

Soorten spanningen

WEGWIJZER

In de studie van de gelijkstroomtheorie zijn we er altijd van uitgegaan dat de elektrische stroom die bepaalde verschijnselen veroorzaakte een constante gelijkstroom was. Die elektrische stroom had altijd een onveranderlijke waarde en vloede altijd in dezelfde zin door de verbruikers (buiten de bron van + naar -). In praktisch alle berekeningen zijn we van die veronderstelling uitgegaan.

De wet van Ohm illustreerde ons daarbij dat er over een gelijkstroomweerstand die door een constante stroom doorlopen werd, een spanning ontstond die altijd evenredig is met de grootte van de stroom door de weerstand (verbruiker). Als we het ontstaan van die spanning analyseren, dan wordt die spanning veroorzaakt door een verschil in potentiaal over de gelijkstroomweerstand. We spreken ook over een potentiaalverschil. Het is de spanningsbron die dit potentiaalverschil in eerste instantie veroorzaakt. Als we in gelijkstroomkringen bv. de massa van een toestel als referentiepunt nemen, kunnen we in de onderscheiden punten van de elektrische kring de potentiaal t.o.v. de massa bepalen.

Rationeel energiegebruik laat geen energieverblindende voorschakelweerstand als spanningsverlager meer toe. Om rationeel energiegebruik in de moderne elektrotechniek mogelijk te maken worden hakers gebruikt. Deze hakers zetten een constante gelijkspanning om in een pulserende gelijkspanning, waarvan de gemiddelde waarde, met het oog op vermogensturing, gewijzigd kan worden.

Via omvormers is het ook mogelijk om een constante gelijkspanning in een wisselspanning om te zetten. Bij een wisselspanning wijzigt de polariteit van de spanning en de zin van de stroom volgens een bepaalde wetmatigheid.

Als we voldoende vertrouwd zijn met de grafische voorstelling van spanningen (stromen), zullen we toelichten hoe we bijzondere begrippen i.v.m. spanningen, zoals cyclus, periode, frequentie, ogenblikkelijke, gemiddelde en effectieve waarde ervan bepalen met universeel meettoestel en oscilloscoop.

In leereenheid 2 schenken we dan speciaal aandacht aan de sinusvormige wisselspanning zoals die voorkomt in distributienetten van elektrische energie.

1.1 Spanning, potentiaalverschil en potentiaal

1.1.1 Het onderscheid tussen spanning en potentiaalverschil

Leerdoel

Hierna kan je:

- het onderscheid tussen spanning en potentiaalverschil toelichten en in een wiskundige vorm uitdrukken.

In 1821 legt de Duitse wetenschapper Georg Simon Ohm de relatie tussen spanning, weerstand en stroomsterkte vast in de naar hem genoemde wet, namelijk 'de wet van Ohm'. In de formule stelt hij de spanning voor door $U = I \cdot R$ (U afkomstig van Potenzialunterschied).

Als je de spanning van een gelijkspanningsbron meet met een voltmeter, lees je de absolute waarde van de spanning U af. Als je daarenboven rekening houdt met het teken van de afgelezen waarde, bepaal je het potentiaalverschil tussen de polen van de gelijkspanningsbron.

Het potentiaalverschil V_{AB} tussen twee punten A en B in een elektrische kring is het verschil van de potentiaal in het punt A, V_A en de potentiaal in het punt B, V_B .

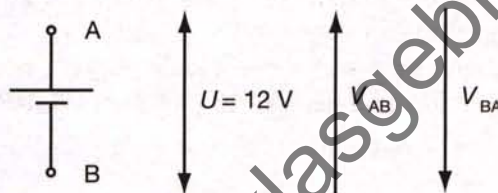


Fig. 1.1 Spanning en potentiaalverschil van een gelijkspanningsbron

In figuur 1.1 levert de spanningsbron een spanning van 12 V. De potentiaal op de pluspool van de bron (punt A in figuur 1.1) is 12 V hoger dan op de minpool van de bron (punt B in figuur 1.1), $V_{AB} = +12\text{ V}$. De potentiaal op de minpool van de bron is 12 V lager dan op de pluspool van de bron, $V_{BA} = -12\text{ V}$.

$$\begin{aligned}V_{AB} &= V_A - V_B \\V_{BA} &= V_B - V_A \\V_{AB} &= -V_{BA}\end{aligned}$$

Spanning is de absolute waarde van het potentiaalverschil en wordt voorgesteld als volgt:

$$U = |V_{AB}| = |V_{BA}|$$

1.1.2 De massa

Leerdoelen

Hierna kan je:

- de betekenis van de massa als referentiepunt toelichten.
- het massasymbool herkennen en tekenen.

Uit de vorige paragraaf blijkt duidelijk de nood aan een referentiepunt wanneer we over potenti-
alen in een willekeurig punt van een elektrische stroomkring spreken. Hoewel een referentiepunt

principeel vrij gekozen kan worden, nemen we in de praktijk veelal de minklem van de spanningsbron of de aarde als referentiepunt.

De potentiaal in het referentiepunt beschouwen we als 0 V. Dat punt noemen we veelal de massa. De massa duiden we in elektrische stroomkringen aan met het symbool in figuur 1.2.a. Het aantal schuine strepen mag beperkt worden in het symbool (figuur 1.2.b). De schuine strepen mogen ook weggelaten worden in het symbool (figuur 1.2.c).

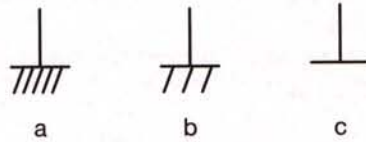


Fig. 1.2 Massasymbolen

1.1.3 Potentiaal en potentiaalverschil

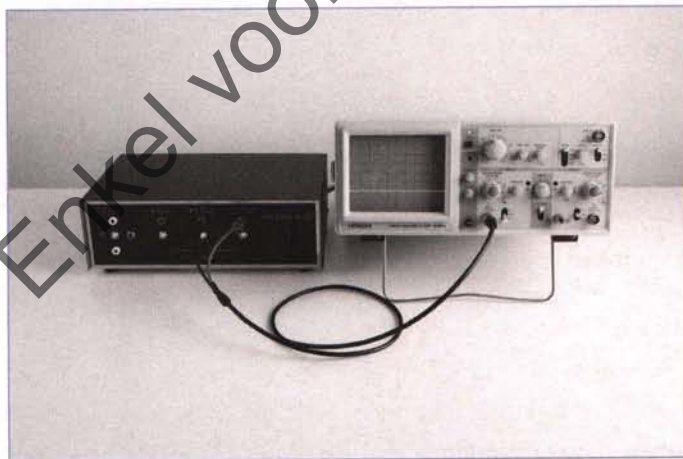
Leerdoel

Hierna kan je:

- het verband tussen de potentiaal in een punt van een elektrische kring en de massapotentiaal verwoorden.

De potentiaal in een punt van een elektrische kring is het potentiaalverschil tussen dat punt en het referentiepunt, nl. de massa.

In gelijkstroomkringen is de potentiaal op de ene klem van de spanningsbron altijd hoger dan op de andere klem. De absolute waarde van de potentiaal zal mede afhankelijk zijn van het gekozen referentiepunt. Bij gelijkspanningsbronnen is er alvast een duidelijk onderscheid tussen de polen.



In gelijkstroomkringen vloeit de stroom altijd in dezelfde zin. We gebruiken de conventionele stroomzin, waarbij de stroom buiten de bron van de pluspool (+) naar de minpool (–) vloeit en binnen de bron van de minpool naar de pluspool.

