

Elektriciteit voor Dummies

**De wondere wereld
van de elektriciteit volgens Jacobs**

Deel 1

Basiselektriciteit

INHOUDSOPGAVE

1. MOLECULE - ATOOM	4
Molecule:	4
Atoom:	4
2. ELEKTRISCH GELADEN DEELTJE	5
3. VRIJ ELEKTRON	5
4. ELEKTRISCHE STROOM	6
5. MATERIAALINDELING	6
Geleiders:	6
Niet-geleiders:	6
Half-geleiders:	7
Indeling van gekende materialen:	7
6. ELEKTRISCHE STROOMKRING	8
Waterkring:	8
Elektrische stroomkring:	9
Werking van de stroomkring:	9
7. ELEKTRISCHE STROOMZIN	10
8. ENKELE BEGRIPPEN	12
Kracht (F)	12
Arbeid (W)	12
Vermogen (P)	12
Lading (Q)	13
Stroom (A) -Wet van Faraday	13
Praktische eenheid van hoeveelheid elektriciteit (lading)	14
Elektrische spanning (U)	14
Weerstand (R) -Wet van Ohm	14
9. AFGELEIDE FORMULES	15

10. VEELVOUDEN	15
11. OEFENINGEN	16
Reeks 1	16
Reeks 2	17
Reeks 3	18
Reeks 4	19
12. GELEIDERS EN WEERSTAND	21
Stroomdichtheid	22
Invloed van de temperatuur	23
PTC - NTC	24
Oefeningen -soortelijke weerstand	25
13. SCHAKELN VAN WEERSTANDEN -PARALLELSCHAKELING	26
Stroomwet van Kirchhoff	26
Oefeningen –parallelschakeling	28
14. SCHAKELN VAN WEERSTANDEN -SERIESCHAKELING	29
Spanningswet van Kirchhoff	29
Oefeningen –serieschakeling	31
15. SCHAKELN VAN WEERSTANDEN -GEMENGDE SCHAKELING	32
Algemene oplossingsmethode	33
Alternatieve notatie	35
Oefeningen -gemengde schakelingen	36
16. SCHAKELN VAN WEERSTANDEN -THEOREMA'S	37
Het theorema van Thévenin	37
Het theorema van Norton	39
Oefeningen theorema's Thévenin en Norton	41
Extra oefeningen	42

1. Molecule – atoom

Molecule:

Alle stoffen (materialen) zijn samengesteld uit *moleculen*. Door een stukje materiaal steeds maar in kleinere deeltjes te verdelen zal er uiteindelijk een deeltje overblijven dat nog alle eigenschappen (kleur, hardheid, mechanische en elektrische eigenschappen, etc....) van dat materiaal bezit. Dit is een *molecule*.

Noot: Bij nog verdere verdeling krijg je nog kleinere deeltjes met verschillende eigenschappen.

Een molecule is samengesteld uit minstens 2 (meestal meer) *atomen* zoals bijvoorbeeld water: H_2O . Water is samengesteld uit 2 deeltjes waterstof (H) en 1 deeltje zuurstof (O). De formule H_2O noemt men de scheikundige formule.

Atoom:

De atomen die de molecule samenstellen zijn de bouwelementen van onze wereld. De elementen zijn gerangschikt volgens atoomnummer in de tabel van Mendeljev. Hierin worden de elementen oa. opgedeeld in metalen en niet-metalen.

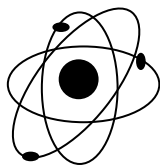
	1																	18
	1a																	0
1	1 H	2 He											13 B	14 C	15 N	16 O	17 F	18 Ne
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg	3 Al	4 Si	5 P	6 S	7 Cl	8 Ar					13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	(43) Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	**	(104) Rf	(105) Db	(106) Sg	(107) Bh	(108) Hs	(109) Mt	(110) Ds	(111) Rg	(112) Cn	(113) Uut	(114) Uuq	(115) Uup	(116) Uuh	(117) Uus	(118) Uuo
*Lanthaniden	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	(61) Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
**Actiniden	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	(93) Np	(94) Pu	(95) Am	(96) Cm	(97) Bk	(98) Cf	(99) Es	(100) Fm	(101) Md	(102) No	(103) Lr			
Chemische reeksen van het Periodiek Systeem																		
Alkalimetalen			Aardalkalimetalen			Overgangsmetalen			Hoofdgroepmetalen			Metalloïden						
Niet-metalen			Halogenen			Edelgassen			Lanthaniden			Actiniden						

(tabelbron: Internet http://nl.wikipedia.org/wiki/Periodiek_systeem)

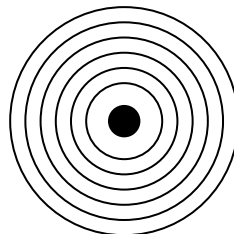
Zie ook <http://www.periodicvideos.com/#> in het Engels met uitleg over de elementen

De atomen hebben een kern en rond die kern draaien *elektronen*, tegen een snelheid van zo'n 2000km/u, elk op hun baan. In de kern zitten er, onder andere, *protonen* en *neutronen*.

De protonen hebben een *positieve elektrische lading* en de neutronen zijn *neutraal* (hebben geen lading). De elektronen hebben een *negatieve elektrische lading*. Een atoom is elektrisch neutraal (in evenwicht) als het evenveel elektronen en protonen heeft, als het evenveel negatieve en positieve ladingen heeft.



*Een voorstelling
van het atoom*



*Een kern met de
energieschillen*

De elektronen bewegen zich op zogenaamde *energieschillen* rond de kern. Vanaf de kern te beginnen: K- schil: 2 e^- ; L- schil: 8 e^- ; M- schil: 18 e^- ; N- schil: 32 e^- ; O- schil: 18 e^- ; P- schil: 8 e^- ; Q- schil: ? e^- .

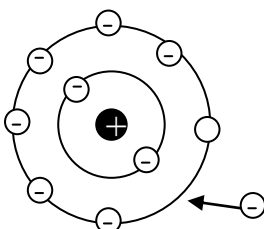
Noot: de notatie e^- gebruiken we als verkorte benaming voor elektronen.

Het *atoomnummer* geeft het aantal protonen en elektronen weer van het atoom. De schil het dichtst bij de kern wordt eerst gevuld, daarna worden de volgende schillen aangevuld. Voorbeeld: een element met nummer 26 (ijzer, FE) heeft 26 elektronen: 2 op de K-schil, 8 op de L-schil, 16 op de M-schil (waar er plaats is voor 18 e^-).

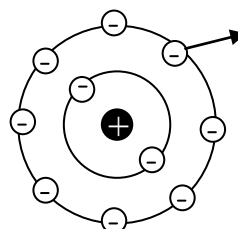
Noot: De elektronen zullen steeds de plaatsen het dichtst bij de kern innemen. Een elektron dat onder bepaalde omstandigheden van een “hogere” schil naar een “lagere” springt zal energie uitstralen onder de vorm van licht. Dit verschijnsel wordt bijvoorbeeld gebruikt in de zogenaamde TL-buislampen en in spaarlampen die eigenlijk compacte buislampen zijn.

2. Elektrisch geladen deeltje

Als we aan een elektrisch neutraal atoom een elektron toevoegen of één ervan wegnemen wordt dit een *ion*.



toevoegen elektron:
negatief ion



wegnemen elektron:
positief ion

3. Vrij elektron

Als een elektron zich losmaakt van het atoom (dit kan door verwarming, wrijving, bestraling, botsing,...) dan noemt men dit een *vrij elektron*. Het kan op een baan rond een naburig atoom springen waar het dan weer een ander elektron kan “aanstoten” zodat het nieuwe elektron zich weer gaat verplaatsen. Dit verschijnsel werkt zoals het knikkereffect, een botsing met de eerste knikker in een rijtje zorgt voor het wegspringen van de laatste in de rij.

4. Elektrische stroom

Als men ervoor zorgt dat de elektronen zich in een bepaalde richting gaan verplaatsen dan wordt dit een *elektrische stroom* genoemd.

Definitie: ***Een elektrische stroom is een beweging van elektrische ladingen, in het bijzonder een verplaatsing van elektronen.***

De elektronen die samen de elektrische stroom vormen noemen we “vrije elektronen”.

5. Materiaalindeling

Voor elektrische (en elektronische) toepassingen worden de materialen ingedeeld volgens hun *elektrische eigenschappen*. We spreken van *geleiders*, *niet-geleiders* en *halfgeleiders*. Let echter wel op want die benamingen geven niet aan wat ze doen vermoeden volgens de normale spreektaal!

Geleiders:

De elektronen van het atoom bewegen zich zoals reeds gezegd op ellipsvormige banen rond de kern. Deze banen bevinden zich op verschillende afstanden van de kern, volgens de energieschillen of energieniveaus (zie figuur atoom). Een elektron dat zich op de buitenste schil bevindt zal gemakkelijk vrijgegeven worden. Stoffen die “gemakkelijk” zo een elektron vrijgeven noemt men *geleiders*. De elektronen worden echter door de kern aangetrokken zodat de elektronen steeds weerstand zullen bieden wanneer ze van hun kern worden weggerukt. Deze weerstand kan groot of klein zijn, we spreken dan respectievelijk van *goede geleiders* en van *weerstandsmaterialen*. De geleiders zijn meestal *metalen*. Geleiders hebben veel vrije elektronen.

Niet-geleiders:

Stoffen waarvan de elektronen zeer moeilijk van hun atoom worden losgemaakt noemen we niet-geleiders of *isolatoren*. Onder normale omstandigheden geleiden deze materialen de stroom niet. De ideale isolator bestaat niet, er zal altijd wel ergens een vrij elektron aanwezig zijn, zodat een zeer klein elektrisch stroompje kan vloeien als er *potentiaalverschil* is (zie verder).

Half-geleiders:

Deze materialen worden voornamelijk in de *elektronica* gebruikt. Dit zijn stoffen die *slechte geleidende eigenschappen* bezitten, ze situeren zich ergens tussen de geleiders en de isolatoren. Meestal hebben ze een *kristalstructuur* (de atomen bevinden zich onderling op dezelfde afstanden) en worden ze slechts geleidend bij hogere temperaturen.

Door vreemde scheikundige materialen of verbindingen in de stoffen te brengen (doperen) kan men de geleidende eigenschappen beïnvloeden. Zo ontstaan materialen die gebruikt worden in de elektronica voor diodes, transistoren en IC's.

