bereken de voorschakelweerstand om de schakeling met led op 10 V te kunnen aansluiten.

- b. Hoe groot is het vermogen dat de led opneemt? En hoe groot is het vermogen dat de weerstand opneemt?

Oefenopgaven

- 11.1 Een lampje van 24 V - 5 W is in serie geschakeld met een weerstand. Het geheel is aangesloten op een spanning van 40 V. Bereken het vermogen dat de weerstand opneemt.

Gegeven: $U_{\text{lamp}} = 24 \text{ V}$
 $P_{\text{lamp}} = 5 \text{ W}$
 $U_t = 40 \text{ V}$

Gevraagd: P_R

Oplossing: $U_R = U_t - U_{\text{lamp}}$

$$U_R = \text{_____ V} - \text{_____ V} = \text{_____ V}$$

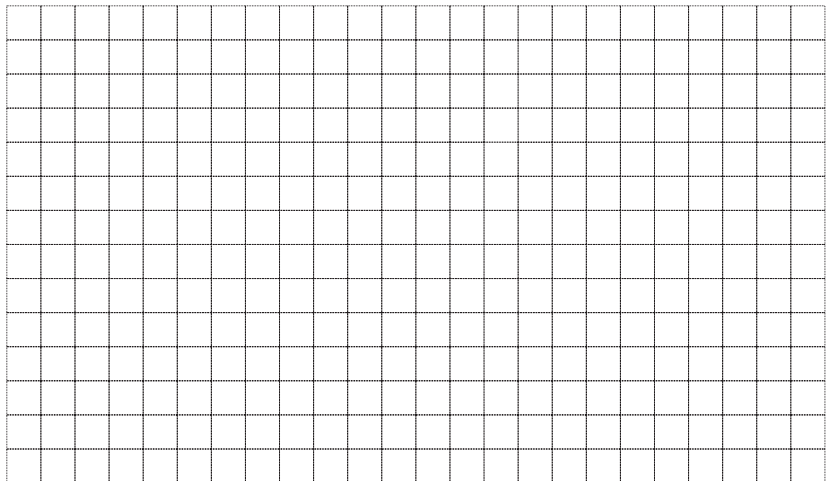
$$I = \frac{P_{\text{lamp}}}{U_{\text{lamp}}} = \frac{\text{..... W}}{\text{..... V}} = \text{_____ A}$$

$$R = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \frac{\text{.....}}{\text{.....}} = \text{_____ } \Omega$$

$$P_R = I^2 \cdot R = (\text{_____})^2 \times \text{_____ } \Omega = \text{_____ W}$$

- 11.2 Een lampje van 6 V - 2 W wordt met een voorschakelweerstand aangesloten op 15 V.

Teken eerst het schema en vermeld daarin de gegevens.



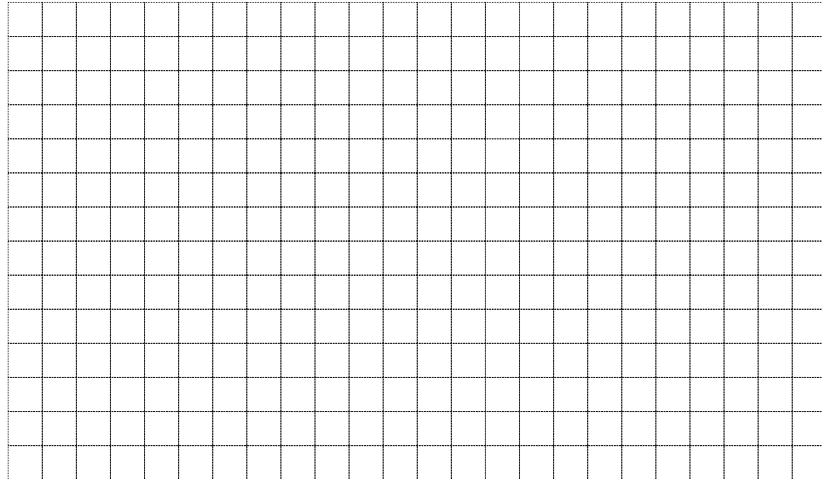
Bereken de waarde van de weerstand. Bereken ook het vermogen dat de weerstand opneemt.

$$R = \text{_____} \quad P_R = \text{_____}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 11.

Toetsopgave 12

Drie weerstanden zijn parallel geschakeld. $R_1 = 200 \Omega$ en $R_2 = 500 \Omega$. De stroom door R_3 is $0,2 \text{ A}$. De schakeling is aangesloten op een spanning van 50 V . Teken eerst het schema met daarin alle gegevens.



