

## § 3 Serie- en parallelschakeling

### 3.1 Introductie

#### Inleiding

In de vorige paragraaf heb je je beziggehouden met de elektrische huisinstallatie en de veiligheidsmaatregelen die daarvoor van belang zijn. Behalve over deze praktijksituatie heb je het een en ander geleerd over de theorie van de enkelvoudige schakeling: een elektrische schakelingen met één weerstand, lampje of apparaat. In deze paragraaf gaat het om meervoudige schakelingen: elektrische schakelingen met meer weerstanden, lampjes of apparaten.

#### Paragraafvragen

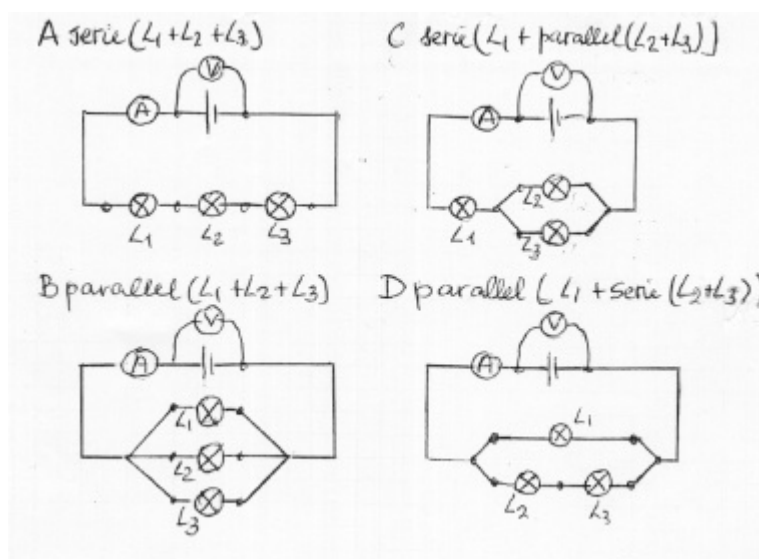
- P1 Hoe meet en bereken je de spanning en de stroom in een schakeling met meerdere weerstanden, lampjes of apparaten?
- P2 Met welke wetmatigheden die gelden voor serie- en parallelschakelingen kun je de veiligheidsmaatregelen in de elektrische huisinstallatie beter begrijpen?

### 3.2 Instapprobleem met demonstratie Schakelingen van drie lampjes

Je kunt met drie lampjes (6,0 V; 0,50 A; 12,0 Ohm) en met één spanningsbron vier verschillende schakelingen A, B, C en D maken (zie figuur 3.1). Je hebt een voltmeter om de bronspanning te meten; je hebt een amperemeter om de bronstroom te meten.

#### Startvragen

- I1 Op welke bronspanning moet je iedere schakeling aansluiten om tenminste één lampje normaal te laten branden?
- I2 Wat verandert er aan de intensiteit van de lampjes  $L_1$  en  $L_2$  als je lampje  $L_3$  losdraait?



Figuur 3.1 Vier schakelingen met drie lampjes

❖ Hoe branden de lampjes. Omcirkel wat je verwacht.

Schakeling	Hoe branden de lampjes ?			Bronspanning (in Volt) Bronstroom (in Ampere)	Hoe branden de lampjes L <sub>1</sub> en L <sub>2</sub> na losdraaien van L <sub>3</sub>	
	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>		L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>
A L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> en L <sub>3</sub> in serie	Normaal	Normaal	Normaal	V A	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel
B L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> en L <sub>3</sub> parallel	Normaal	Normaal	Normaal	V A	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel
C L <sub>1</sub> in serie met de parallel van L <sub>2</sub> en L <sub>3</sub>	Normaal	Zeer zwak	Zeer zwak	V A	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel
D L <sub>1</sub> parallel met de serie van L <sub>2</sub> en L <sub>3</sub>	Normaal	Zeer zwak	Zeer zwak	V A	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel	Niet Zeer zwak Zwak Normaal Fel

figuur 3.2 Hoe branden de lampjes?

*Vervolg vragen*

Schakeling B: drie lampjes parallel.

I3      Waarom blijven L<sub>1</sub> en L<sub>2</sub> even fel branden als je een lampje L<sub>3</sub> losdraait?

I4      Waarom hangt de bronstroom af van het aantal brandende lampjes?

Schakeling C: een lampje in serie met de parallel van nog eens twee dezelfde lampjes

I5      Waarom gaat L<sub>1</sub> minder fel branden als je L<sub>3</sub> losdraait?