1.1.4 Potentiaal en potentiaalverschil berekenen in een elektrische kring

Leerdoelen

Hierna kan je:

- de potentiaal in een punt van een elektrische kring berekenen.
- het potentiaalverschil tussen twee punten in een elektrische kring berekenen.

In figuur 1.3 sluiten we een gelijkspanningsbron van 24 V aan op een serieschakeling van twee weerstanden van respectievelijk 12 en 36 Ω .

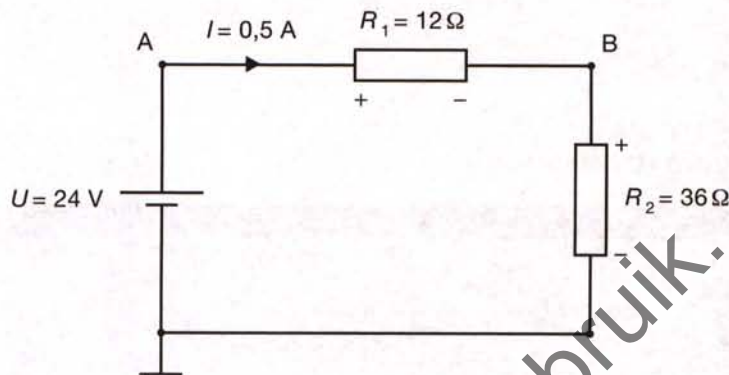


Fig. 1.3 Potentiaalberekening

We nemen de minpool van de bron als massa (referentiepunt) voor de schakeling. De vervangingsweerstand van de kring is:

$$R_v = R_1 + R_2 = 12 + 36 = 48 \Omega$$

De sterkte van de stroom kunnen we berekenen met de wet van Ohm.

$$I = \frac{U}{R_v} = \frac{24}{48} = 0,5 \text{ A}$$

De stroomzin kunnen we bepalen aan de hand van de polen van de bron. De stroom vloeit door elke weerstand van + naar -.

Over elke weerstand staat een spanning.

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,5 \cdot 36 = 18 \text{ V}$$

De potentiaal in punt A, dat verbonden is aan de pluspool van de bron, is 24 V hoger dan de potentiaal van de minpool van de bron, die we beschouwen als massa.

$$V_A = +24 \text{ V}$$

De potentiaal in punt B is 18 V hoger dan de potentiaal van de minpool van de bron.

$$V_B = +18 \text{ V}$$

Het potentiaalverschil van punt A tegenover punt B wordt dan

$$V_{AB} = V_A - V_B = +24 - (+18) = +6 \text{ V}$$

De potentiaal in punt A is 6 V hoger dan de potentiaal in punt B.



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond stroomsterkte, stroomzin, potentiaal, potentiaalverschil en spanning.

1.2 Spanning(stroom)-tijd-diagram

Leerdoelen

Hierna kan je:

- een ogenblik, een momentele waarde en de maximale waarde van een spanning (stroom) aflezen in een spanning(stroom)-tijd-diagram.
- een gelijkspanning in een spanning-tijd-diagram herkennen en definiëren.

We kunnen spanningen en stromen indelen volgens het waardenverloop in de tijd. Met een oscilloscoop kunnen we het spanningsverloop registreren.

Figuur 1.4 stelt het verloop van een willekeurige spanning voor. De horizontale as (de X-as in het assenstelsel) is de tijdsas. Een punt op de tijdsas noemen we een tijdstip, een moment of een ogenblik. Op elk ogenblik kan je de bijhorende waarde van de spanning aflezen op de verticale as (de Y-as in het assenstelsel). De waarde op een bepaald tijdstip noemen we de momentele waarde, de ogenblikkelijke waarde of de ogenblikswaarde.

Als symbool gebruiken we altijd een kleine letter. Als we in figuur 1.4 een eerste tijdstip $t_1 = 5$ s beschouwen, dan is de momentele waarde $u_1 = 9$ V. Op een tweede tijdstip $t_2 = 15$ s is de momentele waarde $u_2 = 4$ V. Op het ogenblik $t = 10$ s heeft de spanning de grootste momentele waarde, $u = 20$ V. De grootste momentele waarde van een spanning noemen we de maximale waarde. Als symbool voor de maximale waarde gebruiken we een hoofdletter met index m, U_m , soms ook $U_{\max}$.

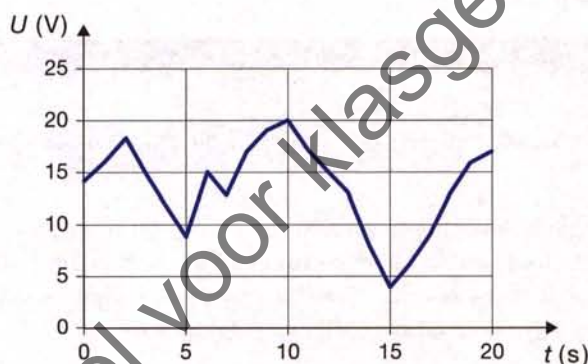


Fig. 1.4 Verloop van een willekeurige gelijkspanning

In andere publicaties wordt ook $\hat{u}$ als symbool voor de maximale waarde gebruikt.

In figuur 1.4 zijn alle momentele waarden positief; de grafiek van de spanning ligt volledig boven de tijdsas.

Om een spanning-tijd-diagram op te nemen, meten we de spanning met een meetprobe, die we via een coaxiale kabel met een BNC-connector aansluiten op een ingang van een oscilloscoop. Het centrale pinnetje van de BNC-connector is verbonden met de centrale geleider van de coaxiale kabel en noemen we 'het warme punt' van de meetprobe. De metalen behuizing van de BNC-connector is verbonden met de afscherming van de coaxiale kabel en vormt de massa van de oscilloscoop en de meetprobe. De potentiaal van een punt op de tijdsas in het spanning-tijd-diagram is 0 V. De tijdsas van het spanning-tijd-diagram valt samen met de nullijn van de oscilloscoop. Als we de massa van de oscilloscoop aansluiten op de minpool van de bron en het warme punt op de pluspool van de bron, zoals in figuur 1.5, dan is de momentele waarde altijd positief. Als we het spanning-tijd-diagram opnemen zoals in figuur 1.6, dan is de momentele waarde altijd negatief.

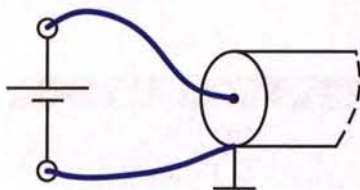


Fig. 1.5 Een positieve spanning meten

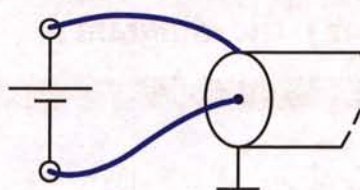


Fig. 1.6 Een negatieve spanning meten

Een gelijkspanning is een spanning waarvan de momentele waarden ofwel altijd positief, ofwel altijd negatief zijn. Het verloop van een gelijkspanning in een spanning-tijd-diagram kan de tijdsas raken, maar niet snijden.

Toelichting

Benoemen van de verticale as in een spanning-tijd-diagram

Hoewel er een onderscheid is tussen spanning en potentiaalverschil, namelijk het polariteitsteken, benoemen we bij de verticale as van het diagram altijd de betreffende grootte. In de voorgaande leerstof betrof dit de spanning, met het symbool U .