Indeling van gekende materialen:

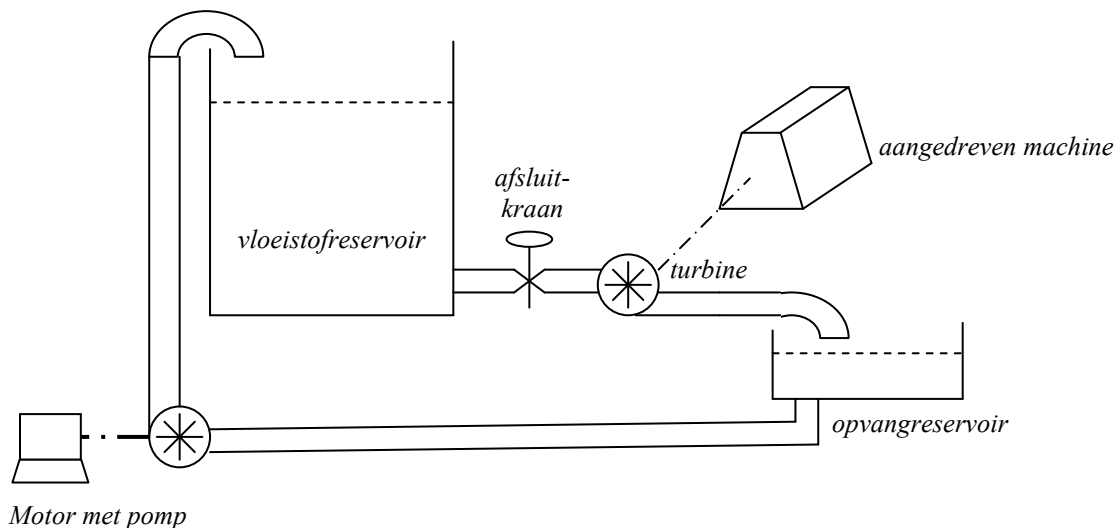
Goede geleiders	Weerstandsmaterialen	Isolatiestoffen
Aluminium	Chroomnikkel	Bakeliet
Chroom	Constantaan	Droge lucht
Goud	Manganine	Eboniet
Koper	Nikkeline	Fiber
Lood	IJzer-nikkel	Glas
Nikkel	Wolfraam	Katoen
Platina	...	Kwarts
Tin	...	Mica
IJzer		Olie
Zilver		Papier
Zink		Porcelein
...		Rubber
...		Steatiet
		Zijde
		Zuiver water
		...
		...

Ken je zelf nog materialen die niet in de tabel staan, dan kan je hun elektrische eigenschappen opzoeken om ze in de tabel bij te plaatsen.

6. Elektrische stroomkring

Om de werking van een *stroomkring* duidelijk te maken vergelijken we met andere systemen. Een geschikt systeem is de waterkring.

Waterkring:



In het vloeistofreservoir zorgt een bepaalde hoogte vloeistof ervoor dat via de afsluitkraan de turbine wordt aangedreven (zoals in een stuwdam).

De turbine kan gebruikt worden om machines aan te drijven. Hoe groter het hoogteverschil, hoe meer druk het water uitoefent op de turbine en hoe meer kracht deze kan leveren aan de machine(s).

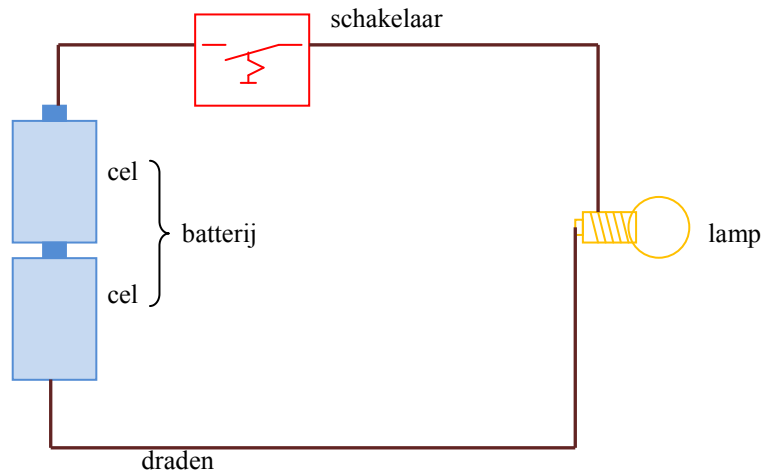
Een pomp zorgt ervoor dat de vloeistof teruggepompt wordt naar het vloeistofreservoir om zo het hoogteverschil te behouden. (Bij een stuwdam is dit de rivier die de neerslag onder de vorm van regen, sneeuw,...verzamelt.)

Functie van de onderdelen:

Pomp:	zorgt voor het constante hoogteverschil van de vloeistof
Motor:	drijft de pomp aan en heeft hiervoor energie nodig (brandstof)
Vloeistofreservoir:	hierin komt de opgepompte vloeistof, het constante hoogteverschil zorgt voor een constante druk van de vloeistof naar de turbine
Afsluitkraan:	laat toe om de vloeistof te laten stromen of af te sluiten
Turbine:	vormt de beweging van de vloeistof om in een "bruikbare" energie voor de gebruikers (aangesloten machine)
Vloeistof:	de verplaatsing van de vloeistof wordt gebruikt in de turbine om energie om te zetten = energietransport
Buizen:	deze brengen de vloeistof waar ze nodig is

Opmerking: de vloeistofkring vertoont geen lekken en is dus volledig gesloten.

Elektrische stroomkring:



Onderdelen:

Batterij: levert energie aan de kring. Hoe meer cellen in de batterij, hoe groter de *elektronendruk* aan de klemmen

Draden: deze “vervoeren” de elektronen in de kring

Schakelaar: zorgt ervoor dat de elektronen al dan niet kunnen stromen in de kring

Lamp: de *energieomzetter*: de elektronenstroom wordt omgezet in licht en warmte

Opmerking: de stroomkring vertoont geen elektronenlekken en is dus volledig gesloten.

Werking van de stroomkring:

In de batterij is een hoeveelheid scheikundige verbindingen opgeslagen. Door de *chemische reactie* zal er aan de polen van de batterij een concentratie van ladingen ontstaan: aan de min-pool zijn er *teveel elektronen* en aan de plus-pool *teveel positieve* ladingen (lees: te weinig negatieve ladingen, dus te weinig elektronen).

In de batterij zal door de aanwezige scheikundige stof een overschot aan elektronen aan de min-pool en een tekort van elektronen aan de plus-pool worden gevormd.

Naargelang de samenstelling van de batterij (aantal cellen) krijgen de elektronen aan de min-pool een grotere drang om buitenom de batterij naar de andere pool te stromen. Dit noemt men het *potentiaal* van de elektronen.

Door het verbinden van de geleiders (vgl. buizen), met de schakelaar (vgl. kraan) en de lamp (vgl. turbine) wordt er een geleidende weg opengesteld voor de elektronen. Het *teveel* aan elektronen aan één kant van de bron zal het *tekort* aan elektronen aan de andere kant aanvullen.

De geleiders vormen met hun vrije elektronen de “weg” tussen de twee polen van de batterij.

In deze weg is de lamp geschakeld. Deze lamp vormt *weerstand* tegen de doorgang van de elektronenstroom. Tengevolge hiervan zal de weerstand in de lamp, dit is de *gloeidraad*, opwarmen tot een zo hoge temperatuur dat hij licht afgeeft. Het lampje zal dus *licht én warmte* afgeven.

Naarmate de weerstand die het lampje biedt aan de *stroomdoorgang* groot of klein is zal de hoeveelheid elektronen die erdoor stroomt ook klein of groot zijn.

Is de tegenstand tegen stroomdoorgang klein (kleine weerstand), dan zal de elektronenstroom “groot” zijn.

Ondervindt de elektronenstroom veel tegenstand (grote weerstand) dan zullen er “weinig” elektronen stromen in de kring.

We kunnen dus al enkele begrippen definiëren:

Potentiaalverschil: de drang van de elektronen om naar de andere pool van de batterij te stromen.

Weerstand: de grootte van tegenstand die een geleider of een verbruiker biedt aan de stroomdoorgang.

7. Elektrische stroomzin

Tot hertoe hebben we gesproken over een *elektronenstroom*. Dit is de verplaatsing van *negatief* geladen deeltjes (de elektronen) in de stroomkring. Deze elektronen stromen van de min-pool (-) naar de plus-pool (+) van de batterij.

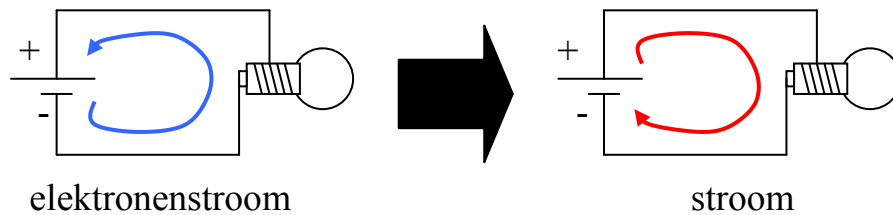
Even terug in de geschiedenis:

De pioniers van de elektriciteit zoals de heren Hertz (1857-1894), Volta (1745-1827), Ampère (1775-1836), Faraday (1791-1867), Henry (1797-1878), Leclanché (1839-1882) en vele anderen, dachten dat elektrische stroom bestond uit positieve ladingen.

Veel later werd er echter vastgesteld dat stroom bestaat uit *elektronenverplaatsingen*, dus een verplaatsing van negatieve lading.

Ondertussen waren echter reeds zoveel elektrische begrippen gebaseerd op de toen bedachte stroom van positieve ladingen, dat men het begrip *conventionele stroom* invoerde voor de (fictieve) stroom van + naar – en de andere stroom (eigenlijk de echte) de *elektronenstroom* noemt.

Als we van stroom spreken, dan bedoelen we daarmee de *conventionele stroom* die vloeit van de + pool naar de – pool van de bronnen.



Opmerkingen:

- Om elektrische stroom te laten vloeien in een kring moet de stroom *buiten* de bron van de positieve naar de negatieve klem kunnen vloeien doorheen geleidende materialen. We hebben dan een “*gesloten stroomkring*”, we gebruiken ook de uitdrukking “*gesloten keten*”.
- De gesloten stroomkring bestaat uit minimum
 - een *bron*,
 - een *verbruiker* en
 - geleiders* die de onderdelen elektrisch verbinden.
- Een elektrische *bron* kan uit scheikundige elementen zijn samengesteld om een spanning op de aansluitklemmen te creëren. Als de scheikundige stoffen zijn uitgewerkt levert de cel geen spanning (of elektrische energie) meer. In veel gevallen worden elektronische/elektrische voedingen gebruikt die hun energie uit het stopcontact halen en een geschikte spanning leveren.
- Een *verbruiker* zal geen elektronen verbruiken, enkel de *energie van de elektronen* wordt omgezet in een *andere soort van energie*. (bv. elektrische energie → warmte energie)
- Een *geleider* biedt *weinig weerstand* tegen de stroomdoorgang, een verbruiker zoals (de gloeidraad van) het lampje zal (veel) *meer weerstand* bieden en bijgevolg zullen er ook verschijnselen optreden zoals het *opwarmen van de gloeidraad*.

8. Enkele begrippen

Kracht (F)

Een kracht die we uitoefenen op een lichaam zal de toestand van rust of beweging van dat lichaam wijzigen. (wet uit de mechanica)

Duwen we tegen een karretje dan zal dit vanuit de rusttoestand (stilstand) in beweging komen. Blijven we steeds met *even grote kracht* duwen dan zal het karretje steeds sneller en sneller gaan. Is het karretje licht (kleine massa) dan zal het vlug een hoge snelheid bekomen. Bij een zwaar karretje zal er slechts langzaam een hogere snelheid ontstaan. (vgl. sportwagen en vrachtwagen).