- a. Bereken de vervangingsweerstand.

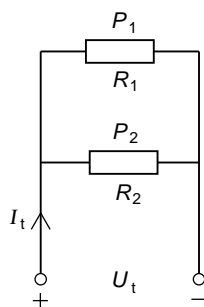
- b. Bereken het opgenomen vermogen in R_1 , R_2 en R_3 .

- c. Bereken het totaal opgenomen vermogen.

Oefenopgaven

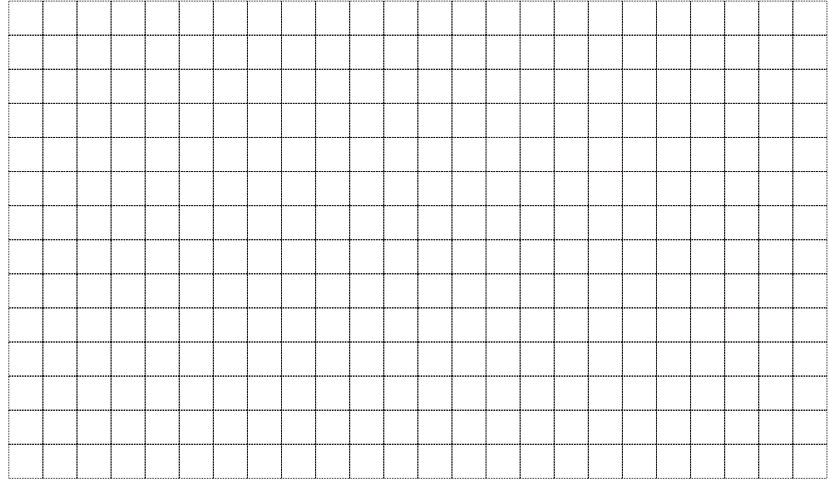
- 12.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 11. Maak die nu zelf.

Een weerstand van 100Ω en een weerstand van 200Ω zijn parallel geschakeld. Zie figuur 3.14. De schakeling is aangesloten op een spanning van 15 V . Bereken het vermogen dat elke weerstand opneemt.



Figuur 3.14

- 12.2 Drie weerstanden van achtereenvolgens $120\ \Omega$, $150\ \Omega$ en $180\ \Omega$ zijn parallel geschakeld. De schakeling is aangesloten op een spanning van $30\ \text{V}$. Teken eerst het schema en vermeld daarin de gegevens.



- Gevraagd: a. P_1 , P_2 en P_3
b. P_t

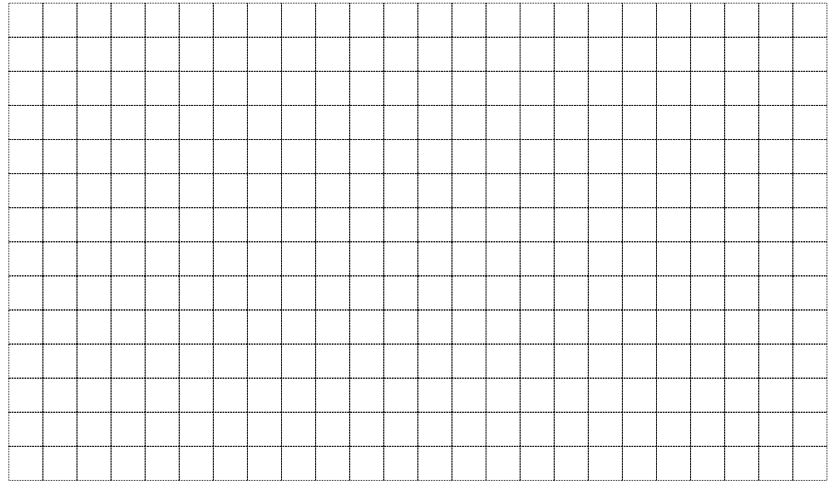
Oplossing: a. $P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ W}$

$$P_2 = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ W}$$

$$P_3 = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ W}$$

b. $P_t = P_1 + \dots\dots\dots + \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ W}$

- 12.3 Twee weerstanden van $22\ \Omega$ en $33\ \Omega$ zijn parallel aangesloten op een spanning van $5,5\ \text{V}$. Teken eerst de schakeling en vermeld de gegevens.



- Bereken:
- Het vermogen dat de weerstanden opnemen.
 - Het vermogen dat in totaal wordt opgenomen.