1.3 Constante gelijkspanning

Leerdoel

Hierna kan je:

- een constante gelijkspanning in een spanning-tijd-diagram voorstellen.

Bij de studie van de gelijkstroomkringen zijn we er altijd van uitgegaan dat de waarde van de spanning van de gelijkspanningsbron altijd constant blijft. Een gelijkspanning waarvan de momentele waarde altijd gelijk blijft, noemen we een constante gelijkspanning. Figuur 1.7 stelt het spanning-tijd-diagram van een constante, positieve gelijkspanning voor.

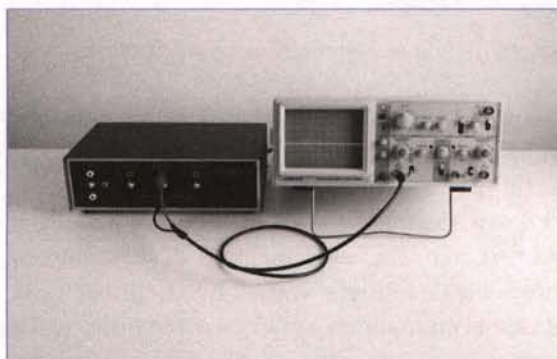
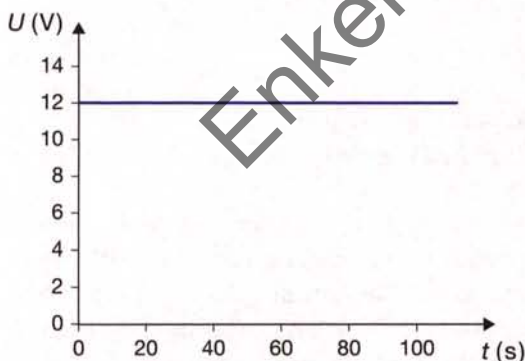


Fig. 1.7 Spanning-tijd-diagram van een constante gelijkspanning

Als we de spanning van een constante gelijkspanning meten met een voltmeter op stand DC, afkorting van het Engelse Direct Current, dan toont het meettoestel altijd dezelfde waarde, $U = u$.



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het meten van stromen, spanningen, potentialen en het bepalen van het waardenverloop van een positieve en/of negatieve, constante gelijkspanning.

1.4 Blokvormige gelijkspanning

Leerdoelen

Hierna kan je:

- aan de hand van een elektrisch schema duiden hoe uit een constante gelijkspanning een symmetrische of asymmetrische blokvormige gelijkspanning afgeleid wordt.
- de periode aanduiden in het spanning-tijd-diagram van een periodieke spanning.
- het symbool en de eenheid van de periode weergeven.
- de definitie van de frequentie formuleren.
- het symbool en de eenheden van de frequentie weergeven.
- het verband tussen frequentie en periode toelichten.
- de definitie van de werkverhouding van een blokvormige spanning in een formule weergeven en berekenen.
- de spanning meten met een voltmeter en de betekenis van de gemiddelde waarde van een gelijkspanning verduidelijken in een spanning-tijd-diagram.
- de algemene formule van de gemiddelde waarde van een gelijkspanning neerschrijven.
- de gemiddelde waarde van een blokvormige gelijkspanning definiëren.
- de gemiddelde waarde van een blokvormige gelijkspanning berekenen.

1.4.1 Ontstaan van een blokvormige gelijkspanning uit een constante gelijkspanning

Als we in figuur 1.8 de schakelaar S herhaaldelijk voor een bepaalde tijd sluiten (t_{puls}), en openen (t_{pauze}) heeft de spanning over de weerstand de vorm weergegeven in het spanning-tijd-diagram van figuur 1.9. Als t_{puls} even lang is als t_{pauze} , noemen we dit een symmetrische, blokvormige gelijkspanning. Als de twee tijden verschillend zijn, zoals voorgesteld in figuur 1.10, noemen we dit een asymmetrische, blokvormige gelijkspanning.

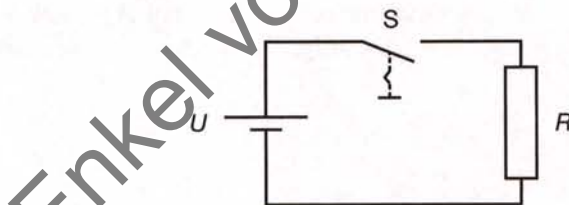


Fig. 1.8 Opwekken van een blokvormige gelijkspanning

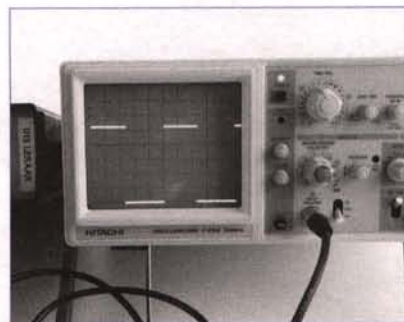
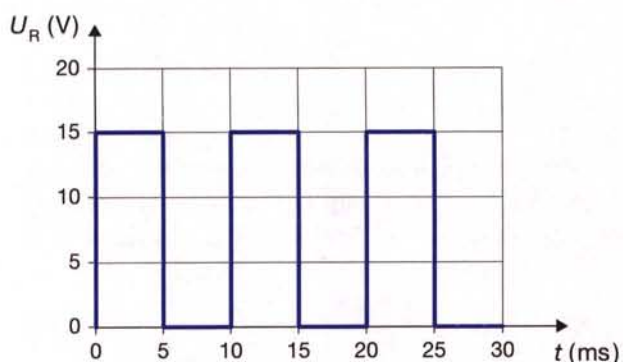


Fig. 1.9 Spanning-tijd-diagram van een symmetrische, blokvormige gelijkspanning

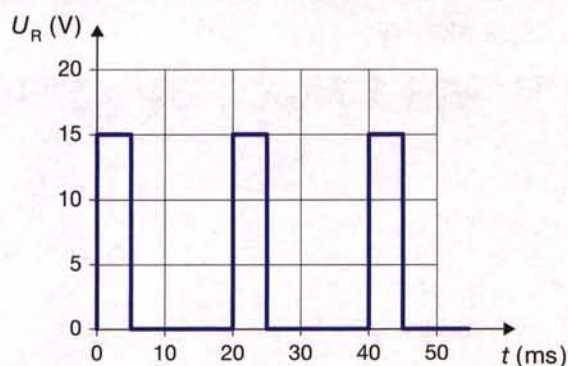


Fig. 1.10 Spanning-tijd-diagram van een asymmetrische, blokvormige gelijkspanning

1.4.2 Periode

De in figuren 1.9 en 1.10 voorgestelde spanningen verlopen niet willekeurig, maar volgens bepaalde wetmatigheden. De voorgestelde blokspanningen zijn gelijkspanningen die na bepaalde gelijke tijdsintervallen (perioden T) telkens dezelfde kenmerken aannemen. De periode stellen we voor door het symbool T en de eenheid is de seconde (s).

1.4.3 Cyclus

Het waardenverloop dat zich per vaste tijdsperiode op een identieke wijze herhaalt, noemen we een cyclus. De tijd die nodig is om een cyclus te doorlopen of de duur van een cyclus noemen we de periode.

1.4.4 Frequentie

Onder frequentie van een periodieke grootheid verstaan we het aantal perioden in een seconde, m.a.w. het aantal beschreven cycli per seconde. De frequentie stellen we voor door het symbool f . Het verband tussen f en T :

$$f = \frac{1}{T}$$

De frequentie is dus het omgekeerde van de periode. De frequentie drukken we uit in /s (per seconde) of s^{-1} , ook wel hertz (Hz) genoemd.