I6      Waarom gaat L<sub>2</sub> feller branden als je L<sub>3</sub> losdraait?

Schakeling D: een lampje parallel aan de serie van nog eens twee dezelfde lampjes.

I7      Waarom brandt L<sub>1</sub> feller dan en L<sub>2</sub> en L<sub>3</sub>?

I8      Waarom blijft L<sub>1</sub> even fel branden als je L<sub>3</sub> losdraait?

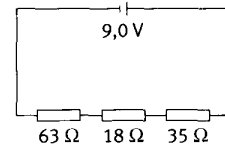
I9      Waarom verandert de bronstroom als je L<sub>3</sub> losdraait?

### 3.3 Opgaven

#### 6 Serieschakeling van drie weerstanden

In figuur 14 zie je een serieschakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron.

- Bereken de vervangingsweerstand van de drie in serie geschakelde weerstanden.
- Bereken de stroomsterkte in de schakeling.
- Bereken de spanning over elk van de drie weerstanden.

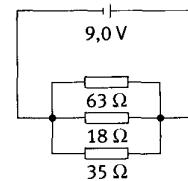


Figuur 14

#### 7 Parallelschakeling van drie weerstanden

In figuur 15 zie je een parallelschakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron.

- Bereken de vervangingsweerstand van de drie parallel geschakelde weerstanden.
- Bereken de stroomsterkte in de schakeling.
- Bereken de stroomsterkte in elk van de drie weerstanden.



Figuur 15

#### 8 \* Serieschakeling van twee weerstanden

Een weerstand  $R_1$  van  $1,8\ \text{k}\Omega$  is in serie met een weerstand  $R_2$  aangesloten op een spanningsbron van  $10,0\ \text{V}$ . Over de weerstand  $R_2$  wordt een spanning van  $4,0\ \text{V}$  gemeten. Hoe groot is de weerstand  $R_2$ ?

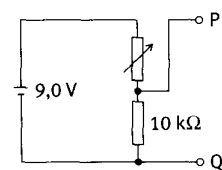
#### 9 \* Parallelschakeling van twee weerstanden

Een weerstand  $R_1$  van  $220\ \Omega$  is parallel geschakeld aan een weerstand  $R_2$ . De vervangingsweerstand van deze twee parallel geschakelde weerstanden is  $134\ \Omega$ . Hoe groot is de weerstand  $R_2$ ?

#### 10 Spanningsdeler

De spanningsdeler van figuur 16 bestaat uit een serieschakeling van een vaste weerstand van  $10\ \text{k}\Omega$  en een regelbare weerstand. De uitgangspanning van deze spanningsdeler is de spanning tussen de punten P en Q.

- De regelbare weerstand is ingesteld op een waarde van  $20\ \text{k}\Omega$ . Hoe groot is dan de uitgangspanning?
- Hoe zal de uitgangspanning veranderen als de regelbare weerstand op een grotere waarde wordt ingesteld?
- De regelbare weerstand heeft een maximale waarde van  $30\ \text{k}\Omega$ . Tussen welke waarden is de uitgangspanning in deze schakeling in te stellen?



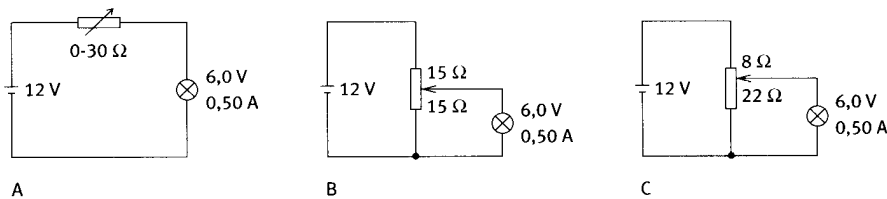
Figuur 16

Spanningsdeler.

## 11 Regelbare weerstand en spanningsdeler

Je moet een lampje van 6,0 V - 0,50 A aansluiten op een accu met een spanning van 12 V. Je gebruikt daarbij een variabele weerstand met een maximale waarde van 30 Ω.