- Oplossing:
- $P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $P_2 = \underline{\hspace{2cm}}$
 - $P_t = \underline{\hspace{2cm}}$

- 12.4 Drie weerstanden R_1 , R_2 en R_3 van achtereenvolgens $25\ \Omega$, $50\ \Omega$ en $75\ \Omega$ zijn parallel geschakeld. Door R_1 vloeit een stroom I_1 van $0,2\ \text{A}$. Teken eerst de schakeling met alle gegevens.



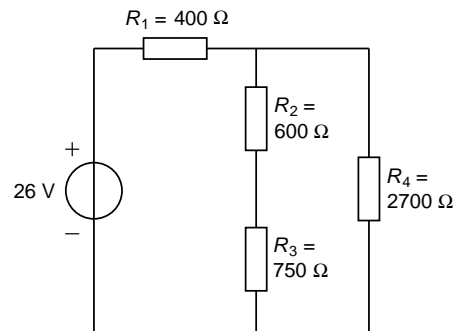
- Bereken:
- De spanning op de schakeling.
 - Het vermogen dat de weerstanden van $50\ \Omega$ en $75\ \Omega$ opnemen.

- Oplossing:
- $U = \underline{\hspace{2cm}}$
 - $P_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ $P_3 = \underline{\hspace{2cm}}$

Maak nu nog eens toetsopgave 12.

Toetsopgave 13

Gegeven is de schakeling van figuur 3.15. Bereken het opgenomen vermogen in de afzonderlijke weerstanden.



Figuur 3.15

$$P_1 = \text{_____} \quad P_2 = \text{_____} \quad P_3 = \text{_____} \quad P_4 = \text{_____}$$

Oefenopgaven

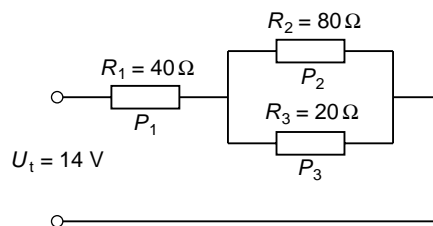
13.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 12. Maak die nu zelf.

Gegeven is de schakeling van figuur 3.16. Bereken:

- het vermogen dat elke weerstand opneemt;
- het totaal opgenomen vermogen van de schakeling.

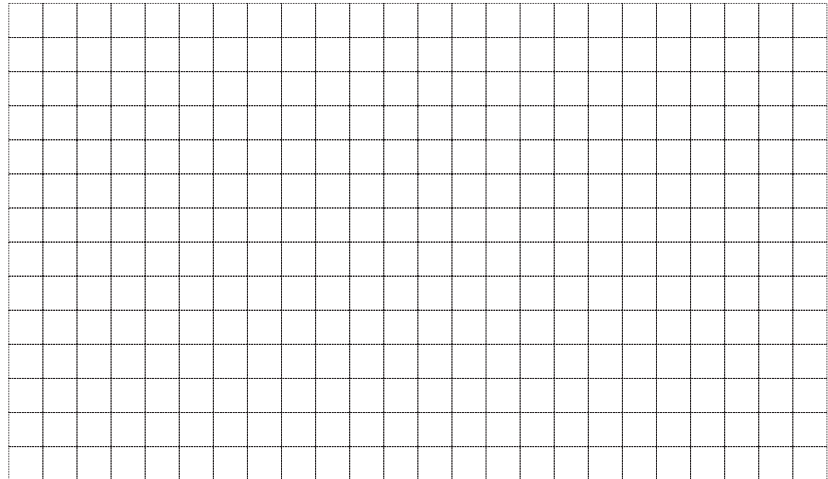
a. _____

b. _____



Figuur 3.16

- 13.3 Een weerstand R_1 van 550Ω staat in serie met een weerstand R_2 van 450Ω . Parallel over deze twee weerstanden staat een weerstand R_3 van $1,5 \text{ k}\Omega$. De schakeling is aangesloten op een spanning van 60 V . Teken eerst de schakeling met daarin de gegevens.



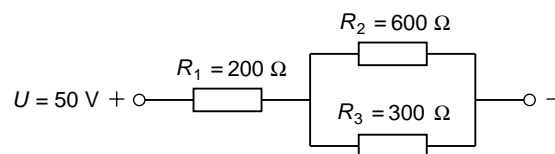
- a. Bereken het opgenomen vermogen in de weerstanden R_1 , R_2 en R_3 .

$$P_1 = \text{_____} \quad P_2 = \text{_____} \quad P_3 = \text{_____}$$

- b. Bereken het totaal opgenomen vermogen.

$$P_v = \text{_____}$$

- 13.4 Bereken van de schakeling van figuur 3.18 het opgenomen vermogen in de weerstanden.