1.4.5 Werkverhouding

Bij blokvormige signalen noemen we de verhouding tussen de pulsduur en de periode de werkverhouding (of duty cycle). Deze werkverhouding geeft een maat van het mogelijk af te leveren actief vermogen. De werkverhouding stellen we voor door het symbool δ (de kleine Griekse letter delta) en drukken we uit in procent.

$$\delta = \frac{t_{\text{puls}}}{T} \times 100 (\%)$$

1.4.6 Voorgaande begrippen, toegepast op figuur 1.9 en 1.10

In figuur 1.9 is:

$$t_{\text{puls}} = 5 \text{ ms}, t_{\text{pauze}} = 5 \text{ ms},$$

$$\text{De periode } T = t_{\text{puls}} + t_{\text{pauze}} = 10 \text{ ms} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0,010 \text{ s}$$

$$\text{De frequentie } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,010} = 100 \text{ Hz}$$

$$\text{De werkverhouding } \delta = \frac{t_{\text{puls}}}{T} \times 100 (\%) = \frac{5}{10} \times 100 = 50 \%$$

In figuur 1.10 is:

$$t_{\text{puls}} = 5 \text{ ms}, t_{\text{pauze}} = 15 \text{ ms},$$

$$\text{De periode } T = t_{\text{puls}} + t_{\text{pauze}} = 20 \text{ ms} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0,020 \text{ s}$$

$$\text{De frequentie } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,020} = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{De werkverhouding } \delta = \frac{t_{\text{puls}}}{T} \times 100 (\%) = \frac{5}{20} \times 100 = 25 \%$$

1.4.7 Meten van blokvormige gelijkspanning

Als we de spanning van een blokvormige gelijkspanning meten met een voltmeter op meetstand DC, dan toont het meettoestel de gemiddelde waarde van de spanning. Als symbool voor de gemiddelde waarde gebruiken we een hoofdletter met index gem, U_{gem} ; soms ook U_{av} waarbij av de afkorting is van het Engelse average.

1.4.8 Gemiddelde waarde van een blokvormige gelijkspanning berekenen

Om de gemiddelde waarde van een periodieke spanning te berekenen, verdelen we een periode in gelijke delen. We bepalen de momentele waarde in het midden van elk deel. De gemiddelde waarde over een periode is dan de som van alle ogenblikkelijke waarden gedeeld door het aantal waarden.

$$U_{\text{gem}} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n}$$

Als we in figuur 1.9 de eerste periode verdelen in 10 gelijke delen ($n = 10$), dan bekomen we de resultaten van tabel 1.1.

t_i (ms)	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
u_i (V)	15	15	15	15	15	0	0	0	0	0

Tabel 1.1 Gemiddelde waarde berekenen

De som van de momentele waarden $\sum u_i = 75$

Met $n = 10$ wordt de gemiddelde waarde dan:

$$U_{\text{gem}} = \frac{75}{10} = 7,5 \text{ V} = 0,5 \cdot U_m$$

In wezen komt het bepalen van de gemiddelde waarde neer op het gelijkmatig verdelen van de oppervlakte onder de puls over de duur van 1 periode.

Toegepast op figuur 1.9 geeft dit de volgende gelijkheid:

$$U_m \cdot t_{\text{puls}} = U_{\text{gem}} \cdot T$$

Waaruit volgt:

$$U_{\text{gem}} = \frac{t_{\text{puls}}}{T} U_m = \delta U_m$$

In figuur 1.11 betekent dit dat de gearceerde oppervlaktes even groot moeten zijn.

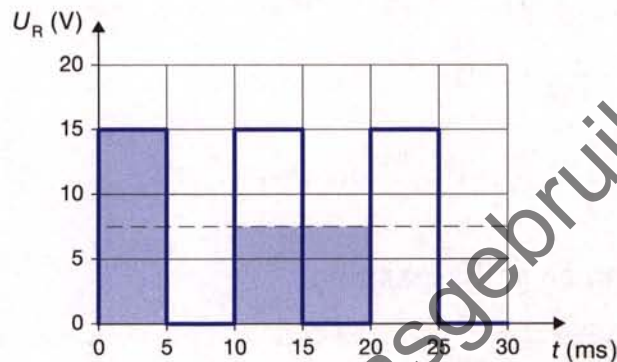


Fig. 1.11 Betekenis van de gemiddelde spanningswaarde

Toegepast op de asymmetrische blokvormige gelijkspanning van figuur 1.10 levert dit het volgende resultaat:

$$U_m \cdot t_{\text{puls}} = U_{\text{gem}} \cdot T$$

$$U_{\text{gem}} = \frac{t_{\text{puls}}}{T} U_m = \delta U_m$$

$$U_{\text{gem}} = \frac{5}{20} \cdot U_m = 0,25 \cdot U_m = 0,25 \cdot 15 = 3,75 \text{ V}$$

U_{gem} is een vierde van U_m .

Voor een blokvormige gelijkspanning die verandert tussen 0 en U_m geldt algemeen dat

$$U_{\text{gem}} = \delta \cdot U_m$$



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het opnemen van het spanning-tijd-diagram van blokvormige gelijkspanningen.

1.4.9 Gemiddelde waarde van een blokvormige gelijkstroom berekenen

Als we de spanning van figuur 1.10 aansluiten op een gelijkstroomweerstand van $5\ \Omega$, dan vloeit er enkel een stroom in de kring tijdens t_{puls} . Tijdens de pulsduur is de stroomsterkte op elk ogenblik $i = I_m = U_m/R = 15/5 = 3\text{ A}$. Figuur 1.12 stelt het stroom-tijd-diagram in de kring voor.

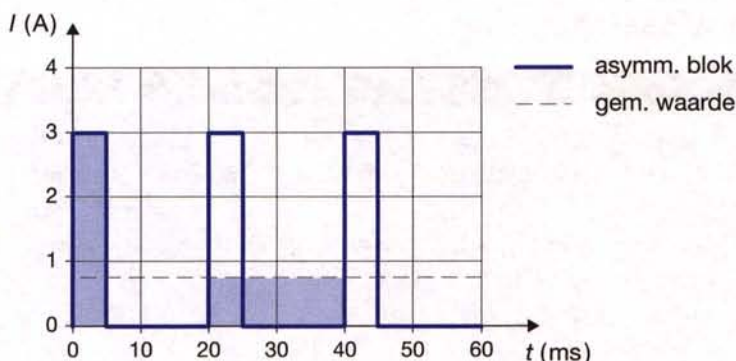


Fig. 1.12 Definiëring van de gemiddelde stroomwaarde

De gemiddelde waarde van de stroomsterkte is $I_{\text{gem}} = U_{\text{gem}}/R = 3,75/5 = 0,75\text{ A}$.

De oppervlakte van de linkse, gearceerde rechthoek in het stroom-tijd-diagram van figuur 1.12 is $I_m \times t_{\text{puls}} = 3\text{ A} \times 5\text{ ms} = 15\text{ mAs} = 15\text{ mC}$ en stelt de hoeveelheid elektriciteit of lading $Q = I \cdot t$ voor die in een periode door de gelijkstroomweerstand verplaatst wordt. De oppervlakte van de rechtse, gearceerde rechthoek is $I_{\text{gem}} \times T = 0,75\text{ A} \times 20\text{ ms} = 15\text{ mAs} = 15\text{ mC}$ en dus gelijk aan de oppervlakte van de linkse, gearceerde rechthoek.