- In figuur 24A zie je een eerste oplossing. Bereken op welke waarde de variabele weerstand moet worden ingesteld.
- In figuur 24B zie je een tweede oplossing. Het idee is dat bij deze instelling de spanningsdeler de accuspanning halveert. In de praktijk blijkt echter dat het lampje nu veel te zwak brandt.
- Bereken de spanning over het lampje. Leg uit hoe het komt dat deze spanning te laag is en beredeneer hoe de instelling van de spanningsdeler moet veranderen om het lampje op de juiste spanning te laten branden.
- In figuur 24C zie je de nieuwe instelling van de spanningsdeler. Toon aan dat het lampje nu wél op de juiste spanning brandt.



Figuur 24

## 12 Mistachterlicht

Het mistachterlicht van een auto is een 12 V lamp met een weerstand van 6,0 Ω. In de auto ziet de bestuurder aan een controlelampje of het mistachterlicht wel of niet brandt.

- Zijn dit controlelampje en het mistachterlicht in serie of parallel geschakeld, of zijn beide manieren van schakelen mogelijk? Leg uit waarom.
- Hieronder staan de gegevens van vier verschillende controlelampjes. Welk van deze lampjes is het meest geschikt voor gebruik in combinatie met het mistachterlicht?

- |       |               |   |                 |
|-------|---------------|---|-----------------|
| i. A  | 12 V - 2,0 A  | C | 0,12 V - 2,0 A  |
| ii. B | 12 V - 2,0 mA | D | 0,12 V - 2,0 mA |

## 13 Kerstboomverlichting

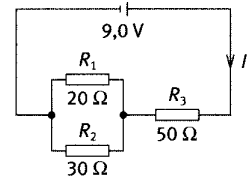
Een kerstboomverlichting bevat een aantal lampjes van 10 V - 0,020 A.

- Uit hoeveel lampjes bestaat deze kerstboomverlichting?
- Als een lampje doorbrandt, smelten in het lampje de aansluitingen van de gloeidraad aan elkaar: het lampje wordt automatisch kortgesloten. Daardoor blijven de andere lampjes branden. Hoe groot is na het doorbranden van één lampje de spanning over en de stroomsterkte in elk van de andere lampjes?

#### 14 \*Gemengde schakeling (1)

In figuur 21 zie je twee parallel geschakelde weerstanden  $R_1$  en  $R_2$ , die samen in serie geschakeld zijn met een derde weerstand  $R_3$ .

- Welke weerstanden kun je vervangen door één vervangingsweerstand, zodat er een eenvoudige serie- of parallelschakeling ontstaat?
- Vereenvoudig de schakeling van figuur 21 tot een serieschakeling van twee weerstanden.
- Bereken de stroomsterkte  $I$  in de schakeling, de spanning over en de stroomsterkte in elk van de drie weerstanden.

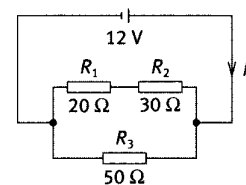


Figuur 21

#### 15 Gemengde schakeling (2)

In figuur 22 zie je twee in serie geschakelde weerstanden  $R_1$  en  $R_2$ , die samen parallel geschakeld zijn aan een derde weerstand  $R_3$ .

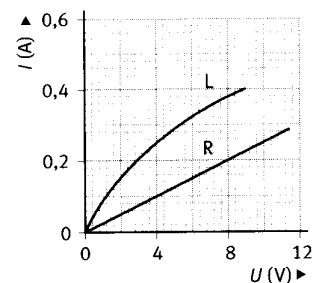
- Welke weerstanden kun je vervangen door één vervangingsweerstand, zodat er een parallelschakeling ontstaat?
- Vereenvoudig de schakeling van figuur 22 tot een parallelschakeling van twee weerstanden.
- Bereken de stroomsterkte  $I$  in de schakeling, de stroomsterkte in en de spanning over elk van de drie weerstanden.



Figuur 22

#### 16 \*Lampspanning

In figuur 26 zie je in een  $(I,U)$ -diagram het verband tussen de spanning over en de stroomsterkte in een lampje  $L$  van  $9,0 \text{ V} - 0,40 \text{ A}$  en een weerstand  $R$  van  $40 \text{ Ω}$ . Het lampje en de weerstand worden in serie aangesloten op een spanningsbron van  $9,0 \text{ V}$ . Bepaal de spanning over en de stroomsterkte in het lampje.



Figuur 26

$(I,U)$ -diagram van een lampje  $L$  en een weerstand  $R$ .

### 3.4 Leerlingenpracticum 2 *Spanning, stroom en weerstand in een schakeling met drie weerstanden*

#### ***Inleiding***

Met een *multimeter* ga je stroom, spanning en weerstand meten in een schakeling met drie verschillende weerstanden. De schakeling lijkt op schakeling C met drie lampjes, maar een groot verschil is dat je nu drie verschillende weerstanden hebt in plaats van drie gelijke lampjes.