In de mechanica kennen we de formule:

$$F = m \times a$$

waarin **F** de kracht is in Newton,
m de massa van het voorwerp in kg en
a de versnelling in m/s².

Het uitoefenen van een kracht kan ook een *vertraging van een massa* in beweging tot gevolg hebben. Als de kracht *tegen de bewegingsrichting in* is uitgeoefend zal het voorwerp worden afgeremd tot stilstand en (bij blijvende kracht) in de tegenovergestelde richting (achteruit) beginnen bewegen.

De aarde oefent continu een aantrekkingskracht uit op alle voorwerpen volgens de formule $F = m \times g$. De letter *g* stelt dan de *aardversnelling* voor en bedraagt ongeveer 9,81m/s².

** Opdracht: zoek op: het begrip “gewicht” en het begrip “massa”.*

Arbeid (W)

Met een kracht verricht ik arbeid als er een verplaatsing van het voorwerp ontstaat.
 De volgende formule wordt dan gebruikt:

$$W = F \times s$$

hierin is **W** de arbeid in Joule,
 de kracht **F** uitgedrukt in Newton en
s de afgelegde weg in meter.

Verplaats ik met een kracht van 1 N een voorwerp over een afstand van 1 meter, dan heb ik een arbeid van 1 Joule verricht.

Vermogen (P)

Als je een arbeid verricht dan kan je dat “karwei” klaren in een hele dag of je kan dat zeer vlug doen. Een hoop zand kan je bijvoorbeeld 10 meter verplaatsen in een tijd van 5 uur of je kan diezelfde hoop verplaatsen in enkele minuten (of seconden). In het eerste geval kan ik dat zeer rustig doen met schop en emmer, in het tweede geval moet ik vele mensen met schoppen en emmers inschakelen.

→ In een lange tijd kan je met een klein vermogen een bepaalde arbeid verrichten, in een korte tijd heb je een groot vermogen nodig om diezelfde arbeid te verrichten.

Het vermogen is de geleverde arbeid per tijdseenheid, of de geleverde arbeid per seconde.

In een formule:

$$P = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}} = \frac{W}{t}$$

Hierin is P het vermogen uitgedrukt in Joule per seconde of Watt (W).

Omdat praktisch zal blijken dat de eenheid klein is, worden veelvoudens ook gebruikt: 1 kW = 1000 W en 1 MW = 1000 kW.

Lading (Q)

Hiervoor spraken we reeds over de positief geladen protonen van de kern van een atoom en de negatief geladen elektronen die rond de kern draaien.

De grootte van de lading van een elektron definiëren we als de *eenheidslading*.

We kunnen de elektronenstroom die in een gesloten elektrische keten vloeit aangeven als een verplaatsing van een *hoeveelheid lading*.

Een elektron is zeer klein. Bijgevolg is de lading die een elektron heeft ook zeer klein. Om gemakkelijk met andere eenheden te kunnen werken stellen we dat de *eenheid van lading* de *Coulomb* is en de waarde van 1 Coulomb overeenstemt met de lading van $6,3 \times 10^{18}$ elektronen (1C = 6300 000 000 000 000 000 e⁻).

Stroom (A) -Wet van Faraday

Hiermee geven we aan hoeveel elektronen er door de geleiders of verbruiker stromen per seconde.

De stroomsterkte geeft aan hoe groot de hoeveelheid lading is die er verplaatst wordt per seconde.

Stroom en lading is gecombineerd in de wet van Faraday:

$$Q = I \times t$$

Hierin is Q de hoeveelheid lading in Coulomb,

I de stroomsterkte in Ampère en

t de tijd in seconden.

Naarmate een elektrisch toestel (een elektrische verbruiker) langer is ingeschakeld, zal de verplaatste hoeveelheid lading groter zijn.

Een lamp waardoor een hoeveelheid lading van 486C stroomt in een tijdspanne van een half uur zal een stroomsterkte

$$I = Q / t = 486 / (0,5 \times 3600) = 0,26 \text{ A voeren.} \quad (1 \text{ uur} = 3600 \text{ s})$$

Praktische eenheid van hoeveelheid elektriciteit (lading)

Vloeit er gedurende 4 uur een stroom van 10A doorheen een toestel dan is er een hoeveelheid lading $Q = I \times t = 10 \times 4 \times 3600 = 144000 \text{ C}$ verplaatst.

Je merkt dat met grotere stromen en langere tijden de hoeveelheid lading moet uitgedrukt worden met zeer grote getallen.

Nemen we als tijdseenheid niet meer de seconde, maar de *tijd van 1 uur*, dan is de verplaatste lading van hiervoor: $Q = I \times t = 10 \times 4 = 40$ eenheden.

De eenheid wordt dan niet meer in As (de Coulomb) maar in Ah uitgedrukt, dus $Q = 40 \text{ Ah}$. Deze eenheid wordt vooral gebruikt om de *capaciteit* (sterkte) van een bron (batterij of accu) aan te geven.

Elektrische spanning (U)

Voordien hebben we over het potentiaalverschil gesproken dat de elektronen er toe aanzette tot het verplaatsen van waar er “teveel” ladingen zijn naar waar er “te weinig” elektronen zijn. Deze druk of stuwkracht noemen we *elektrische spanning*. *De vereffeningdrang tussen twee verschillend geladen lichamen (= met een verschillend potentiaal) noemen we potentiaalverschil of elektrische spanning.*

Een spanning van 1 Volt bestaat tussen 2 punten van een geleider als voor het verplaatsen van 1 Coulomb een elektrische energie nodig is van 1 Joule.

$$U = W/Q$$

Hierin is W de elektrische energie in Joule,
Q de verplaatste lading en
U de spanning in Volt

Andere vorm van de definitie: een spanning van 1 Volt bestaat tussen 2 punten van een geleider als in de geleider een constante stroom van 1 Ampère vloeit en er daarbij een vermogen van 1 Watt wordt ontwikkeld.

$$U = P/I$$

Hierin is P het vermogen in Watt en
I de stroomsterkte in Ampère.

Weerstand (R) -Wet van Ohm

De tegenstand die een materiaal biedt aan de doorgang van de elektrische stroom is de weerstand.

Als tussen twee punten van een geleidend materiaal een spanning van 1 Volt staat en er vloeit een stroomsterkte van 1 Ampère, dan heeft het stukje geleider een weerstand van 1 Ohm.

$$R = U/I$$

Dit is de Wet van Ohm.

Hoe meer tegenstand een materiaal biedt aan de stroomdoorgang, hoe groter de weerstandswaarde van dat materiaal. Als we de spanning verhogen over een weerstand zal de stroomsterkte evenredig stijgen.

9. Afgeleide formules

1° vorm	2° vorm	3° vorm
$F = m \times a$	$m =$	$a =$
$W = F \times s$	$F =$	$s =$
$P = W / t$	$W =$	$t =$
$Q = I \times t$	$I =$	$t =$
$U = W / Q$	$W =$	$Q =$
$U = P / I$	$P =$	$I =$
$R = U / I$	$U =$	$I =$

10. Veelvouden

Omdat een eenheid soms te klein of veel te groot is om een hoeveelheid aan te geven gebruiken we veelvouden:

Waarde		macht van 10	symbool	benaming
1 000 000 000 000	Eenheden	10^{12}	T	tera
1 000 000 000	Eenheden	10^9	G	giga
1 000 000	Eenheden	10^6	M	mega
1 000	Eenheden	10^3	k	kilo
1	Eenheid	10^0	eenheid	
0,001	= een duizendste	10^{-3}	m	milli
0,000 001	= een miljoenste	10^{-6}	μ	micro
0,000 000 001	= een miljardste	10^{-9}	n	nano
0,000 000 000 001	= een triljoenste	10^{-12}	p	pico

11. Oefeningen

Reeks 1

Afspraak: resultaten zijn altijd 4 beduidende cijfers nauwkeurig.

1. Een sportwagen van 1500kg wordt door zijn motor versneld met 3m/s^2 . Welke kracht wordt er op de wagen uitgeoefend?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

2. Een aanhangwagen van een vrachtwagen wordt versneld met een kracht van 3000N. Als de aanhangwagen een massa heeft van 10ton, hoe groot is dan de versnelling?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

3. Welke kracht ondergaat een touw waaraan een zak aardappelen van 25kg hangt?

Tip: gebruik de aardversnelling.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

4. Hoeveel arbeid levert een arbeider die een kracht van 1000 N uitoefent op een gewicht en het verplaatst over een afstand van 15 meter in de richting van de kracht?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

5. Op een werf levert een tractor een arbeid van 280kJ om een aanhanger over een afstand van 35m te verplaatsen. Hoeveel gewicht ligt er op de aanhanger als deze zelf een massa van 115kg heeft?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

Reeks 2

1. Met een lift worden 2 personen die elk 70kg wegen 4 verdiepingen hoger gebracht. De liftmotor levert een arbeid van 17580J. Hoe hoog is een verdieping?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

2. Hoeveel arbeid heeft een machine met een vermogen van 2kW geleverd als ze gedurende 8u werkt?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

3. We kopen een nieuwe machine aan , ter vervanging van (2). Dezelfde arbeid moet nu op 3u gedaan worden. Welk vermogen moet de nieuwe machine hebben?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

4. In een stroomkring vloeit er gedurende 20 minuten een stroomsterkte van 4 A. Welke lading is er verplaatst uitgedrukt in Coulomb en in Ah?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

5. Een autobatterij van 36Ah is volledig leeg. We laden de batterij op met een stroomsterkte van 3,5A. Als we weten dat er 20% van de lading verloren gaat door oa. opwarming van de batterij gedurende het laden, hoe lang, in uren, minuten en seconden, moeten we dan laden? (we moeten dus een lading van 120% leveren aan de batterij)

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

Reeks 3

1. Op een lamp staat 60W 230V. Welke stroomsterkte vloeit er als ik de lamp aansluit op het stopcontact? Bereken ook de weerstandswaarde van de gloeidraad.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

2. Een soldeerbout van 100W wordt gedurende 1,5 uur gebruikt. Welke lading is er verplaatst als de voedingspanning 230V is?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

3. Op een autobatterij staat: 48Ah. Hoelang kan ik de verlichting van de auto die bestaat uit 2 lampjes van 15W en 2 lampjes van 10W laten branden met een volle batterij als deze een spanning van 12V heeft?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

4. Een weerstand van 6Ω wordt aangesloten op een batterij die 24V levert. Hoe groot is de stroomsterkte? Bereken ook het vermogen dat in de weerstand wordt omgezet in warmte en de lading in Ah die verplaatst is op 12u.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

5. Op een elektrisch verwarmingselement staat 230V, 2000W. Hoe groot is de weerstandswaarde ervan? Welke stroom neemt het element op als het aangesloten wordt op het stopcontact?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

Reeks 4

1. Een centrale van 300MW levert energie aan het hoogspanningsnet van 380kV. Hoe groot is de stroom? Bereken ook de geleverde arbeid als de centrale gedurende 30 dagen gemiddeld driekwart van zijn vermogen levert aan het elektrische net.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

2. Een lamp van 100W / 230V wordt aangesloten op een net van 110V. Welk vermogen zal de lamp uitstralen?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

3. Een verwarmingselement van een vaatwasser is geschikt voor aansluiting op 230V of 400V. Bereken het opgewekte warmtevermogen op de twee spanningen als het element een weerstandswaarde heeft van 50Ω. Bereken ook de bijhorende stroomsterkten.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

4. Een kamerverlichting bestaat uit 6 lampen van 40W / 230V. Hoe groot is de opgenomen stroomsterkte per lamp en van het geheel? Een stel van 3 spots van 100W wordt ook ingeschakeld. Hoe groot is nu de totale stroomsterkte?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

5. Een schotelverwarmer moet geschikt zijn voor een netspanning van 230V en 120V. Voor 230V wordt een verwarmingsweerstand van 130Ω ingebouwd. Men wil dat het apparaat ook op 120V werkt en een gelijke hoeveelheid warmte ontwikkeld. Welke weerstandswaarde moet men dan inbouwen?