Figuur 3.18

$$P_1 = \text{_____} \quad P_2 = \text{_____} \quad P_3 = \text{_____}$$

Maak nu nog eens toetsopgave 13.

Meettechniek

3.7 Meten van het energieverbruik

Voor het verbruik van elektriciteit moeten we betalen. Er moet dus gemeten worden hoeveel elektrische energie er verbruikt is. Dit gebeurt met een kWh-meter. Zie figuur 3.19.



Figuur 3.19 De kilowattuurmeter

Voor we gaan meten, bekijken we de kilowattuurmeter. Het telwerk geeft de meterstand aan in kWh. Verder zien we een aluminium schijf waarop een merkteken is aangebracht. De omwentelingen van de schijf worden via tandwieltjes overgebracht op het telwerk. Je ziet ook de *meterconstante*. Die geeft aan hoeveel omwentelingen van de schijf er nodig zijn voor één kWh.

Op het telwerk van de kilowattuurmeter kun je een bepaald verbruik aflezen. Maar meten op die manier kan erg lang duren. Daarom maken we gebruik van de meterconstante. Hoe dat in zijn werk gaat leggen we nu uit.

De meter van figuur 3.19 heeft een meterconstante van 600 omw = 1 kWh. We weten al dat 1 kWh = 3,6 MJ = 3 600 000 J.

Voor de meterconstante kunnen we dus ook noteren: 600 omw = 3 600 000 J.

Dan is één omwenteling gelijk aan: $\frac{3\,600\,000\text{ J}}{600\text{ omw}} = 6000\text{ J}$.

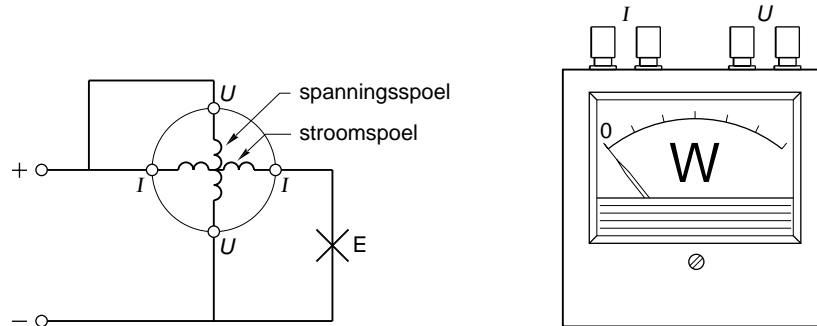
Dus: één omwenteling = 6000 J bij deze kWh-meter.

3.8 Meten van het vermogen

Vermogen kunnen we op twee manieren meten.

- De eerste manier is om zowel de spanning als de stroom te meten. Daaruit bereken je dan het vermogen.
- De tweede manier is om het vermogen te meten met een wattmeter.

Met de wattmeter kun je het vermogen *direct* aflezen. Zie figuur 3.20.



Figuur 3.20 Wattmeter

De wattmeter heeft vier aansluitklemmen. De klemmen met het symbool I zijn verbonden met de *stroomspoel*. Deze spoel meet de stroomsterkte, net als de ampèremeter.

Tussen de klemmen met het symbool U is de *spanningsspoel* aangesloten. Deze spoel meet de spanning, net als de voltmeter.

Het kan zijn dat de meter uitslaat naar de 'verkeerde' kant. Dan moet je de aansluitingen bij U óf bij I omdraaien.

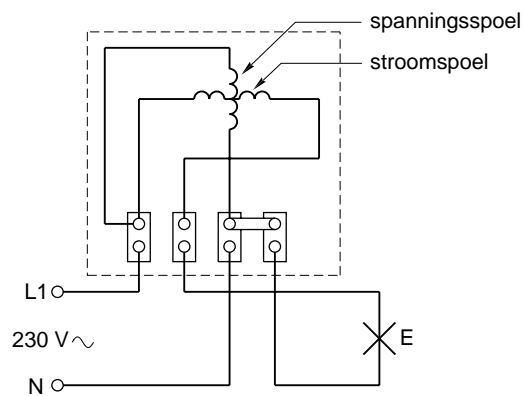
3.9 Meetopdrachten 1: meten met de kilowattuurmeter

Wat is er nodig?