De vragen waarop je het antwoord zoekt is:

- L1 Hoe meet je spanning, stroom en weerstand in een schakeling met drie weerstanden?
- L2 Welke wetmatigheden gelden voor spanning, stroom en weerstand in een schakeling met meer weerstanden?

#### ***Opstelling***

Drie verschillende weerstanden (10 Ω, 27 Ω en 56 Ω)

Snoeren

Spanningsbron

Multimeter

#### ***Opgaven***

##### *Schakeling bouwen*

- 1) Maak de schakeling zoals die is getekend op het waarnemingenblad. Neem nog geen meters op in je schakeling. Laat je schakeling controleren voor je de spanningsbron aanzet.

##### *Meten*

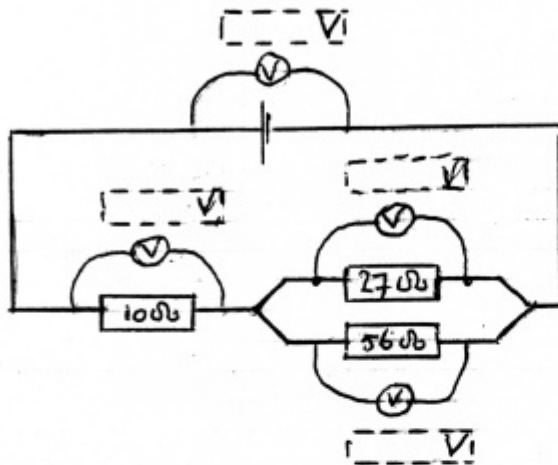
- 2) Meet met de multimeter de bronspanning en de spanning over iedere weerstand; noteer je resultaten op de juiste plaats in het waarnemingenblad.
- 3) Meet met de multimeter de stroomsterkte in iedere tak van de schakeling; noteer je resultaten op de juiste plaats in het waarnemingenblad.
- 4) Koppel de weerstanden los van de spanningsbron.  
Controleer met de multimeter de weerstandswaarde van ieder van de weerstanden;  
Meet de vervangingsweerstand van het parallelle deel uit de schakeling;  
Meet de vervangingsweerstand van de totale schakeling;  
Noteer je resultaten op de juiste plaats in het waarnemingenblad.

##### *Wetmatigheden zoeken*

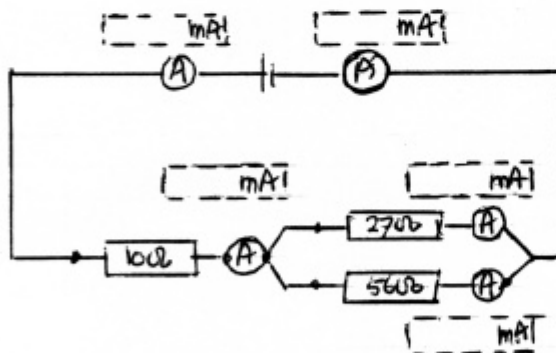
- 5) Formuleer twee regels waaruit blijkt hoe de gemeten waarden voor de spanning samenhangen.
- 6) Formuleer twee regels waaruit blijkt hoe de gevonden waarden voor de stroomsterkte samenhangen.
- 7) Ga na dat de *weerstandswet* (= de wet van ohm)  $R_i = U_i / I_i$  geldt voor ieder voorwerp in de schakeling

Waarnemingenblad: schakeling met drie weerstanden

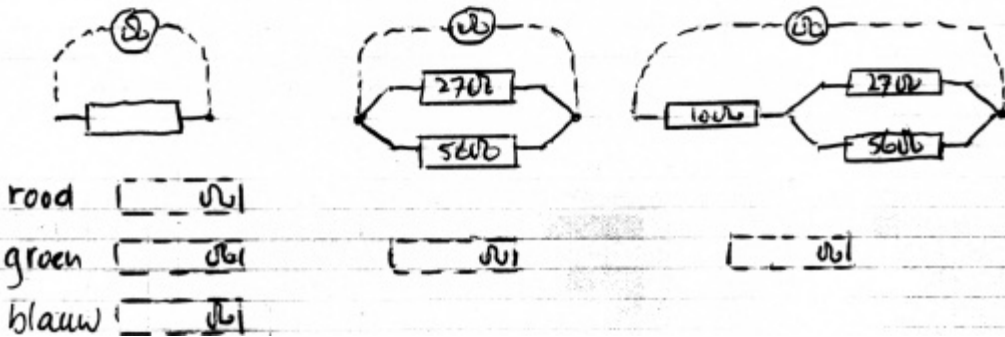
1. Bronspanning en spanning over de weerstanden