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

6. In een verwarmingsplaat van een elektrisch fornuis dat werkt op 230V zijn 2 verwarmingsweerstand ingebouwd. Één weerstand heeft een waarde van $52,9\Omega$. De tweede heeft een vermogen van 1500 W. Ik kan met een geschikte schakelaar tekens kiezen voor één van beide weerstanden afzonderlijk of beide samen zodat er drie vermogens mogelijk zijn.

Welke 3 vermogens zijn dit?

Bereken voor de drie mogelijkheden de weerstandswaarde die telkens op het net wordt aangesloten om het vereiste vermogen te ontwikkelen.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

7. Een tuinverlichting bestaat uit 5 spaarlampen van 15W. Ik schakel de verlichting aan om 19u30 en schakel uit om 8u 's morgens. Hoeveel kost mij deze "nachtverlichting" als ik €0,10 zou betalen voor 1kWh? De netspanning is 230V.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

8. De tuinverlichting van mijn buurman heeft 5 gewone lampen van 75W die evenveel licht geven als een spaarlamp van 15W. Hoeveel betaalt hij als het licht ook van 19u30 's avonds tot 8u 's morgens brandt? 1kWh kost €0,10.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

12. Geleiders en weerstand

Soortelijke weerstand –Wet van Pouillet

In paragraaf 8 hebben we gezien dat we met de “Wet van Ohm” een weerstand kunnen berekenen bij een gegeven spanning en stroom. We weten ook dat een geleider steeds een kleine weerstand vertoont tegen de stroomdoorgang.

Nu is de weerstandswaarde van een geleider ook afhankelijk van het soort materiaal, men noemt dit daarom *de soortelijke weerstand*.

Om deze soortelijke weerstand te bepalen voor elk soort materiaal is er afgesproken dat we telkens een zelfde standaardlengte en doorsnede van de geleiders zullen nemen. De lengte is dan 1 meter en de doorsnede is in principe 1m². Om *praktische redenen* zal de doorsnede echter bepaald worden als 1mm².

Formule: $R = \rho \times l / A$ met R de berekende waarde van de weerstand in Ohm,
 ρ (spreek uit rho) het symbool voor de soortelijke weerstand,
 l de lengte van de geleider in meter en
 A de doorsnede ervan in mm².

Deze formule is bekend als de Wet van Pouillet.

Andere vormen van de wet van Pouillet:

$$\rho = \dots\dots\dots \quad l = \dots\dots\dots \quad A = \dots\dots\dots$$

Noot: Formule voor de berekening van de doorsnede van een ronde geleider als de diameter gegeven is: $A = \dots\dots\dots$ (vul zelf in)

Enkele soortelijke weerstanden:

	Bij een temperatuur van		Eenheid:
	0°C	15°C	
Koper	0,01650	0,0175 Ω	mm ² /m
Aluminium	0,026	0,028 Ω	mm ² /m
Lood	0,2	0,212 Ω	mm ² /m
Constantaan	0,481	0,4809 Ω	mm ² /m
Chroomnikkel	0,986	0,996 Ω	mm ² /m
Kool	65,04	65,0 Ω	mm ² /m

Voorbeeld:

Een koperdraad met lengte 50m heeft een doorsnede van 0,5mm². Bereken de weerstandswaarde bij 15°C.

Oplossing:

$$\rightarrow R = \rho \times l / A = 0,0175 \times 50 / 0,5 = \underline{1,75\Omega}$$

Opmerking: Nemen we een dikkere draad, bijvoorbeeld met een doorsnede van 1,5mm² dan wordt de weerstand $R = 0,583\Omega$.

Noot: Het blijkt dat het vergroten van de draaddoorsnede een kleinere draadweerstand oplevert. Bij stroomdoorgang door de draad zal bijgevolg ook de ontwikkelde arbeid en vermogen in die geleider verminderen. Hierdoor wordt oa. het energieverlies beperkt tijdens stroomtransport. (Energieverlies = energieontwikkeling waar het niet gewenst is.)

Stroomdichtheid

Praktisch wordt een draaddoorsnede zo gekozen dat de verliezen (= de opwarming) in de draden beperkt blijven.

Hiervoor moeten we rekening houden met de *stroomdichtheid*.

Met stroomdichtheid bedoelen we de stroomsterkte die door een geleider vloeit per eenheid van doorsnede.

$$J = I / A$$

Hierin is J de Stroomdichtheid in A/mm²,
I de stroom in Ampère en
A de doorsnede in mm²

We bekijken dit even aan de hand van een cijfervoorbeeld.

Als er door een geleider met 6mm² doorsnede een stroomsterkte van 15 Ampère vloeit, dan vloeit er per mm² draaddoorsnede 2,5A door de geleider. De stroomdichtheid is dan 2,5A/mm². ($J = I / A = 15 / 6 = 2,5A/mm^2$)

Om te vermijden dat een geleider te warm wordt moet de stroomdichtheid beperkt blijven. Een vuistregel van 6A per mm² leert ons welke (koper)draaddoorsnede we mogen kiezen bij een bepaalde stroomsterkte in de keten.

Het AREI voorziet tabellen waarin de toegelaten stroomsterkte voor een bepaalde draaddoorsnede is aangegeven. De draaddoorsnede moet zo gekozen worden dat deze waarden niet worden overschreden. Komt men aan of boven de toegelaten grenswaarde, dan is het beter om een grotere draaddoorsnede te kiezen.

De gebruikelijke draaddoorsneden voor elektrische installaties in Europa zijn: 0,75 mm²; 1,5 mm²; 2,5 mm²; 4 mm²; 6 mm²; 10 mm²;.... De draadkern kan bestaan uit meerdere geleiders (soepel) of uit één enkele geleider (vaste kern).

Voor elektrische installaties wordt voor verlichtingskringen een doorsnede van minimum 1,5mm² voorgeschreven. Voor kringen met stopcontacten moet minstens 2,5mm² gebruikt worden. Telkens moet je draad met vaste kern gebruiken.

Noot: Bedradingen in elektronische toestellen en in speciale snoeren om apparaten met elkaar te verbinden hebben soms afwijkende draaddoorsneden. Meestal zijn dit dan maten gebaseerd op de Amerikaanse standaard.

Spanningsval:

Een bijkomende factor voor het bepalen van de draaddoorsnede kan de spanningsval over de leiding zijn. Bij lange leidingen kan de gebruiker een aanzienlijk lagere spanning ontvangen dan de bron levert.

De meeste gebruikers dienen te werken op (bijvoorbeeld) een spanning van 230V. Is de spanning lager dan komt de goede werking van het toestel soms in het gedrang (een lamp levert minder licht, een motor zal trager draaien,...).

De spanningsval in de leiding ontstaat door de weerstand van de leiding te vermenigvuldigen met de gevoerde stroomsterkte: $U = I \cdot 2 \cdot R_l$.

Hierin is R_l de draadweerstand van 1 geleider en $2 \cdot R_l$ is de totale weerstand van de heengaande en terugkerende geleider samen.

Invloed van de temperatuur

De temperatuur heeft ook een invloed op de weerstandswaarde. De waarden van de soortelijke weerstand in de vorige paragraaf zijn bijvoorbeeld de waarden bij 15°C omdat dit de gemiddelde temperatuur van de grond is.

Om de waarde van een weerstand bij een temperatuur t te kennen als we de weerstandswaarde R_0 bij 0°C kennen, dan gebruiken we de formule

$$R_t = R_0 + R_0 \cdot \alpha \cdot t$$

Hierin is R_0 de weerstandswaarde bij 0°C,
 α de temperatuurscoëfficiënt en
 t de nieuwe temperatuur.

R_t is de weerstandswaarde bij de gevraagde temperatuur.

Om R_0 te berekenen als we vertrekken van een temperatuur t_1 , gebruiken we de formule $R_0 = R_{t_1} / (1 + \alpha \cdot t_1)$ met R_{t_1} de weerstandswaarde bij de begintemperatuur en R_0 de weerstandswaarde bij 0°C.

PTC - NTC

Voor koper is $\alpha = 0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ en voor aluminium is $\alpha 0,00435 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, dit zijn positieve temperatuurscoëfficiënten, de weerstandswaarde neemt toe bij stijgende temperatuur. We spreken in dit geval van *PTC-weerstanden*.

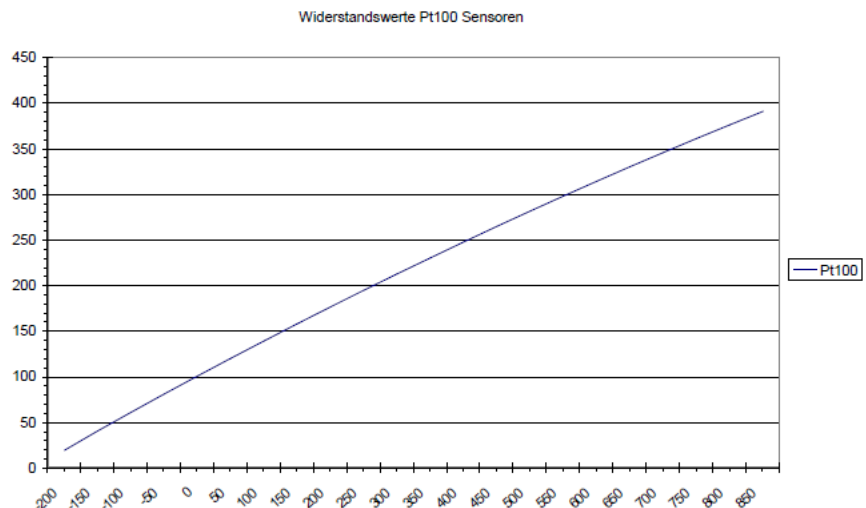
Voor constantaan is $\alpha = -0,000005 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ en koolstof $-0,00033 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, dit zijn negatieve coëfficiënten, de weerstandswaarde vermindert bij stijgende temperatuur. Dit zijn *NTC-weerstanden*.

PTC en NTC weerstanden kunnen door hun temperatuursafhankelijkheid gebruikt worden bij temperatuurmetingen.

