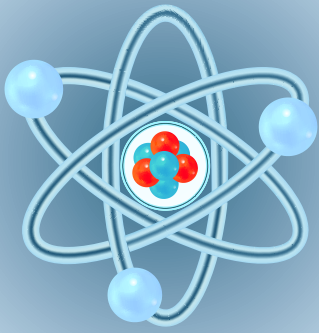




Alle begin...

...hoeft niet zo moeilijk te zijn

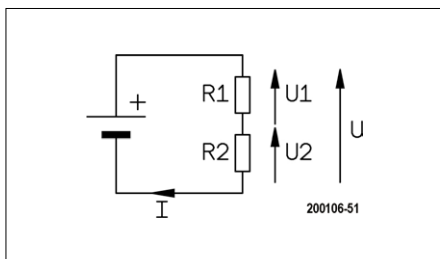
Eric Bogers

In de vorige aflevering hebben we kennisgemaakt met de wet van Ohm, en hebben we wat elementaire berekeningen uitgevoerd. Nu wordt het wat ingewikkelder – maar geen angst: we hebben geen ‘hogere’ wiskunstigheden nodig...

Eerst een kleine aanvulling op de vorige aflevering. Daar hadden we opgemerkt dat vaak het decimale voorvoegsel op de plaats van de decimale komma wordt geschreven: 8,2 kΩ wordt 8k2 en 5,6 nF wordt 5n6. We hebben daar zijdelings opgemerkt dat de μ (‘micro’ oftewel 10^{-6}) lastig te vinden is op het toetsenbord. Dat klopt niet helemaal: de toetscombinatie is ALT+0181, maar dat is toch onhandig. Daarom wordt in plaats van de μ vaak een u geschreven (een ‘μ zonder staart’), en dan krijgen we: 4,7 μF = 4,7 uF = 4u7.

Serieschakeling van weerstanden

Over tot de orde van de dag. Wat gebeurt er wanneer we twee weerstanden in serie schakelen, zoals geschetst in **figuur 1**? Wanneer we een weerstand beschouwen als een onderdeel dat de stroom belemmert, zouden we als volgt kunnen redeneren: de stroom wordt door R1 belemmerd, en dat beetje stroom dat die weerstand weet te passeren, wordt door R2 nog een keer belemmerd. Dus het ligt voor de hand dat de totale weerstand bij serieschakeling van weerstanden groter wordt. Ja, we weten het, deze redenering rammelt aan alle kanten, maar maakt wel enigszins aanschouwelijk wat er gebeurt.



Figuur 1. Serieschakeling van twee weerstanden.

Laten we nu eens precies kijken wat er gebeurt. Dankzij de wet van Ohm weten we dat de spanning U over de serieschakeling van R1 en R2 (die we R noemen) gelijk is aan

$$U = R \cdot I$$

Nu zijn weerstanden geen mysterieuze componenten – er gaat geen stroom in verloren. De stroom I in de serieschakeling is dus gelijk aan de stroom die de serieschakeling verlaat, en dus worden beide weerstanden door dezelfde stroom doorlopen. Over elk van die weerstanden valt een zekere spanning (die weer uit de wet van Ohm volgt), en omdat weerstanden zoals dat heet zuiver *passieve* componenten zijn, komt er onderweg geen spanning bij (en verdwijnt er ook geen spanning), zodat de som van de beide deelspanningen U1 en U2 gelijk is aan de totale spanning U. Met die kennis gewapend kunnen we schrijven:

$$U_1 = R_1 \cdot I$$

$$U_2 = R_2 \cdot I$$

$$\text{En omdat } U_1 + U_2 = U:$$

$$U = (R_1 \cdot I) + (R_2 \cdot I) = (R_1 + R_2) \cdot I$$

En daaruit volgt dat de totale weerstand R gelijk is aan de som van de weerstanden R1 en R2. En zeg eens eerlijk: dat had u natuurlijk al lang vermoed, en het ligt ook voor de hand, maar het is natuurlijk fijn om het zeker te weten. We laten het aan de lezer over het bovenstaande aan de hand van een getallenvoorbeeld te controleren (neem bijvoorbeeld een batterijspanning van 15 V, $R_1 = 10 \Omega$ en $R_2 = 20 \Omega$).