Onder gemiddelde waarde van een stroom (of spanning) binnen een tijdsinterval verstaan we de waarde die een constante gelijkstroom (of -spanning) moet hebben om in eenzelfde tijdsinterval dezelfde hoeveelheid elektriciteit of lading te verplaatsen als de beschouwde stroom (of spanning).

Toelichtingen

Flanksteilheid van blokvormige spanningen

In het spanning-tijd-diagram van een ideale blokvormige spanning worden de flanken loodrecht op de X-as getekend. In de praktijk is dit onmogelijk, omdat een toestandsverandering nooit plots gebeurt. Bij het beschrijven van een flank worden alle waarden tussen nul en de maximale waarde in een uiterst korte tijd doorlopen.

Blokvormige spanning als informatiedrager in de digitale techniek

In de digitale techniek vormen blokvormige gelijkspanningen de ideale binaire signalen.

In een blokvormig signaal kan je vier delen onderscheiden die allen informatiedragers zijn: het laag niveau (minimumwaarde), de stijgende of positieve flank (= de overgang van het laag naar het hoog niveau), het hoog niveau (maximumwaarde) en de dalende of negatieve flank (= de overgang van het hoog naar het laag niveau).

Hoog en laag niveau van blokvormige spanningen in de praktijk

Door spanningsverliezen over geleiders en weerstanden in de kring zal het hoog niveau van een blokvormige spanning meestal lager zijn dan de maximale waarde van de bronspanning en het laag niveau hoger zijn dan de massapotentiaal.

Blokvormige gelijkspanningen worden in de vermogenelektronica gebruikt om vanuit een gelijkspanningsbron met constante spanning een vermogen te sturen met een regelbare gelijkspanning.

1.5 Blokvormige wisselspanning

Leerdoelen

Hierna kan je:

- aan de hand van een elektrisch schema duiden hoe je vanuit een constante gelijkspanning een blokvormige wisselspanning kan afleiden.
- met behulp van een spanning-tijd-diagram aantonen dat de gemiddelde waarde van een blokvormige wisselspanning nul is.
- wisselspanning of wisselstroom definiëren.
- de algemene formule voor het bepalen van de effectieve waarde van een wisselspanning neerschrijven.
- de effectieve waarde van een blokvormige wisselspanning berekenen.
- de effectieve waarde van een blokvormige wisselstroom definiëren.
- verklaren hoe je het grafisch verloop van een stroom kan bepalen met een oscilloscoop.

1.5.1 Ontstaan van een blokvormige wisselspanning

In figuur 1.13 sluiten we een gelijkstroomweerstand door middel van een schakelaar met twee rustcontacten en twee werkcontacten aan op een gelijkspanningsbron met constante spanningswaarde.

Als we vanaf tijdstip $t = 0$ (fig. 1.14) de schakelaar S met een vaste regelmaat (vaste frequentie) openen en sluiten, kunnen we een spanning-tijd-diagram voor de spanning over de weerstand opnemen zoals in figuur 1.14. Met de stand van de schakelaar zoals in figuur 1.13 zijn de twee rustcontacten gesloten en de twee werkcontacten open, en vloeit er een stroom met stroomsterkte $I = U/R$ vanaf de pluspool van de gelijkspanningsbron, door het contact links boven, door de weerstand van links (+) naar rechts (-), door het contact rechts onder terug naar de minpool van de bron.

Bij omschakelen van de schakelaar S vloeit er een stroom met stroomsterkte $I = U/R$ vanaf de pluspool van de gelijkspanningsbron, door het contact rechts boven, door de weerstand van rechts (+) naar links (-), door het contact links onder terug naar de minpool van de bron en de stroomzin van de stroom door de weerstand ($-I$ bij de pijl in streeplijn op figuur 1.13) is tegengesteld aan de stroomzin in zijn voorafgaande stand ($+I$ bij de pijl in volle lijn op figuur 1.13).

Door de schakelaar om te schakelen kunnen we de zin van de stroom door de weerstand omwisselen. Volgens de wet van Ohm ontstaat er over een gelijkstroomweerstand op elk ogenblik een spanning die evenredig is met de stroomsterkte erdoor, $u = i \cdot R$. Als de stroomzin door de weerstand wijzigt, zal ook de polariteit van de spanning over de weerstand wijzigen en ontstaat er een blokvormige wisselspanning.

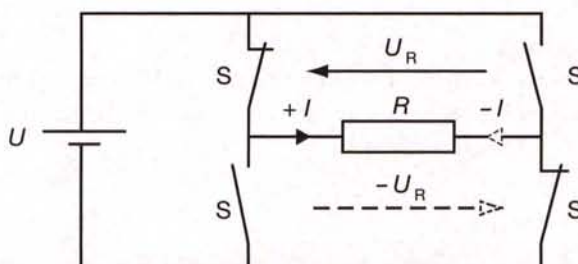


Fig. 1.13 Ontstaan van een blokvormige wisselspanning

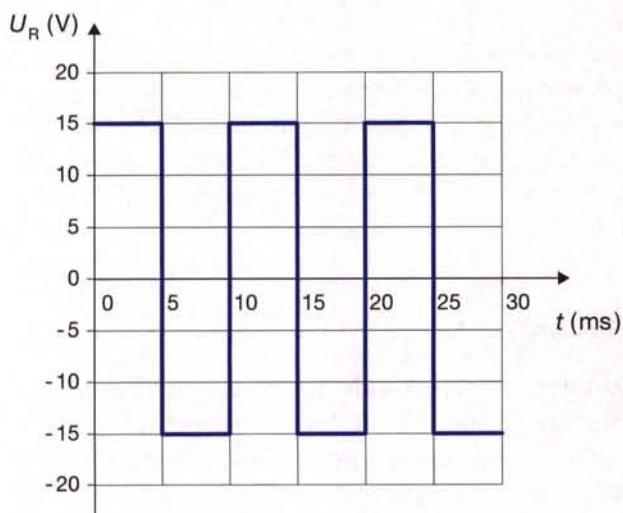


Fig. 1.14 Spanning-tijd-diagram van een blokvormige wisselspanning

1.5.2 Gemiddelde waarde van een wisselspanning

Als we de spanning van de blokvormige spanning van figuur 1.14 meten met een voltmeter op stand DC, dan toont de voltmeter 0 V. De gemiddelde waarde van de spanning is nul, omdat we in de som voor elke positieve waarde later een even grote negatieve waarde optellen. Als we in figuur 1.14 de eerste periode verdelen in 10 gelijke delen ($n = 10$) en we berekenen de gemiddelde waarde, dan bekomen we de resultaten van tabel 1.2.

t_i (ms)	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
u_i (V)	15	15	15	15	15	-15	-15	-15	-15	-15

Tabel 1.2 Gemiddelde waarde berekenen van een wisselspanning

$$n = 10$$

$$\sum u_i = 75 - 75 = 0 \text{ V}$$

$$U_{\text{gem}} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n} = \frac{75 - 75}{10} = 0 \text{ V}$$

Een wisselspanning (ook wisselstroom) is een periodieke spanning (stroom), die zowel positieve als negatieve momentele waarden aanneemt en waarvan de gemiddelde waarde over een volledige cyclus (periode) nul is.

Toelichtingen

Spanning- en stroomverloop

Een symmetrische, blokvormige spanning zoals voorgesteld in figuur 1.14 is een wisselspanning. Als we de spanning aansluiten op een gelijkstroomweerstand, vloeit er een wisselstroom, waarvan het verloop dezelfde vorm heeft als het spanningsverloop.