2. Stroomsterkte in alle takken



3. Weerstandswaarde en vervangingsweerstand



Figuur 3.2 Waarnemingenblad voor de schakeling met drie verschillende weerstanden

### **Basisregels en afgeleide regels**

Voor iedere elektrische schakeling met meer weerstanden gelden drie basisregels voor spanning, stroom en weerstand.

(1) *stroomregel*: behoud van elektronenstroom

-bij een weerstand  $I_{voor} = I_{na}$

-bij splitsen:  $I_{hoofdtak} = I_{deeltak1} + I_{deeltak2} + \dots$

-bij samengaan:  $I_{deeltak1} + I_{deeltak2} + \dots = I_{hoofdtak}$

(2) *spanningsregel*: behoud van energie

-voor iedere gesloten kring met daarin een bron  $U_{bron} = U_1 + U_2 + \dots$

-voor parallelle weerstanden in een kring geldt:  $U_1 = U_2 = \dots$

(3) *weerstandregel of wet van Ohm*:

-voor de schakeling als geheel:  $R_{123} = U_{bron} / I_{schakeling}$

-voor iedere weerstand  $i$  geldt:  $R_i = U_i / I_i$

8). Ga na in hoeverre jouw metingen (zie tabel) kloppen met deze drie basisregels voor elektrische schakelingen.

Voor elektrische schakelingen met weerstanden in serie of weerstanden parallel gelden twee afgeleide regels

(4) *vervangingsweerstand*

-parallelschakeling  $1/R_{123} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$

-serieschakeling  $R_{123} = R_1 + R_2 + \dots$

(5) *verhoudingstabellen voor stroomsplitsing en spanningsdeling*

-splitsen van stroom in een parallelschakeling

$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_{bron}$
$1/R_1$	$1/R_2$	$1/R_3$	$1/R_{123}$

-spanning in een serieschakeling

$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_{bron}$
$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_{123}$

9). Ga na in hoeverre jouw metingen kloppen met deze twee afgeleide regels voor elektrische schakelingen.

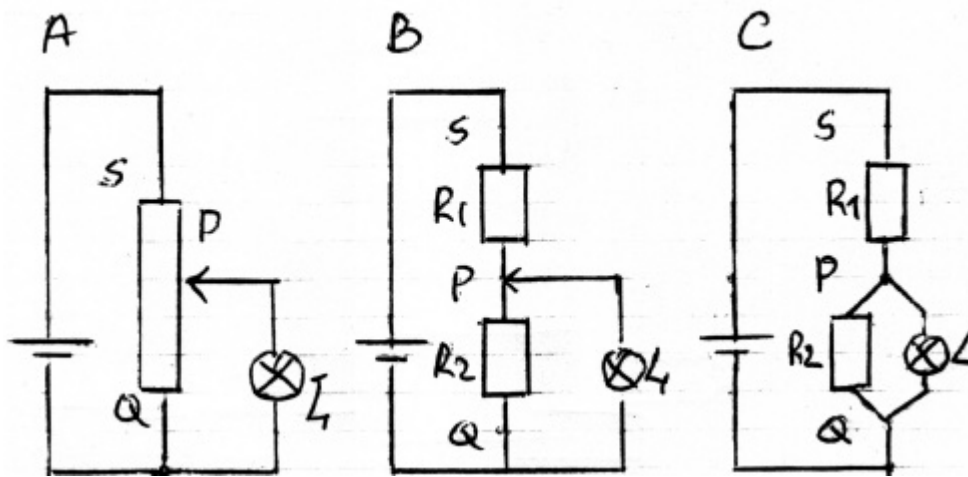


### 3.5 Toepassingsprobleem: De spanningsregelaar.

#### Inleiding

Bij geluids- en beeldapparatuur wil je het geluid of het beeld kunnen instellen, bijvoorbeeld het volume, de toonhoogte of de kleurinstelling. In een elektrische schakeling betekent dat het regelen van de grootte van de spanning over een weerstand. Dit kan door gebruik te maken van *regelbare weerstanden*. Er zijn regelbare weerstanden waarbij je de instelknop moet schuiven (*schuifweerstand*) en weerstanden waarbij je de instelknop kunt draaien (*draaiweerstand*). Als je een regelbare weerstand schakelt als *spanningsdeler* krijg je een regelbare spanningsbron met een minimumwaarde voor de spanning die gelijk is aan 0 V en een maximumwaarde voor de spanning die gelijk is aan de bronspanning.