Noot: een bekende PTC-weerstand in de regeltechniek is de Pt100. Pt staat hier echter voor het metaal Platina. De weerstand wordt gebruikt bij temperatuurmetingen tussen -200 en +850°C en heeft bij 0°C een waarde van 100Ω. De temperatuurscoëfficiënt is 0,385055

Voorbeeld van een Pt100:

verloop van de weerstand
in functie van de
temperatuur



Oefeningen -soortelijke weerstand

1. Een rol koperdraad heeft een doorsnede van $2,5\text{mm}^2$. Aangesloten op een bron van 12 Volt meten we een stroom van 2 Ampère in de keten. Hoeveel meter draad zit er op de rol?
Geg:
Gevr:
Opl:

2. Een verlengsnoer is 25 meter lang en heeft koperen geleiders met een doorsnede van $1,5\text{mm}^2$. Hoe groot is de weerstand van het snoer?
Geg:
Gevr:
Opl:

3. Een verbruiker neemt 8 Ampère op. Hij is aangesloten met aluminiumdraad met een dikte van $1,4\text{mm}$ met totale lengte 20 meter. Hoe groot is het ontwikkelde warmtevermogen in de draad? ($\rho_{\text{Al}} = 0,028\ \Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Geg:
Gevr:
Opl:

4. We vervaardigen een verwarmingselement dat een vermogen van 1500 Watt moet leveren op 230 Volt. We gebruiken hiervoor constantaandraad. Bereken de nodige lengte en de theoretische draaddoorsnede als de stroomdichtheid $15\text{A}/\text{mm}^2$ mag bedragen.
Geg:
Gevr:
Opl:

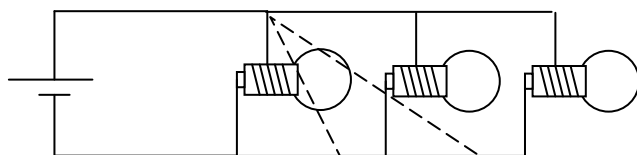
5. Een gloeilamp van 60W heeft een gloeidraad uit wolfram. Stel dat de draad 2000°C warm is, hoe groot is dan de weerstand bij kamertemperatuur? ($\alpha = 0,0047$)
Geg:
Gevr:
Opl:

13. Schakelen van weerstanden -parallelschakeling

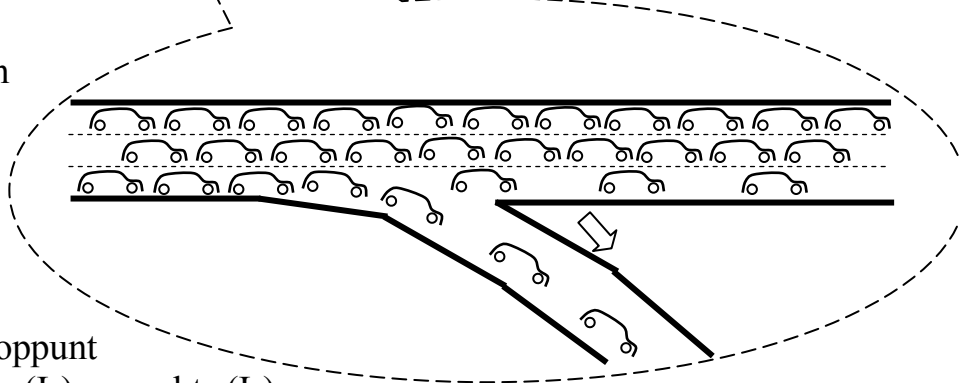
In de vorige oefeningen hebben we al met meerdere verbruikers gewerkt. Naargelang de manier van aansluiten ervan spreken we over parallelschakeling, serieschakeling of een combinatie van beide.

Stroomwet van Kirchhoff

Met de parallelschakeling worden de verschillende toestellen of verbruikers elk voorzien van dezelfde bronspanning.



Bekijken we even een knooppunt van naderbij, dan zien we dat een deel van de elektronen “afslaat”.



Links van het knooppunt komt de stroom toe (I_1) en rechts (I_2) en naar onder (I_3) vloeit de stroom verder. In een vergelijking wordt dit:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Dit noemt men de *Stroomwet van Kirchhoff*.

De algemene vorm van de stroomwet is:

In een knooppunt is de som der aankomende stromen gelijk aan de som der wegvloeiende stromen, of met andere woorden, de som der stromen is gelijk aan nul. $\sum I = 0$ (stroom naar knooppunt = +, stroom weg ervan = -)

Als we in elk knooppunt de stromen benoemen dan kunnen we telkens een *stroomvergelijking* noteren.

We noemen de stroom die de bron levert I_T . deze I_T zal de som der stromen van alle lampjes in het voorbeeld zijn.

In het voorbeeld heeft elk lampje een weerstand R_{L1} , R_{L2} en R_{L3} :

$$\begin{aligned} R_{L1} &= U / I_1 , \\ R_{L2} &= U / I_2 \text{ en} \\ R_{L3} &= U / I_3 . \end{aligned}$$

We zien dat de bron de totale stroom $I_T = I_1 + I_2 + I_3$ levert.

Voor de bron lijkt het alsof er slechts één belasting met stroomsterkte I_T is aangesloten. Dit is dan een weerstand $R_{TP} = U / I_T$.

Hieruit volgt dat

$$R_{TP} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3}$$

R_{TP} is de totale vervangingsweerstand van de parallelgeschakelde weerstanden in de kring.

Voorbeeld:

Op een bron van 10V is respectievelijk een weerstand $R_1 = 5\Omega$; $R_2 = 4\Omega$ en $R_3 = 10\Omega$ telkens in parallel aangesloten.

Hoe groot is de vervangingsweerstand? Bereken alle stromen en de bronstroom.

1° manier:

$$\begin{aligned} R_{TP} &= 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3) \\ &= 1/(1/5 + 1/4 + 1/10) \quad (\text{Let op: gebruik de haakjes correct !}) \\ &= 1,818\Omega \end{aligned}$$

2° manier:

$$\begin{aligned} I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\ \text{en} \quad I_1 &= U / R_1 = 12 / 5 = 2,4A \\ I_2 &= U / R_2 = 12 / 4 = 3A \\ I_3 &= U / R_3 = 12 / 10 = 1,2A \\ \text{dus: } I_T &= 2,4 + 3 + 1,2 = 6,6A \\ \rightarrow R_{TP} &= U/I_T \\ &= 12 / 6,6 \\ &= 1,818\Omega \end{aligned}$$

Noot:

Om onze berekeningen te controleren kunnen we gebruik maken van volgende eigenschappen:

a) door de kleinste weerstand vloeit de grootste stroom,

b) de vervangingsweerstand is steeds kleiner dan de waarde van de kleinste weerstand.

Oefeningen -parallelschakeling

1. Vier weerstanden met waarden $R_1=170\Omega$, $R_2=680\Omega$, $R_3=85\Omega$ en $R_4=340\Omega$ worden parallel geschakeld. Bereken de vervangingsweerstand.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

2. Twee weerstanden met waarden 36Ω en 14Ω staan parallel geschakeld op 24V. Bereken de vervangingsweerstand en de deelstromen.

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

3. Drie gelijke weerstanden van 60Ω staan parallel. Bereken R_T .

Geg:

Gevr:

Opl:

.....

4. Op een bron van 230V is een lamp van 100W aangesloten. Een parallel geschakelde weerstand doet de stroomsterkte stijgen naar 695mA. Welke weerstand hebben we parallel aangesloten?

Geg:

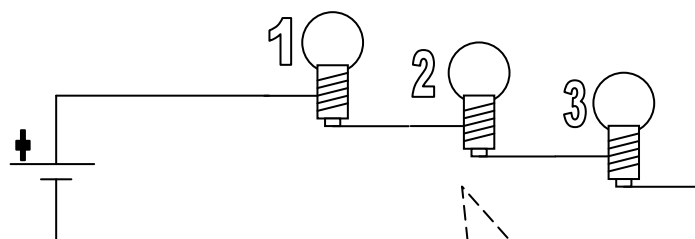
Gevr:

Opl:

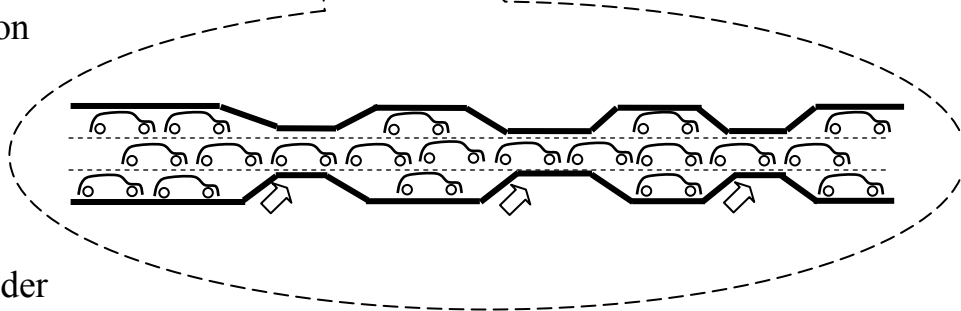
.....

14. Schakelen van weerstanden -serieschakeling

In de serieschakeling wordt de stroom achtereenvolgens door alle verbruikers geleid.



Drie lampjes staan in serie-geschakeld op een bron. De stroom vertrekt van de +pool van de bron door de geleider naar het eerste lampje. Hij vloeit door het lampje (weerstand) en gaat via de geleider naar het volgende lampje.



Zo wordt heel de kring doorlopen tot aan de –pool van de bron.

Spanningswet van Kirchhoff

Voor elke weerstand kunnen we schrijven:

$$U_1 = I \times R_1 \text{ en}$$

$$U_2 = I \times R_2 \text{ en}$$

$$U_3 = I \times R_3 .$$

Tellen we alle spanningen op dan is de som gelijk aan de waarde van de bronspanning:

$$U_{\text{bron}} = U_1 + U_2 + U_3$$

Dit noemt men de *Spanningswet van Kirchhoff*.

De algemene vorm van de spanningswet is:

De som der bronspanningen is gelijk aan de som der deelspanningen.

Een andere notatie wordt soms ook gebruikt:

De som der spanningen in een lus van de stroomkring is nul.

Noot: Soms noemt men de deelspanningen ook spanningsvallen.

Verklaring voor deze wet is als volgt:

Voor de bron lijkt het weer alsof er slechts 1 weerstand R_{TS} aangesloten is:

$$U_{bron} = I \times R_{TS}$$

Kirchhoff verteld ons dat $U_{bron} = U_1 + U_2 + U_3$

Brengen we de vergelijking van de spanningsvallen over de lampjes hierin dan wordt het:

$$U_{bron} = I \times R_1 + I \times R_2 + I \times R_3$$

Beide vergelijkingen aan elkaar gelijk stellen en delen door I dan houden we over:

$$R_{TS} = R_1 + R_2 + R_3$$

Of in woorden:

De vervangingsweerstand van een serieschakeling is de som van alle weerstandswaarden.

Voorbeeld:

Op een bron van 200V zijn de weerstanden $R_1 = 45\Omega$; $R_2 = 20\Omega$ en $R_3 = 15\Omega$ telkens in serie aangesloten.

Hoe groot is de vervangingsweerstand?