Wisselende spanning of stroom

Een spanning (of stroom) die zowel positieve als negatieve momentele waarden aanneemt en daarbij geen enkele wetmatigheid vertoont, noemen we een wisselende spanning (of stroom).

Bepalen van het stroomverloop met een oscilloscoop

In serie met de component of kring waardoor we de stroomsterkte willen bepalen, schakelen we een gelijkstroomweerstand, waarvan de weerstandswaarde een verwaarloosbare invloed heeft op de kring. Met een oscilloscoop nemen we het spanning-tijd-diagram van de spanning over de bijkomende weerstand op. Dit spanningsdiagram heeft dezelfde vorm als het stroomverloop. De momentele waarde van de stroomsterkte bekomen we door de momentele waarde van de spanning te delen door de weerstandswaarde van de bijgeschakelde weerstand.

1.5.3 Effectieve waarde van een wisselspanning

In de voorgaande leerstof hebben we aangetoond dat de gemiddelde waarde van de blokvormige wisselspanning, waarvan het verloop voorgesteld is in figuur 1.14, nul is.

We stellen nu vast dat, als we die spanning aansluiten op een gloeilamp, er op elk ogenblik een stroom door de lamp vloeit en dat de lamp altijd even sterk oplicht.

Als we de spanning meten met een voltmeter op stand AC, afkorting van het Engelse Alternating Current, dan toont het meettoestel de effectieve waarde van de spanning. Als symbool voor de effectieve waarde gebruiken we een hoofdletter U of een hoofdletter met index eff, U_{eff} . Soms wordt ook U_{RMS} gebruikt, waarbij RMS de afkorting is van het Engelse Root-Mean Square. Om de effectieve waarde of de RMS-waarde van een wisselspanning te bepalen, berekenen we de wortel (root in het Engels) uit het gemiddelde (mean in het Engels) van de kwadraten (square in het Engels) van de momentele waarden.

Om de effectieve waarde van een wisselspanning te berekenen, verdelen we een periode in gelijke delen. We bepalen de momentele waarde in het midden van elk deel. We nemen het kwadraat van elke momentele waarde, waardoor de negatieve waarden ook een aandeel krijgen in een som. We delen de som van alle kwadraten door het aantal waarden. Ten slotte trekken we de wortel uit dit resultaat om een waarde in volt, de eenheid van spanning, te bekomen.

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}{n}}$$

Om deze formule toe te passen op de wisselspanning van figuur 1.14, verdelen we de eerste periode in 10 delen en noteren we de overeenstemmende momentele waarden in tabel 1.3.

t_i (ms)	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
u_i (V)	15	15	15	15	15	-15	-15	-15	-15	-15
u_i^2 (V ²)	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225

Tabel 1.3 Effectieve waarde berekenen

$$\begin{aligned}n &= 10 \\ \sum u_i &= 0 \\ \sum (u_i)^2 &= 2250\end{aligned}$$

De effectieve waarde is dan:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{2250}{10}} = \sqrt{225} = 15 \text{ V} = U_m$$

De blokvormige wisselspanning van figuur 1.14 heeft hetzelfde effect als een constante gelijkspanning van 15 V. Als we de blokspanning aansluiten op een gloeilamp, dan zal die evenveel oplichten als dezelfde gloeilamp die aangesloten is op 15 V gelijkspanning.

M.a.w. als we de blokspanning aansluiten op een gelijkstroomweerstand, dan zal die in een zelfde tijd evenveel warmte produceren als wanneer de weerstand aangesloten is op een constante gelijkspanning van 15 V.

Onder effectieve waarde van een wisselspanning (of wisselstroom) verstaan we de waarde die een constante gelijkspanning (of -stroom) moet hebben om in een zelfde tijdsinterval in een zelfde gelijkstroomweerstand, dezelfde hoeveelheid energie om te zetten als de beschouwde wisselspanning (of wisselstroom).

Toelichting

De waarde van een wisselspanning of -stroom

Als we verderop spreken over 'de' waarde van een wisselspanning of wisselstroom, dan bedoelen we altijd de effectieve waarde van de spanning of de stroomsterkte. Daarom gebruiken we meestal gewoon een hoofdletter U of I zonder index voor de effectieve waarde.



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het opnemen van het spanning-tijd-diagram van blokvormige wisselspanningen.

1.6 Periodieke spanningen die geen wisselspanning zijn

Leerdoel

Hierna kan je:

- een periodieke spanning die geen wisselspanning is, splitsen in een gelijkspanning met een bepaalde constante gemiddelde waarde en een wisselspanning.

Een periodieke spanning noemen we een wisselspanning als:

- de cyclus zowel positieve als negatieve momentele waarden heeft en
- de gemiddelde waarde over een cyclus genomen, nul is.

Wanneer aan minstens een van deze voorwaarden niet voldaan is, kunnen we niet van een wisselspanning spreken.

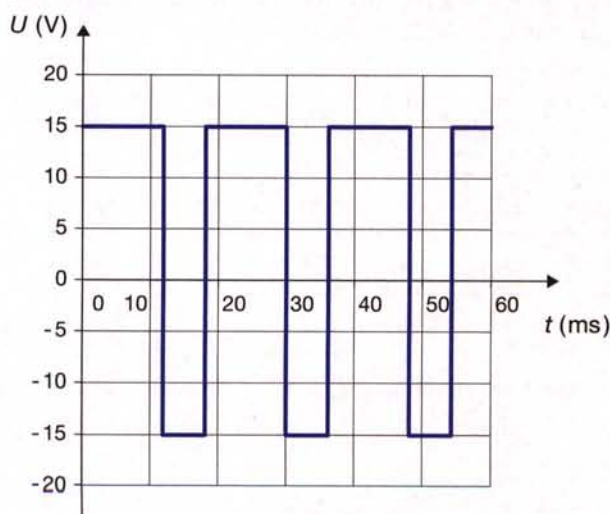


Fig. 1.15 Spanning-tijd-diagram van een periodieke spanning die geen wisselspanning is

Figuur 1.15 stelt een asymmetrische blokvormige spanning voor waarvan de eerste dalende flank optreedt op $t = 12$ ms, met een periode $T = 18$ ms.

We verdelen de eerste periode in 9 gelijke delen ($n = 9$) en per deel noteren we de momentele waarde in tabel 1.4.

t_i (ms)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	$n = 9$
u_i (V)	15	15	15	15	15	15	-15	-15	-15	$\Sigma u_i = 45$

Tabel 1.4 Gemiddelde waarde van een periodieke spanning die geen wisselspanning is

De gemiddelde waarde is dan:

Bij $n = 9$

en $\Sigma u_i = 90 - 45 = 45$

is $U_{\text{gem}} = \frac{45}{9} = 5 \text{ V}$

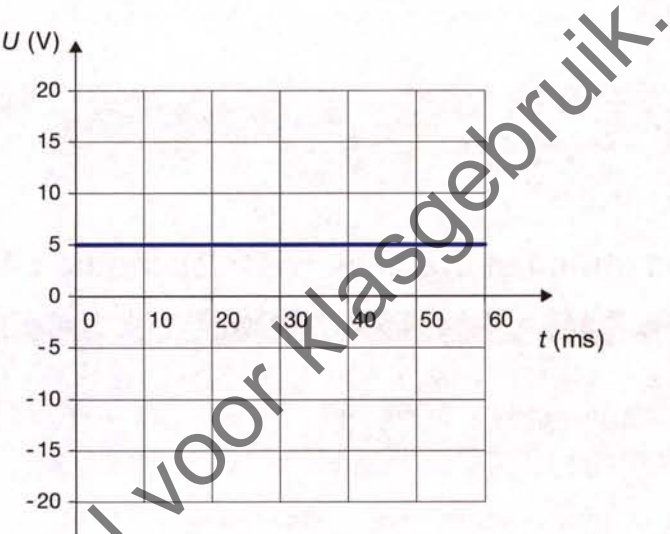


Fig. 1.16 Gemiddelde waarde van de spanning van figuur 1.15

Uit het spanning-tijd-diagram van figuur 1.16 blijkt dat de gemiddelde waarde een constante gelijkspanning is.