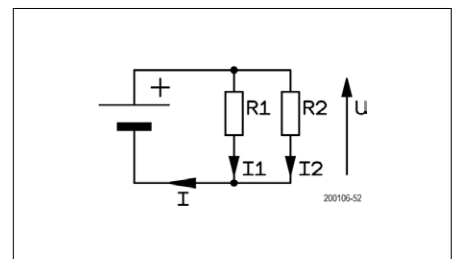
Parallelschakeling van weerstanden

Weerstanden kunnen niet alleen in serie (‘achter elkaar’) worden geschakeld maar ook parallel (‘naast elkaar’), zoals geschetst in **figuur 2**. Denk eerst R2 even weg; dat weten we dat er een zekere stroom door R1 zal lopen. Nu voegen we R2 toe; daar loopt ook een zekere stroom door. Dat betekent dat bij parallelschakeling de totale stroom groter wordt; en omdat de spanning over de weerstanden niet verandert, wil dat niets anders zeggen dan dat de totale weerstand kleiner is geworden!

Wanneer we een blik op figuur 2 werpen, zijn twee dingen duidelijk: over beide weerstanden R1 en R2 staat dezelfde spanning U. Ook moet gelden dat de som van de stromen door de afzonderlijke weerstanden gelijk is aan de totale stroom I: we hebben met zuiver passieve componenten te maken, zodat er onderweg geen stroom verdwijnt of bij komt. Wanneer we de totale weerstand van de parallelschakeling weer R noemen, dan geldt:

$$U = R \cdot I$$

Nu laten we de wet van Ohm los op de afzonderlijke weerstanden:



Figuur 2. Parallelschakeling van twee weerstanden.

$$U = R_1 \cdot I_1 \rightarrow I_1 = U / R_1$$

$$U = R_2 \cdot I_2 \rightarrow I_2 = U / R_2$$

Omdat $I_1 + I_2 = I$, schrijven we

$$I = (U / R_1) + (U / R_2) = U / R$$

En hieruit volgt

$$1 / R = (1 / R_1) + (1 / R_2)$$

of anders geschreven:

$$R = 1 / \{ (1 / R_1) + (1 / R_2) \}$$

We laten het weer aan de oplettende lezer over om deze uitkomst aan de hand van een getallenvoorbeeld te controleren.

Gemengde schakeling

In de dagelijkse elektronica praktijk hebben we niet alleen met 'zuivere' serie- en parallelschakelingen te maken, maar ook met 'mengschakelingen' zoals die van **figuur 3**. We zien daar een serieschakeling van een enkele weerstand (R_1) met een parallelschakeling van twee weerstanden ($R_2 \parallel R_3$). (Opmerking: een parallelschakeling wordt vaak met twee parallelle verticale streepjes $\parallel$ aangegeven).

Laten we hier eens een getallenvoorbeeld bekijken: $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$ en $R_3 = 30 \Omega$. Hoewel het mogelijk is een enkele betrekking voor de totale weerstand op te schrijven, vraagt zo'n aanpak om vergissingen en rekenfouten. Het is beter om de totale weerstand in twee stappen te berekenen: eerst de parallelschakeling en dan de serieschakeling. Voor de parallelschakeling van R_2 en R_3 schrijven we:

$$1 / R_{\text{parallel}} = (1 / R_2) + (1 / R_3)$$

Invullen van de voorbeeldwaarden geeft:

$$1 / R_{\text{parallel}} = (1 / 20 \Omega) + (1 / 30 \Omega) = (3 / 60 \Omega) + (2 / 60 \Omega) = 5 / 60 \Omega$$

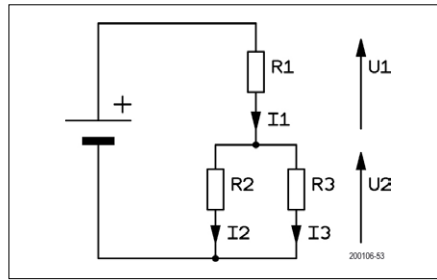
Andersom geschreven:

$$R_{\text{parallel}} = 60 \Omega / 5 = 12 \Omega$$

Deze weerstand staat in serie met R_1 ; voor de totale weerstand R van deze gemengde schakeling komen we dan uit op $R = 10 \Omega + 12 \Omega = 22 \Omega$.