Bereken alle deelspanningen en de bronstroom.

$$\begin{aligned} \text{Eerst } R_T \text{ berekenen :} \quad R_{TS} &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 45 + 20 + 15 \\ &= 80\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bronstroom:} \quad I &= U_{bron} / R_{TS} \\ &= 200 / 80 \\ &= 2,5A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Deelspanningen:} \quad U_1 &= I \times R_1 = 2,5 \times 45 = 112,5V \\ U_2 &= I \times R_2 = 2,5 \times 20 = 50V \\ U_3 &= I \times R_3 = 2,5 \times 15 = 37,5V \end{aligned}$$

(Neem de proef door alle deelspanningen op te tellen, dit moet gelijk zijn aan de bronspanning.)

Oefeningen -serieschakeling

1. Vier weerstanden met waarden $R_1=170\Omega$, $R_2=680\Omega$, $R_3=85\Omega$ en $R_4=340\Omega$ staan in serie. Bereken de vervangingsweerstand.
Geg:
Gevr:
Opl:

2. Drie gelijke weerstanden van 60Ω staan in serie. Bereken R_T .
Geg:
Gevr:
Opl:

3. Twee weerstanden met waarden 36Ω en 14Ω staan in serie op een bron van 12V. Bereken de vervangingsweerstand en de spanning over elke weerstand.
Geg:
Gevr:
Opl:

4. Op een bron van 230V is een lamp van 100W aangesloten. Een tweede lamp van 60W wordt in serie geschakeld. Bereken de deelspanningen over elke lamp.
Geg:
Gevr:
Opl:

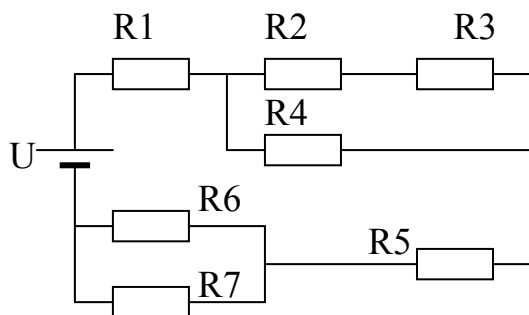
5. In een kerstboomverlichting staan lampjes in serie aangesloten. We beschikken over lampjes van 15V / 3W. Hoeveel lampjes moeten we in serie plaatsen op 230V en welke stroomsterkte vloeit er?
Geg:
Gevr:
Opl:

15. Schakelen van weerstanden -gemengde schakeling

Een gemengde schakeling is een schakeling waarin zowel serie- als parallelschakelingen van weerstanden voorkomen.

Het is zeer belangrijk om de verschillende serie- of parallelschakelingen vooraf te herkennen in de totale schakeling. Daarna kunnen we stap voor stap vereenvoudigen totdat we uiteindelijk slechts 1 weerstand overhouden: de totale vervangingsweerstand.

Voorbeeld van een gemengde schakeling:

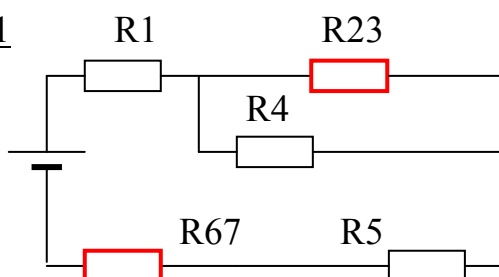


In de schakeling moeten we oa. herkennen:

- $R1$ staat in serie met de rest van de kring,
- $R2$ en $R3$ staan in serie,
- $R4$ staat parallel over de serieschakeling van $R2$ en $R3$,
- $R5$ staat in serie met de parallelschakeling van $R6$ en $R7$.

Je vervangt de schakelingen stelselmatig door een vervangingsweerstand. Door de kring telkens opnieuw te hertekenen kom je snel tot een resultaat.

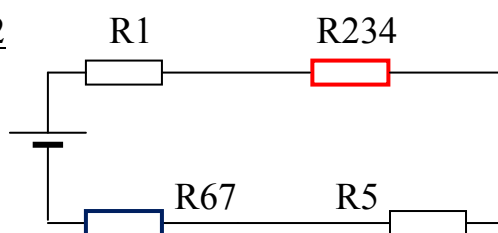
Stap1



$R23$ is de serieschakeling van $R2$ & $R3$

$R67$ is de parallelschakeling van $R6$ & $R7$

Stap2

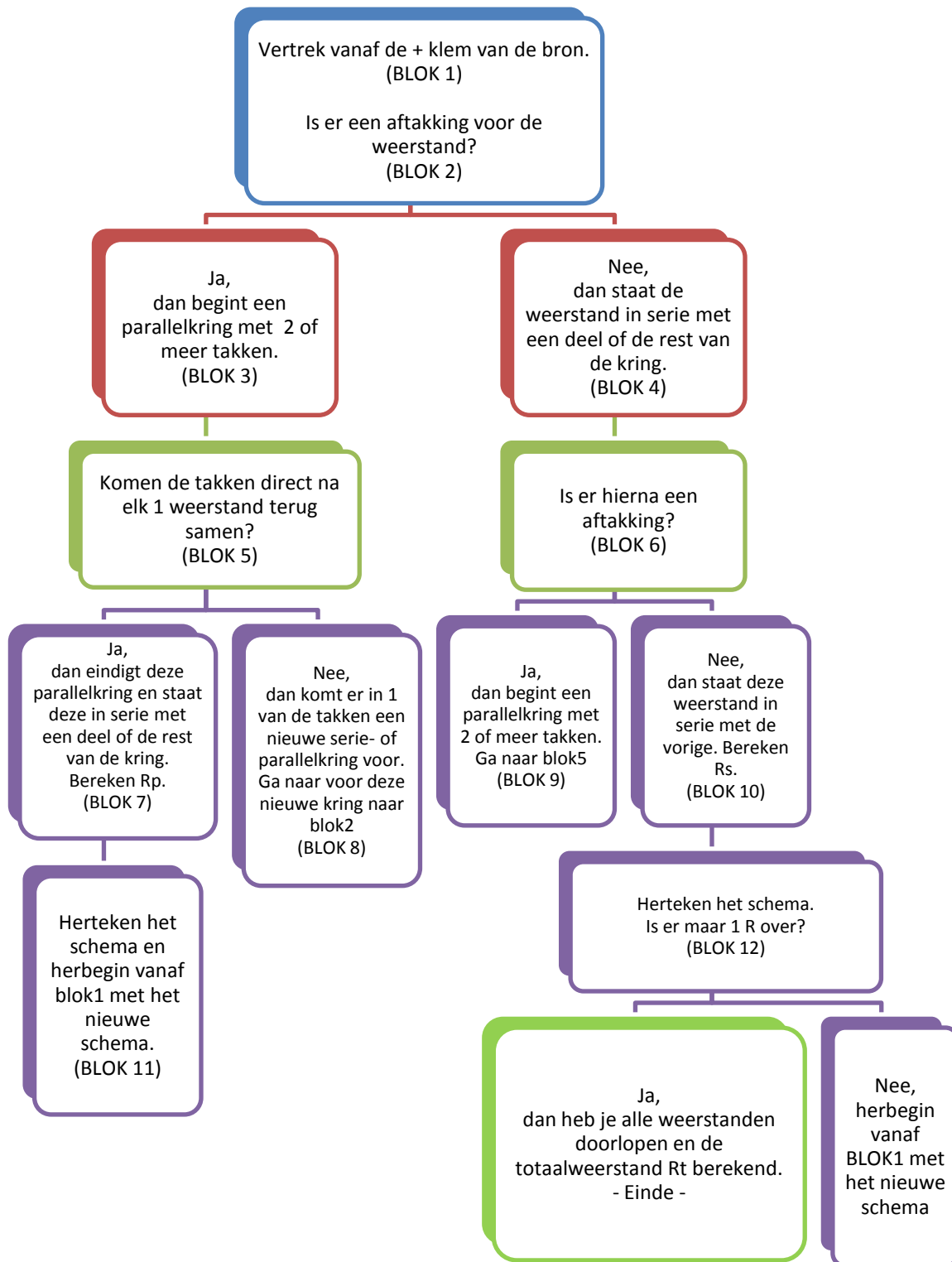


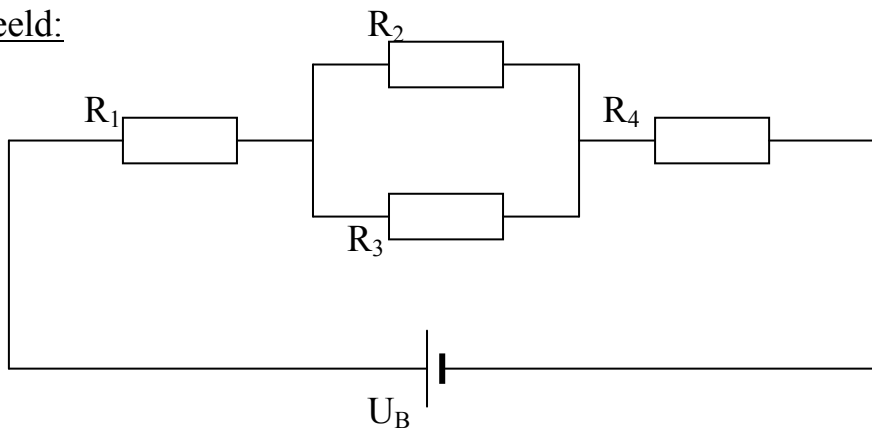
$R234$ is de parallelschakeling van $R23$ met $R4$

Uiteindelijk houden we een serieschakeling over die eenvoudig kan uitgerekend worden!

Algemene oplossingsmethode

Door de flow-chart te volgen kan de moeilijkste oefening opgelost worden. Aan de hand hiervan kan een beginner een ingewikkelde kring ontleden.



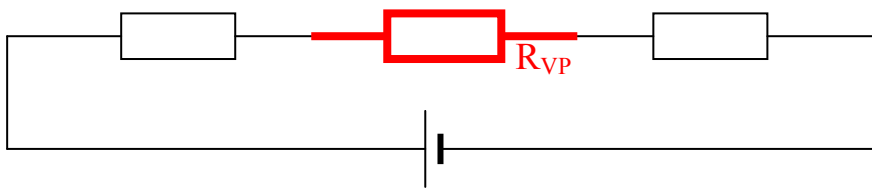
Voorbeeld:

$$\begin{aligned} R_1 &= 25\Omega \\ R_2 &= 120\Omega \\ R_3 &= 60\Omega \\ R_4 &= 35\Omega \\ U_B &= 200V \end{aligned}$$

Oplossing:

- we doorlopen de kring vertrekkende van de positieve klem van de bron
- voor de klemmen van de eerste weerstand R_1 zijn er geen aftakkingen: dit wil zeggen dat de weerstand R_1 in serie staat met de rest van de kring
- na de eerste weerstand komt een aftakking: hier begint een parallelschakeling van twee takken, namelijk R_2 en R_3
- na de weerstanden komen de aftakkingen terug samen: hier stopt de parallelschakeling van R_2 & R_3
- deze twee weerstanden kunnen we vervangen door één enkele weerstand (R_{VP})
- deze weerstand R_{VP} staat op zijn beurt in serie met R_1
- als we verder gaan, doorlopen we nog een weerstand: R_4
- de weerstand R_4 staat in serie met de vorige weerstanden
- we vervangen alles door de totale (serie)weerstand R_T

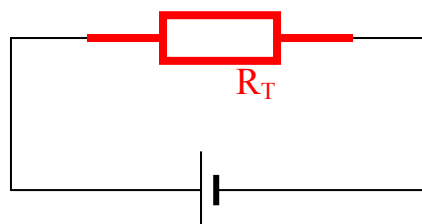
Hulpmiddel: *als we de kring vereenvoudigen door serie of parallelschakelingen te vervangen door één enkele weerstand hertekenen we telkens het schema*



De middelste weerstand is $R_{VP} = R_2 \times R_3 / (R_2 + R_3)$

De drie overblijvende weerstanden vormen een serieschakeling die we vervangen door R_T :

$$R_T = R_1 + R_{VP} + R_4$$



Zoals je ziet is de schakeling na twee stappen herleid tot één vervangingsweerstand.