In tabel 1.5 berekenen we de waarde u_{AC} als het verschil van de ogenblikkelijke waarde van de spanning in figuur 1.15 en haar gemiddelde waarde.

$$u_{AC} = u - U_{\text{gem}}$$

t_i (ms)	1	3	5	7	9	11	13	15	17	$n = 9$
u_i (V)	15	15	15	15	15	15	-15	-15	-15	$\Sigma u_i = 45$
u_{iAC} (V)	10	10	10	10	10	10	-20	-20	-20	$\Sigma u_{iAC} = 0$

Tabel 1.5 Wisselspanningscomponent van een periodieke spanning die geen wisselspanning is

Bij $n = 9$

en $\Sigma u_i = 45$

is $\Sigma u_{iAC} = 0$

Uit tabel 1.5 blijkt dat U_{AC} een wisselspanning is. Figuur 1.17 stelt het spanning-tijd-diagram van U_{AC} voor.

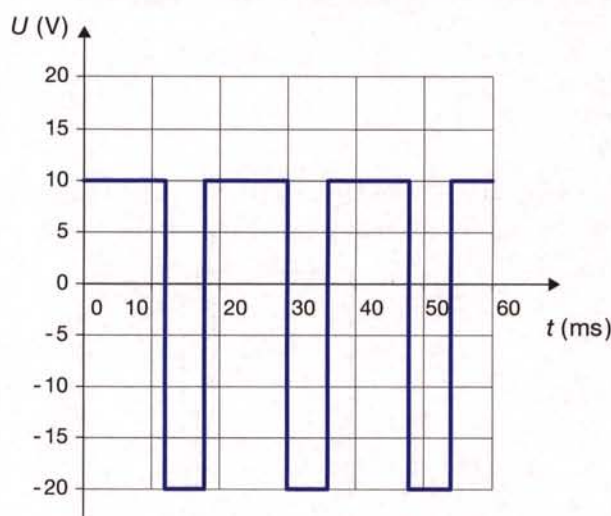


Fig. 1.17 Wisselspanningscomponent van de spanning van figuur 1.15

Uit voorgaande vaststellingen kunnen we besluiten dat we elke periodieke spanning die geen wisselspanning is (zoals in figuur 1.15), kunnen beschouwen als de som van een constante gelijkspanning met waarde gelijk aan de gemiddelde waarde U_{gem} van de beschouwde spanning (voorgesteld in figuur 1.16) en een wisselspanning (voorgesteld in figuur 1.17).

We zeggen: een periodieke spanning die geen wisselspanning is, bestaat uit een wisselspanningscomponent gesuperponeerd op de gemiddelde gelijkspanningswaarde.

Toelichtingen

Het gebruik van de DC/AC-omschakelaar bij een oscilloscoop

Als we het spanning-tijd-diagram van een spanning die geen wisselspanning is opnemen met een oscilloscoop op stand DC, dan zien we op het scherm het spanning-tijd-diagram van het volledige signaal, d.i. de wisselspanningscomponent die gesuperponeerd is op de gemiddelde waarde (figuur 1.15).

Als we het spanning-tijd-diagram van een spanning die geen wisselspanning is opnemen met een oscilloscoop op stand AC, dan zien we op het scherm enkel het spanning-tijd-diagram van de wisselspanningscomponent (figuur 1.16).

Anders gesteld:

Als we het spanning-tijd-diagram van een spanning die geen wisselspanning is, opnemen met een oscilloscoop op stand DC en dan overschakelen naar AC, dan verschuift de grafiek verticaal over een afstand die gelijk is aan de gemiddelde waarde. De grafiek schuift naar beneden als de gemiddelde waarde van de beschouwde spanning positief is en naar boven als de gemiddelde waarde negatief is.

Het gebruik van een functiegenerator

In het labo elektriciteit beschikken we over een functiegenerator om periodieke spanningen op te wekken. We kunnen de frequentie en de maximale waarde instellen.

Met de offsetsturing kunnen we de spanning superponeren op een constante gelijkspanning. Naast de blokvormige spanningen kunnen we meestal ook driehoekvormige en sinusvormige spanningen opwekken. Die spanningen voldoen ook aan de beschouwingen en berekeningen van de gemiddelde en effectieve waarde en de gelijkspanningscomponent van deze leereenheid.



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het opnemen van het spanning-tijd-diagram van een periodieke spanning die geen wisselspanning is.

1.7 Voorbeelden

- 1 Bereken voor het elektrisch schema van figuur 1.18 het potentiaalverschil van het punt A tegenover het punt B aan de hand van de potentiaal in punt A en de potentiaal in punt B.

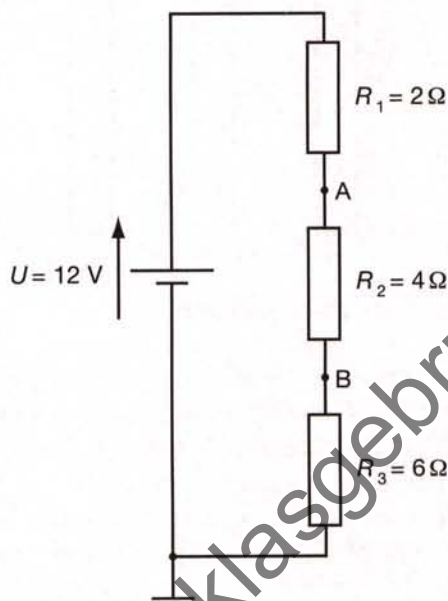


Fig. 1.18 Potentiaalberekening bij voorbeeld 1

Oplossing: We nemen de minpool van de bron als massa (referentiepunt) voor de schakeling.

De vervangingsweerstand van de kring is:

$$R_v = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 4 + 6 = 12 \, \Omega$$

De sterkte van de stroom kunnen we berekenen met de wet van Ohm.

$$I = \frac{U}{R_v} = \frac{12}{12} = 1 \, \text{A}$$

De stroomzin kunnen we bepalen aan de hand van de polen van de bron. De stroom vloeit door elke weerstand van + naar -.

Over elke weerstand staat een spanning.

$$U_1 = I \cdot R_1 = 1 \cdot 2 = 2 \, \text{V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 1 \cdot 4 = 4 \, \text{V}$$

$$U_3 = I \cdot R_3 = 1 \cdot 6 = 6 \, \text{V}$$

De potentiaal van de pluspool van de bron is 12 V hoger dan de potentiaal van de minpool van de bron, die we beschouwen als massa.

$$V_+ = +12 \, \text{V}$$

De potentiaal in punt A is 2 V lager dan de potentiaal van de pluspool van de bron.

$$V_A = V_+ - U_1 = +12 - 2 = +10 \, \text{V}$$

De potentiaal in punt B is 6 V hoger dan de potentiaal van de minpool van de bron.

$$V_B = V_- + U_3 = 0 + 6 = +6 \text{ V}$$

Het potentiaalverschil van punt A tegenover punt B wordt dan

$$V_{AB} = V_A - V_B = +10 - (+6) = +4 \text{ V}$$

De potentiaal in punt A is 4 V hoger dan de potentiaal in punt B.