Om de intensiteit van een lampje te kunnen regelen beschik je over een accu met  $U_{\text{bron}} = 12,0$  V en over een schuifweerstand  $R_{\text{schuif}} = 24$   $\Omega$ . De schuifweerstand heeft drie aansluitpunten: een contact S aan het begin van de weerstand, een contact Q aan het eind van de weerstand en het schuifcontact P in te stellen ergens tussen Q en S. (zie figuur 3.3A).



Figuur 3.3 spanningsdeler A B C

Voor deze spanningsdeler geldt dat de maximumspanning  $U_{PQ}$  is 12,0 V. Dan is P ingesteld op stand S. De minimumspanning  $U_{PQ}$  is 0,0 V. Dan is P ingesteld op stand Q.

Je krijgt een spanning  $U_{PQ}$  tussen 0 en 12 V als je P in een stand zet tussen S en Q. Het blijkt dat de spanning  $U_{PQ}$  verandert als je een lampje aansluit op PQ. Een het verandert weer als je er een ander lampje op aansluit.

Bijvoorbeeld: er geldt voor de regelbare weerstandstand met P op 0,75 van QS:

- $U_{PQ} = 9,00$  V zonder lampje
- $U_{PQ} = 6,54$  V met een lampje  $L_1$  (6,0 V; 0,50 A; 12,0  $\Omega$ )
- $U_{PQ} = 5,14$  V met een lampje  $L_2$  (6,0 V; 1,00 A; 6,0  $\Omega$ )

#### Vragen

- T1 Waarom hangt de spanning  $U_{PQ}$  met P in stand S of stand Q niet af van de weerstand van het lampje dat je op PQ aansluit?
- T2 Waarom hangt in andere standen de spanning  $U_{PQ}$  wel af van de weerstand van het lampje dat je op PQ aansluit?

Onderbouw je antwoord met een berekening waarin je uitrekent hoe  $U_{PQ}$  afhangt van de weerstand van het lampje voor de stand met P op 0,75 van QS.

### ***Aanwijzingen***

- 1 Beschouw de variabele weerstand als twee weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  in serie die beide veranderen, maar met een totale weerstand  $R_{\text{schuif}} = R_1 + R_2 = 24 \text{ Ohm}$  die niet verandert.
- 2 Realiseer je dat er sprake is van *spanningsdeling* tussen  $R_1$  en de *vervangingsweerstand* van de parallelschakeling van  $R_2$  en  $L$ ; en niet tussen de delen van de schuifweerstand  $R_1$  en  $R_2$ . (zie figuur 3.3 B en C)

Besteed tenminste tien minuten, maar niet meer dan twintig minuten aan deze opgave.

Noteer wat je hebt geprobeerd om het probleem op te lossen en neem dat mee.

In de volgende les gaan we bespreken hoe je dit probleem hebt aangepakt en hoe je zo nodig je aanpak kunt verbeteren..

### ***Delen (in groepjes van drie of vier leerlingen)***

- 1) De oplossing
  - a) Vergelijk in je groepje jouw oplossing met die van anderen.
  - b) Hoe weet je of een oplossing juist is of niet?
- 2) De aanpak

Vergelijk je aanpak met die van medeleerlingen door het beantwoorden van de volgende vragen.

  - a) Het komt nog al eens voor dat je aan het begin van een probleem of halverwege vastloopt.  
Was dat met dit probleem ook zo? Heb je tips om verder te komen?
  - b) Voor het verkennen van het probleem maakte je gebruik van de tekeningen van de schakeling in figuur 3. Wat bleek handig aan deze tekeningen?
  - c) Formules gelden voor de gehele schakeling en voor delen van de schakeling. Hoe wist je met welke formule je moest beginnen en met welk deel van de schakeling?
  - d) Bij het probleem zijn een aantal aanwijzingen gegeven.  
Welke aanwijzingen had je nodig? Waren er ook overbodige aanwijzingen?
- 3) Zorg dat ieder het resultaat van 2) kan rapporteren

### ***Uitwisselen (klassikaal)***

Op basis van observaties tijdens het werken in groepen bespreekt de docent kort het antwoord op de probleemstelling.