Berekening:

- Vervangingsweerstand van de parallelschakeling:

$$R_{VP} = R_2 R_3 / (R_2 + R_3) = 120 \cdot 60 / (120+60) = 40 \, \Omega$$

- Totale vervangingsweerstand:

$$R_T = R_1 + R_{VP} + R_4 = 25 + 40 + 35 = 100 \, \Omega$$

- Stroomsterkte bron: $I = U_B / R_T = 200 / 100 = 2 \, A$

- Deelspanningen: (I stroomt door alle weerstanden: serie!, ook door R_{VP})

$$U_1 = I \cdot R_1 = 2 \cdot 25 = 50 \, V$$

$$U_{VP} = I \cdot R_{VP} = 2 \cdot 40 = 80 \, V$$

$$U_4 = I \cdot R_4 = 2 \cdot 35 = 70 \, V$$

Noot: als je de wet van Ohm ergens in een kring toepast, dan moet je steeds werken met de stroom die door die bepaalde weerstand vloeit, de spanning die over diezelfde weerstand staat en de waarde van diezelfde weerstand.

De stroom kan, als het een serieschakeling is dezelfde zijn als die door de weerstand daarachter of daarvoor vloeit (zie deelspanningen hiervoor).

De spanning kan in een parallelschakeling dezelfde zijn als die van de andere weerstand in parallel (zie deelstromen hieronder)!

Door de parallelschakeling van R_2 en R_3 vloeien er deelstromen. De stroom I splitst zich in I_2 en I_3 . De spanning is hier over de twee weerstanden dezelfde, namelijk $U_{VP} = 80V$.

- Deelstromen: $I_2 = U_{VP} / R_2 = 80 : 60 = 1,333 \, A$
 $I_3 = U_{VP} / R_3 = 80 : 120 = 0,666 \, A$

Alternatieve notatie

Voor de berekening van R_T kan je ook een alternatieve notatie gebruiken:

$$R_T = R_1 + R_2 // R_3 + R_4 \quad (\text{opgave van p34})$$

Hierin is: + een serieschakeling (je moet dan de waarden optellen)
 // een parallelschakeling (formule van de parallelschakeling).

Net zoals in de wiskunde moet je eerst de // bewerking uitrekenen, daarna pas de + bewerking. Je kan de formule ook met haakjes noteren: $R_T = R_1 + (R_2 // R_3) + R_4$

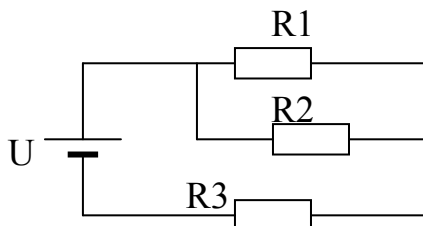
Het spreekt vanzelf dat je met volle aandacht deze formule moet uitrekenen!

Voor uitgebreidere oefeningen kan dit soms een vluggere en eenvoudigere berekening van R_t opleveren. Moeten er deelspanningen en deelstromen worden berekend, dan heb je wel alle tussenresultaten van de vervangingsweerstand nodig die je in de rekenmachine moet opslaan.

Oefeningen -gemengde schakelingen

(neem afzonderlijke bladen om de oefeningen te maken)

1.



$$U = 24 \text{ V}$$

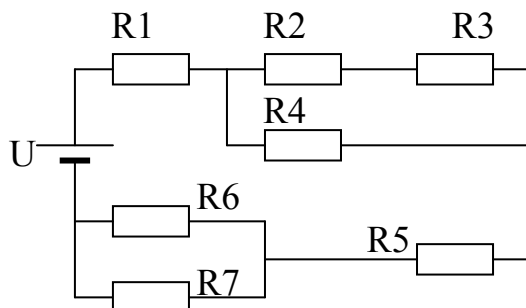
$$R1 = 100\Omega$$

$$R2 = 200\Omega$$

$$R3 = 300\Omega$$

Bereken alle I en U.

2.



$$U = 230 \text{ V}$$

$$R1 = 10\Omega$$

$$R2 = 25\Omega$$

$$R3 = 50\Omega$$

$$R4 = 200\Omega$$

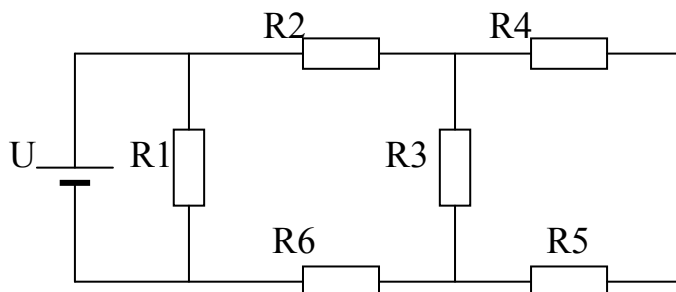
$$R5 = 20\Omega$$

$$R6 = 14\Omega$$

$$R7 = 42\Omega$$

Bereken alle I en U.

3.



$$U = 230 \text{ V}$$

$$R1 = 200\Omega$$

$$R2 = 1\Omega$$

$$R3 = 150\Omega$$

$$R4 = 5\Omega$$

$$R5 = 100\Omega$$

$$R6 = 2\Omega$$

Bereken alle I en U

4. Een bron levert 235V aan een keten van halogeenlampen met weerstand 120Ω . Eén lamp is rechtstreeks aangesloten op de bron met een 5m lang snoer van $1,5\text{mm}^2$. Hierop wordt een volgende lamp aangesloten met een zelfde snoer van 12m en daarop nog een lamp met een zelfde snoer van 9m. Bereken de spanning op de lampen. Hint: teken de schakeling.
5. Een serieschakeling van twee weerstanden ($30\text{k}\Omega$ & $45\text{k}\Omega$) wordt aangesloten op 15V. We meten de spanning met een voltmeter met een inwendige weerstand van $100\text{k}\Omega$ over de weerstand van $30\text{k}\Omega$. Welke spanning gaat de meter aangeven en hoe groot is de werkelijke spanning? Hint: teken!

16. Schakelen van weerstanden -theorema's

Het oplossen van een ingewikkelde elektrische schakeling vereist, zoals gezien in het vorige hoofdstuk, heel wat rekenwerk. Het gedrag van elektrische kringen is meestal niet *statisch* maar *dynamisch*. Bekijken we de doordeweekse elektrische installatie bij ons thuis dan worden voortdurend elektrische apparaten in- en uitgeschakeld.

Zetten we deze elektrische installatie om naar een elektrisch schema, dan zullen de stromen en spanningen die we berekenen in het schema veranderen naargelang de apparaten die ingeschakeld zijn. Uit de berekeningen wenst een (elektrisch) netwerkbeheerder af te leiden of de *klant* een spanning ontvangt die binnen de *norm* valt: $230V \pm 10\%$.

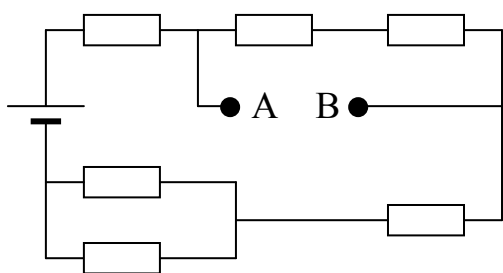
Noot: klant = de eindgebruiker, dus het ingeschakeld apparaat of toestel, voor normen zie onder andere website <http://www.hemago.nl/page/2/>

Om deze berekeningen te maken zijn er verschillende methodes bruikbaar. Zo kennen we onder andere de theorema's van Thévenin en van Norton. Beide theorema's zijn sterk gelijkend en bieden een manier om een ingewikkeld schema te herleiden tot één bron en één weerstand waarop de belasting wordt aangesloten.

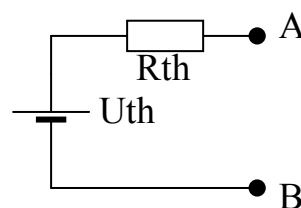
Het theorema van Thévenin

In een elektrisch schema worden op een bepaalde plaats twee aansluitklemmen voorzien om een toestel aan te sluiten (vgl. stopcontact). De gegevens van het aan te sluiten toestel kunnen sterk verschillend zijn zodat berekeningen om de spanning en stroom van het toestel te kennen, steeds herhaald moeten worden.

Met het theorema van Thévenin kan je zo een willekeurige kring met meerdere bronnen en meerdere weerstanden herleiden tot een equivalente keten met één enkele equivalente (ideale) spanningsbron U_{th} en met één serieweerstand R_{th} .



Het oorspronkelijk schema met meerdere weerstanden



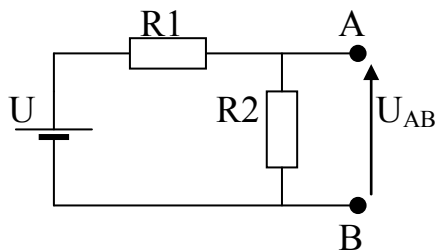
Het Thévenin-schema

Noot: een ideale spanningsbron is een bron die geen inwendige weerstand bezit en onder alle omstandigheden een constante spanning op de klemmen voert. Een gewone bron bezit altijd een inwendige weerstand, afhankelijk van de materialen waaruit ze is samengesteld, zodat bij stroomafname de spanning evenredig daalt.

Om de Thévenin equivalenties te berekenen gaan we als volgt te werk:

- 1 Bereken de open-klemspanning U_{AB} zonder een belasting (R) op de aansluitklemmen. Dit is U_{TH} .
- 2 Vervang alle bronnen door een verbinding.
- 3 Bereken de weerstand van de keten vertrekkend vanaf de aansluitklemmen A & B. Dit is R_{TH} .
- 4 Teken het schema met een bron met waarde U_{TH} en een serieweerstand R_{TH} .

Voorbeeld:



$$U = 20V$$

$$R1 = 5\Omega \text{ en}$$

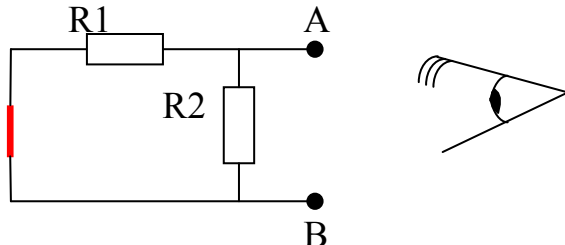
$$R2 = 15\Omega$$

Stap 1: open-klemspanning berekenen.