- een kWh-meter op een meterbord;
- twee lamphouders E 27;
- wandcontactdoos met contactstop;
- verschillende gloeilampen van 230 V;
- verschillende toestellen.

Opdrachten

- 1 In figuur 3.21 zien we het aansluitschema van de kWh-meter. Sluit op de kWh-meter een lamp aan van 100 W. Zorg dat het merkteken op de schijf zichtbaar is.



Figuur 3.21 Aansluitschema kWh-meter

- 2 Hoe groot is de meterconstante van de kWh-meter?

_____ omw = 1 kWh

Bereken met de meterconstante het aantal joules per omwenteling.
Noteer de waarde in tabel 3.1.

- 3 Noteer de tijd van één omwenteling van de schijf.

$$t/\text{omw} = \text{_____ s}$$

Bereken hiermee het aantal omwentelingen per uur. Noteer de waarde in tabel 3.1.

- 4 Bereken met de gegevens van 2 en 3 het verbruik per uur in kJ. Noteer de waarde in tabel 3.1.
- 5 Bereken met het berekende verbruik in kJ het verbruik in kWh. Noteer deze waarde in tabel 3.1.
- 6 Herhaal de opdrachten 2 t/m 5 voor de andere lampen en toestellen.

Tabel 3.1

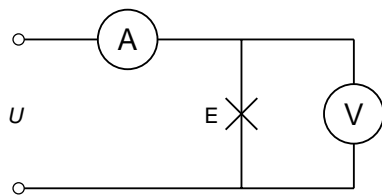
toestel en vermogen	aantal J/omw	aantal omw/h	verbruik/h in kJ	verbruik/h in kWh
lamp 100 W				

3.10 Meetopdrachten 2: meten van het vermogen

Wat is er nodig?

- twee universeelmeters;
- een wattmeter;
- twee lamphouders E 27;
- een aantal gloeilampen van 230 V;
- enige verwarmingstoestellen.

Eerst ga je meten met de voltmeter en ampèremeter. Zie figuur 3.22.



Figuur 3.22 Meten van het vermogen met de voltmeter en ampèremeter

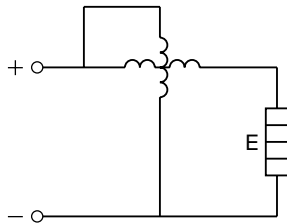
Opdrachten

- 1 Sluit de lampen aan volgens het schema van fig. 3.22. Noteer de waarden van spanning en stroom in tabel 3.2.
- 2 Bereken het vermogen van de lampen. Gebruik daarvoor de gemeten waarden van spanning en stroom. Noteer ook de waarden van het vermogen in tabel 3.2.

Tabel 3.2

lampvermogen	spanning in V	stroom in A	berekend vermogen in W
40 W			

Nu ga je meten met de wattmeter. Zie figuur 3.23.



Figuur 3.23 Meten van het vermogen met de wattmeter

Opdracht

Sluit de toestellen aan volgens het schema van figuur 3.23.
Noteer de waarden van het vermogen in tabel 3.3.

Tabel 3.3

toestel	opgegeven vermogen in W	gemeten vermogen in W
föhn		

Wat je nu zeker moet weten**Formules**

$$P = \frac{W}{t}$$

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

$$P = U \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Controlelijst

Controleer zelf met deze lijst of je nu alles weet. Kruis aan wat je weet en bestudeer nogmaals de onderwerpen die nog niet duidelijk zijn.

Je weet, kunt of kent:

- Welke energieomzettingen er plaatsvinden in elektrische apparaten.
- Omschrijven wat vermogen is.
- Welke letter er voor het vermogen wordt gebruikt.
- In welke eenheid het vermogen wordt uitgedrukt.
- Omschrijven wat arbeid is.
- Welke letter er voor de arbeid wordt gebruikt.
- In welke eenheid de arbeid wordt uitgedrukt.
- De zojuist genoemde formules toepassen bij één toestel of weerstand.
- Die formules toepassen bij serieschakeling van weerstanden.
- Die formules toepassen bij parallelschakeling van weerstanden.
- Die formules toepassen bij een gemengde schakeling van weerstanden.
- Het verbruik meten met een kWh-meter.
- Het vermogen meten met een volt- en ampèremeter.
- Het vermogen meten met een wattmeter.
- Meetgegevens in tabellen verwerken.