Mogelijke vervolgvragen zijn:

T3     Waarom kun je beter een spanningsdeler gebruiken dan een variabele weerstand in serie?

T4     In de elektrische huisinstallatie worden draaitransformatoren gebruikt als dimmer in plaats van spanningsdelers. Wat is het voordeel daarvan?

Daarna inventariseert de docent hoe het probleem is aangepakt door per groepje iemand aan te wijzen die het resultaat van 2) rapporteert.

De docent vat de inbreng van de leerlingen samen geordend naar:

- de situatie verkennen
- een aanpak bedenken

### 3.6 Afronding § 3 Serie- en parallelschakeling

<b>De paragraafvragen zijn</b>	
P1 Hoe meet en bereken je de spanning, stroom en weertand in een schakeling met meerdere weerstanden, lampjes of apparaten? P2 Met welke wetmatigheden die gelden voor serie- en parallelschakelingen kun je de veiligheidsmaatregelen in de elektrische huisinstallatie beter begrijpen?	
<b>Begrippen en wetmatigheden</b>	<b>Toelichting</b>
<p><i>Stroomregel:</i> behoud van elektronenstroom</p> -bij een weerstand $I_{voor} = I_{na}$ -bij splitsen $I_{hoofdtak} = I_{deeltak1} + I_{deeltak2} + \dots$ -bij samengaan: $I_{deeltak1} + I_{deeltak2} + \dots = I_{hoofdtak}$	
<p><i>Spanningsregel:</i> behoud van energie</p> -voor iedere gesloten kring met daarin een bron geldt $U_{bron} = U_1 + U_2 + \dots$ -voor parallelle weerstanden in een kring geldt: $U_1 = U_2 = \dots$	
<p><i>Weerstandsregel</i> of wet van Ohm:</p> -voor de schakeling als geheel: $R_{123} = U_{bron} / I_{schakeling}$ -voor iedere weerstand $i$ geldt: $R_i = U_i / I_i$	
<p><i>Afgeleide regel: vervangingsweerstand</i></p> -parallelschakeling $1/R_{123} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ -serieschakeling $R_{123} = R_1 + R_2 + R_3$	
<p><i>Afgeleide regel: stroomsplitsing en spanningsdeling</i></p> -splitsen van stroom in een parallelschakeling $\begin{matrix} I_1 & I_2 & I_3 & I_{bron} \\ 1/R_1 & 1/R_2 & 1/R_3 & 1/R_{123} \end{matrix}$ -dalen van spanning in een serieschakeling $\begin{matrix} U_1 & U_2 & U_3 & U_{bron} \\ R_1 & R_2 & R_3 & R_{123} \end{matrix}$	
<b>Jouw antwoord op de paragraafvragen</b>	
<b>Jouw vragen die (nog) niet beantwoord zijn:</b>	

### 3.7 Uitwerkingen van opgaven

#### 6. Serieschakeling van drie weerstanden

$$R_v = 63 + 18 + 35 = 116 \text{ O}$$

$$I = U/R = 9,0/116 = 0,078 \text{ A}$$

$$\text{over } 63 \text{ O: } U = 0,078 \cdot 63 = 4,9 \text{ V ,}$$

$$\text{over } 18 \text{ O: } U = 0,078 \cdot 18 = 1,4 \text{ V,}$$

$$\text{over } 35 \text{ O: } U = 0,078 \cdot 35 = 2,7 \text{ V}$$

(samen is het 9,0 V)

#### 7. Parallelschakeling van drie weerstanden

$$1/R_v = 1/63 + 1/18 + 1/35 \Rightarrow R_v = 630/(10+35+18) = 10 \text{ O}$$

(of rekenmachine met de 1/x-toets)

$$I = 9,0 / 10 = 0,90 \text{ A}$$

$$\text{In } 63 \text{ O: } I = 9,0/63 = 0,14 \text{ A}$$

$$\text{in } 18 \text{ O: } I = 9,0/18 = 0,50 \text{ A}$$

$$\text{in } 35 \text{ O: } I = 9,0/35 = 0,26 \text{ A}$$

(samen is het 0,90 A)