(We gebruiken de gecombineerde formule uit oefening 5)

$$U_{AB} = U \times R2 / (R1 + R2) = 20 \times 15 / (5 + 20) = 15V \quad \text{Dit is } U_{TH}.$$

Stap 2: vervang in het schema de bron door een verbinding.

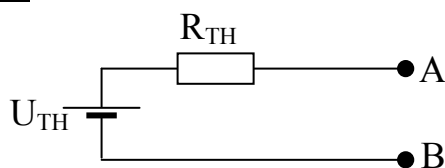


Stap 3: kijk vanaf de klemmen A & B naar de keten (kijk zoals het oog) en bereken de weerstandswaarde.

$R1$ en $R2$ staan dan parallel geschakeld (beginpunten bij elkaar, eindpunten bij elkaar)

$$R_p = 1 / (1/R1 + 1/R2) = 1 / (1/5 + 1/15) = 3,75\Omega \quad \text{Dit is } R_{TH}$$

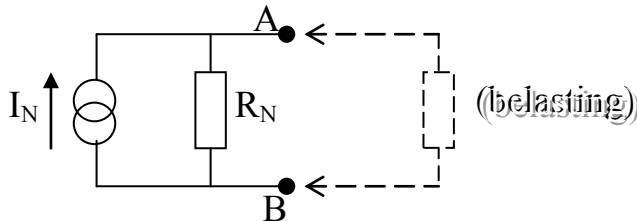
Stap 4: teken het nieuwe schema.



Op de klemmen A & B kan nu een willekeurige belasting worden aangesloten en kan de spanning en stroom hiervan eenvoudig worden berekend (serieschakeling).

Het theorema van Norton

Dit theorema verloopt gelijkaardig aan dat van Thévenin. In plaats van een ideale spanningsbron wordt nu echter een ideale stroombron, die een stroomsterkte I_N levert, gebruikt en wordt de weerstand R_N niet in serie maar parallel op de stroombron geplaatst.



Het equivalente schema van Norton waarop de belasting wordt aangesloten

De stroombron levert een constante stroomsterkte. Parallel aan een stroombron moet steeds een weerstand worden geplaatst. De hier voorziene weerstand neemt de stroomsterkte I_N op als er geen belasting op de klemmen AB is aangesloten. Bij het aansluiten van een belasting wordt de stroom I_N evenredig verdeelt over R_N en de belasting.

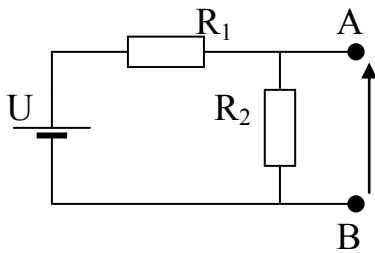
Noot: theoretisch zal een stroombron steeds een constante stroom leveren. Hierdoor moet er steeds een eindige weerstand parallel worden aangesloten op de stroombron om te voorkomen dat de spanning op de klemmen AB oneindig hoog wordt.

Praktisch wordt de stroombron gebouwd met elektronische componenten en zal deze een constante stroom kunnen leveren totdat de uitgangsspanning een limietwaarde bereikt. Deze limietwaarde is bepaald door de voedingsspanning van de elektronische schakeling.

Om de Norton-equivalenties te berekenen gaan we als volgt te werk:

- 1 Bereken de stroomsterkte in de verbinding A - B als deze is kortgesloten. Dit is I_N .
- 2 Vervang alle bronnen in het schema door een verbinding.
- 3 Bereken de weerstand van de keten vertrekkend vanaf de aansluitklemmen A & B. Dit is R_N .
- 4 Teken het schema met een stroombron met waarde I_N en de parallelweerstand R_N .

Hernemen we het voorbeeld:

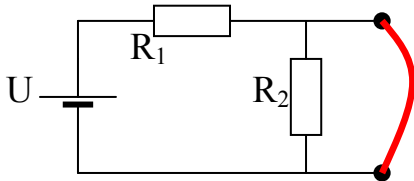


$$U = 20V$$

$$R_1 = 5\Omega \text{ en}$$

$$R_2 = 15\Omega$$

Stap 1: stroomsterkte berekenen in de kortgesloten verbinding A – B.

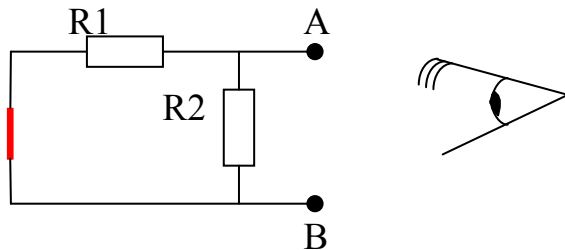


Omdat R_2 is kortgesloten nemen we deze niet meer op in de berekening: de stroom kiest de gemakkelijkste weg door de kortsluiting!

$$I = U / R_1 = 20 / 5 = 4A$$

Dit is de Nortonstroom I_N .

Stap 2: vervang in het schema de bron door een verbinding.



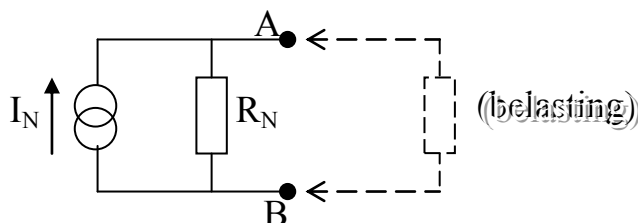
Stap 3: kijk vanaf de klemmen A & B naar de keten (kijk zoals het oog) en bereken de weerstandswaarde.

R_1 en R_2 staan parallel geschakeld (beginpunten bij elkaar, eindpunten bij elkaar)

$$R_p = 1 / (1/R_1 + 1/R_2) = 1 / (1/5 + 1/15) = 3,75\Omega$$

Dit is R_N .

Stap 4: teken het nieuwe schema.



Controle: onbelast moet deze schakeling dezelfde uitgangsspanning vertonen als de Thévenin-keten. De Thévenin-keten op zijn beurt moet dezelfde stroomsterkte leveren bij kortsluiten van de klemmen A-B. Dit rekenen we even na.

Onbelaste spanning Nortonketen: $U_{AB} = I_N \times R_N = 4 \times 3,75 = 15V = U_{TH}$ (wmbw)

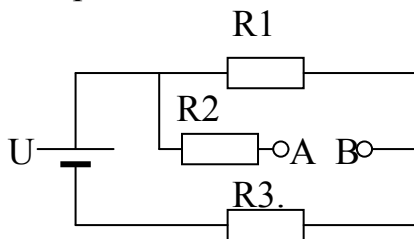
Kortgesloten Thévenin-keten: $I_{AB} = U_{TH} / R_{TH} = 15 / 3,75 = 4A = I_N$ (wmbw)

Noot: Andere oplossingsmethoden kunnen gebruikt worden om schakelingen waarin meerdere bronnen voorkomen op te lossen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer je thuis zelf elektriciteit opwekt met zonnepanelen die op het net van 230V worden aangesloten.

Als oplossingsmethode vermelden we bijvoorbeeld de knooppuntmethode die gebruik maakt van vergelijkingen gebaseerd op de twee wetten van Kirchhoff en de substitutiemethode waarbij elke spanningsbron een deelstroom levert aan de keten. Deze en nog andere methoden kan je in gespecialiseerde literatuur opzoeken.

Oefeningen theorema's Thévenin en Norton

1. Los op met Thévenin:



$$U = 24 \text{ V}$$

$$R1 = 100\Omega$$

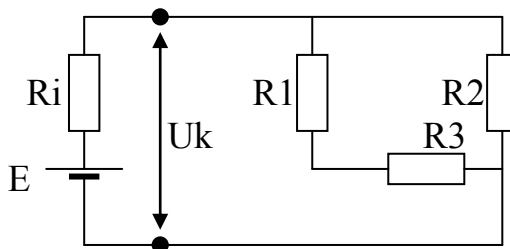
$$R2 = 20\Omega$$

$$R3 = 300\Omega$$

Bereken de spanning A-B als een weerstand van 200Ω wordt aangesloten.

2. Idem maar gebruik nu de Norton – methode.

- 3.



$$U = 12V$$

$$Ri = 2\Omega$$

$$R1 = 7\Omega$$

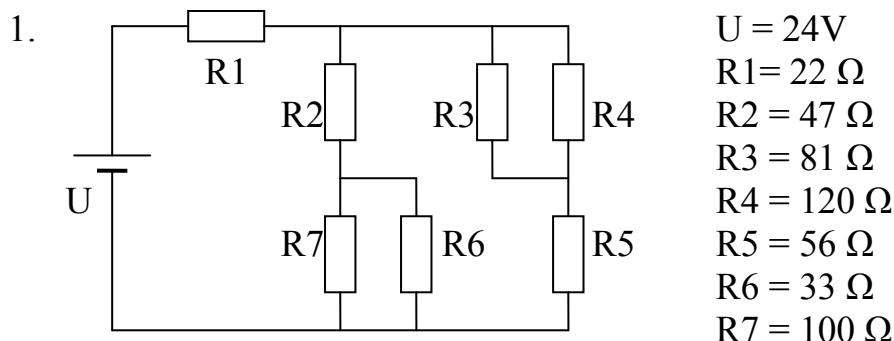
$$R2 = 9\Omega$$

$$R3 = 11\Omega$$

Bereken U_k en R_{th} door gebruik te maken van het theorema van Thévenin.

4. Bereken met bovenstaand schema de stroomsterkte op de plaats van $R3$ als deze wordt vervangen door een doorverbinding.

Extra oefeningen



Bereken de stroomsterkte door R6.

2. Drie lampen, 40W, 60W en 100W, elk geschikt voor 230V worden in serie geschakeld op 230V. Welk vermogen straalt elke lamp uit?
3. Een verlengsnoer van 50m met draad van $1,5\text{mm}^2$ wordt gebruikt met motoren die op minimum $230V - 10\%$ moeten werken. Welk vermogen mag je maximum aansluiten?
4. Een accu van 12V wordt gebruikt om een auto te starten. De startmotor heeft een weerstand van $0,15\Omega$. De accuspanning zakt tot 8V bij het starten. Welke inwendige weerstand heeft de accu?
5. Op een potentiometer met waarde 1000Ω wordt een belasting met waarde 500Ω aangesloten.
Bereken de spanningen zonder belasting en met belasting op de standen $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, en $\frac{3}{4}$ als de potentiometer aangesloten wordt op een bron met spanning 20V. teken de curve op een grafiek met als x-as de stand en Y-as de spanning (gebruik een spreadsheet om een mooie grafiek te tekenen)
6. Een terrein van $110\text{m} \times 60\text{m}$ wordt verlicht met vier verlichtingspalen van 20m hoog met lampen van $1000W/230V$ op de hoeken. De bedrading is uitgevoerd met $2,5\text{mm}^2$ in de grond, in de palen gebruikt men $1,5\text{mm}^2$.
De voeding gebeurt op een hoek van het terrein met 230V. Bereken de spanning en het vermogen van elke lamp.