Enkele opmerkingen

Zoals u nu gemakkelijk zelf kunt nagaan,



Figuur 3. Eenvoudige gemengde schakeling.

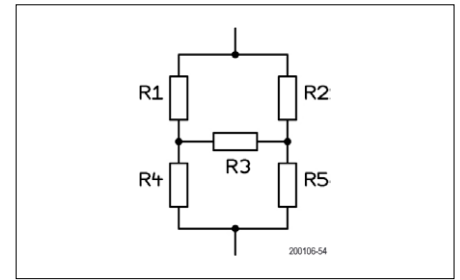
gelden de volgende vuistregels voor snelle schattingen:

- bij een serieschakeling van weerstanden is de totale weerstand altijd groter dan de grootste van de in serie geschakelde weerstanden;
- bij een parallelschakeling van weerstanden is de totale weerstand altijd kleiner dan de kleinste van de parallel geschakelde weerstanden.

Wanneer we bijvoorbeeld een serieschakeling hebben van een zeer grote en een zeer kleine weerstand (zeg $100 \text{ k}\Omega$ en 10Ω), dan gaan we dat in de dagelijkse elektronica praktijk niet precies uitrekenen, maar zeggen we gewoon dat de totale weerstand gelijk is aan de grootste weerstand, dus $100 \text{ k}\Omega$. En bij parallelschakeling van dezelfde weerstanden geldt hetzelfde: we sparen ons de moeite van het rekenen en zeggen dat de totale weerstand gelijk is aan de kleinste weerstand, dus 10Ω . Het verschil met de werkelijke waarden is zo gering dat we daar niet van wakker hoeven te liggen. En nog een opmerking bijna tot slot: hiervoor hebben we ons beperkt tot serie- en parallelschakeling van telkens twee weerstanden, maar *mutatis mutandis* geldt alles wat we hebben berekend en berekend geldt ook voor serie- en parallelschakeling van meer dan twee weerstanden:

- serieschakeling van n weerstanden: $R_{\text{serie}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- parallelschakeling van n weerstanden: $1 / R_{\text{parallel}} = (1 / R_1) + (1 / R_2) + \dots + (1 / R_n)$

Nog even terug naar figuur 2. Naar aanleiding van die figuur hebben we opgemerkt dat de som van de stromen I_1 en I_2 gelijk is aan de totale stroom I . Dat lijkt wel heel erg vanzelfsprekend, maar in de natuurkunde (en elektronica



Figuur 4. De (vooral bij examens) gevreesde H-schakeling.

is niets anders dan toegepaste natuurkunde) is iets pas vanzelfsprekend wanneer het onomstotelijk bewezen is. En dat heeft de natuurkundige Gustav Kirchhoff al in 1845 gedaan. De *eerste wet van Kirchhoff* stelt dat de som van de stromen **in** een knooppunt gelijk is aan de som van de stromen **uit** datzelfde knooppunt.

De H-schakeling – een vooruitblik

Gewapend met de kennis die we nu hebben opgedaan, kunnen we eenvoudige gemengde schakelingen zoals die van figuur 3 zonder veel problemen doorrekenen. Maar werp vast even een blik op **figuur 4** – een gemengde schakeling van de lastiger soort. In deze zogenaamde H-schakeling kunnen we geen combinaties vinden die we als serie- of parallelschakeling apart kunnen behandelen. Hoe moet dat dan? Hoe pakken we zo iets aan?

Denkt u hier alvast eens over na; in de volgende aflevering komen we hier op terug (trefwoord: ster-driehoektransformatie resp. driehoek-stertransformatie). En dan gaan we ons ook met wisselspanningen en -stromen bezighouden. ◀

200106-01

De artikelreeks "Alle begin"... is gebaseerd op het boek "Basiscursus elektronica" van Michael Ebner, dat bij Elektor is verschenen.

IN DE STORE

→ Boek: Basiscursus elektronica
www.elektor.nl/13950

→ E-boek: Basiscursus elektronica
www.elektor.nl/18232