#### 8. \*Serieschakeling van twee weerstanden

Met spanningsdeling:  $R_2 / 1,8 = 4,0 / 6,0$  dus  $R_2 = 1,2 \text{ kO}$

Of met  $R = U / I$

$$\text{In } R_1: I = U / R = 6,0/1,8 = 3,33 \text{ mA}$$

$$\text{In } R_2: R = U / I = 4,0/3,3 = 1,2 \text{ kO}$$

#### 9. \*Parallelschakeling van twee weerstanden

Vervangingsweerstand:  $1/220 + 1/R_2 = 1/134$  dus  $R_2 = 343 \text{ O}$

#### 10. Spanningsdeler

a. Met spanningsdeling:  $U = 9,0 \cdot 10 / (10 + 20) = 3,0 \text{ V}$

Met  $R = U / I$ :

$$I = U/R = 9,0/30 = 0,3 \text{ mA}$$

$$U_1 = I_1 R_1 = 0,30 \cdot 20 = 6,0 \text{ V}$$

$$U_2 = I_2 R_2 = 0,30 \cdot 10 = 3,0 \text{ V}$$

b. De stroomsterkte door de weerstand van 10 kO neemt af: de spanning tussen P en Q neemt af.

c. bij 0 O: 9,0 V

$$\text{bij } 30 \text{ kO: } 9,0 \cdot 10/40 = 2,25 \text{ V}$$

$$\text{dus } 2,25 < V(\text{PQ}) < 9,0 \text{ V}$$

### 11. \*Regelbare weerstand en spanningsdeler

- a. De weerstand van de lamp is 12 Ω, voor de halve spanning moet de schuifweerstand 12 Ω zijn.
- b. De lamp van 12 Ω staat parallel aan 15 Ω, hun vervangingsweerstand is 6,7 Ω. Met de andere 15 Ω is de totale weerstand in de kring 21,7 Ω. Door de spanningsdeling is de spanning over het lampje  $12 \cdot 6,7 / 21,7 = 3,7 \text{ V}$ . De stroom heeft zich vertakt en een deel gaat door de schuifweerstand en niet door het lampje. Het deel van de schuifweerstand dat parallel aan het lampje staat moet dus groter worden.
- c. De vervangingsweerstand van 12 en 22 Ω is 7,8 Ω. Afgerond is dat 8 Ω en met de 80 van het onvertakte deel is de spanning weer de helft geworden.

### 12. Mistachterlamp

In serie, want dan alleen gaat het controlelampje uit als de mistachterlamp kapot is.

### 13. Kerstboomverlichting

- a.  $230 / 10 = 23$
- b.  $U = 230 / 22 = 10,5 \text{ V}$  en  $I = 0,020 \cdot 23 / 22 = 0,021 \text{ A}$ .

### 14. \*Gemengde schakeling (1)

- a.  $R_1$  en  $R_2$  kun je vervangen door  $R_{12}$ , er ontstaat een serieschakeling.
- b.  $1/R_{12} = 1/20 + 1/30 \Rightarrow R_{12} = 12 \text{ Ω}$
- c. De hoofdstroom is  $I = 9,0 / 62 = 0,145 \text{ A}$ .  
De spanning over de 50 Ω is  $U = 0,145 \cdot 50 = 7,26 \text{ V}$ .  
De spanning over de 20 en 30 Ω is  $9,0 - 7,26 = 1,74 \text{ V}$ .  
De stroomsterkte door 50 Ω is 0,145 A.  
De stroomsterkte door 20 Ω is  $1,74/20 = 0,087 \text{ A}$ .  
De stroomsterkte door 30 Ω is  $1,74/30 = 0,058 \text{ A}$   
(bij vroegtijdig afronden kunnen verschillen optreden)

### 15. Gemengde schakeling (2)

- a. De 20 Ω en 30 Ω kun je eerst vervangen door 50 Ω. Er is dan een parallelschakeling ontstaan.
- b. 50 Ω en 50 Ω parallel, deze zijn te vervangen door 25 Ω.
- c. De hoofdstroom is  $12 / 25 = 0,48 \text{ A}$ . Door elke weerstand gaat dus 0,24 A (twee gelijke takken).  
De spanning over de weerstand van 50 Ω is 12 V.  
Over 20 Ω is de spanning  $0,24 \cdot 20 = 4,8 \text{ V}$   
en over 30 Ω is de spanning 7,2 V.

### 16. \*Lampspanning

De stroomsterkte door beide is gelijk, de spanning is samen 9,0 V. Aflezen op een horizontale lijn bij 0,17 A :  $2,1 + 6,9 = 9,0 \text{ V}$ . De stroomsterkte is 0,17 A (met een afwijking van 0,02).