- 2 Stel in figuur 1.18 aan de hand van voorafgaande oplossing, de verschillende spanningen, potentiaalverschillen en potentialen met hun zin op een grafische wijze voor.

Oplossing: Figuur 1.19 stelt de zin van alle spanningen, potentiaalverschillen en potentialen van figuur 1.18 voor.

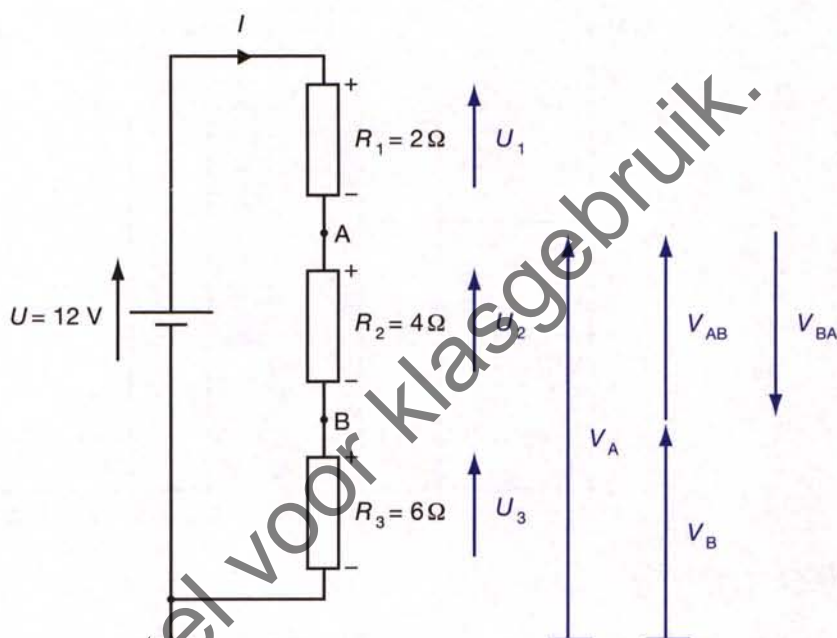


Fig. 1.19 Oplossing voorbeeld 2

- 3 Gegeven: het stroom-tijd-diagram van figuur 1.20.

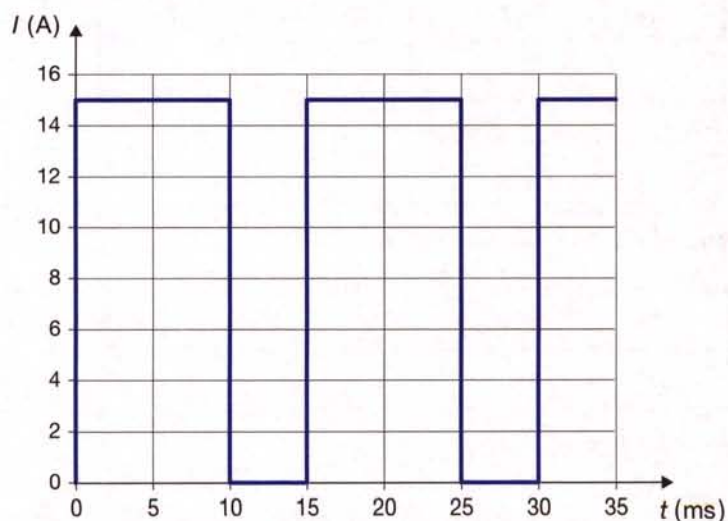


Fig. 1.20 Asymmetrische, blokvormige gelijkstroom bij voorbeeld 3

Gevraagd: – duid op de figuur de periode, de pulsduur en de pauzeduur aan met de correcte symbolen
 – bepaal de periode
 – bereken de frequentie.

Oplossing: Op figuur 1.21 duiden we de pulsduur aan met t_{puls} , de pauzeduur met t_{pauze} en de periode met T .
 Op figuur 1.20 lezen we af dat de periode $T = 15 \text{ ms}$.
 De periode kunnen we ook bepalen als de som van de pulsduur en de pauzeduur:
 $T = t_{\text{puls}} + t_{\text{pauze}} = 10 + 5 = 15 \text{ ms}$
 De frequentie is het omgekeerde van de periode:
 De frequentie $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,015} = 67 \text{ Hz}$

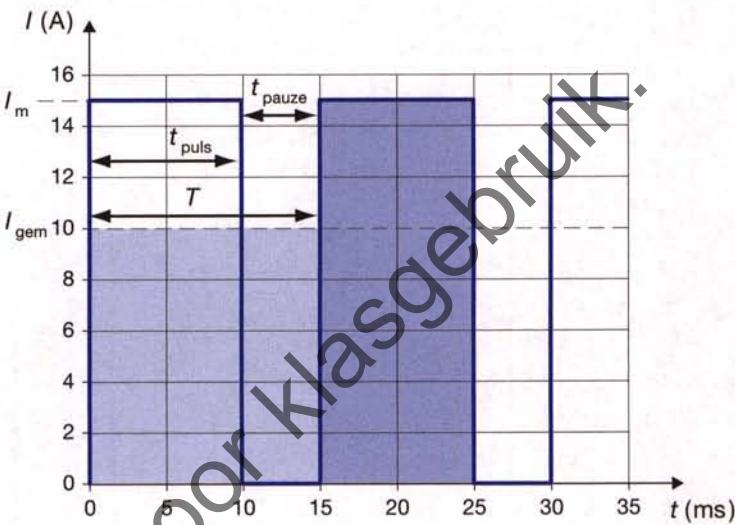


Fig. 1.21 Oplossing voorbeeld 3

4 Vul aan de hand van figuur 1.20 de ogenblikkelijke waarden in tabel 1.6 aan en bereken de gemiddelde waarde van de stroomsterkte. Duid in figuur 1.20 de gemiddelde waarde van de stroomsterkte aan.

$t_i \text{ (ms)}$	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75
$i_i \text{ (A)}$						

Tabel 1.6 Ogenblikkelijke waarden van voorbeeld 2

Oplossing: Als we in figuur 1.20 de eerste periode verdelen in 6 gelijke delen ($n=6$) dan be-
 komen we de resultaten van tabel 1.7.

$t_i \text{ (ms)}$	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75
$i_i \text{ (A)}$	15	15	15	15	0	0

Tabel 1.7 Ingevulde tabel 1.6

De som van de momentele waarden $\Sigma u_i = 60$

Met $n = 6$ wordt de gemiddelde waarde dan:

$$I_{\text{gem}} = \frac{60}{6} = 10 \text{ A}$$

Op figuur 1.21 tekenen we de gemiddelde waarde als een constante gelijkspanning die we aanduiden met I_{gem} .

5 Gegeven: figuur 1.20

Gevraagd: – duid de maximale waarde aan met het correcte symbool
– bereken de werkverhouding
– bereken de gemiddelde waarde uitgaande van de werkverhouding
– bereken de hoeveelheid elektriciteit die door de stroom in een periode verplaatst wordt aan de hand van de maximale waarde en de gemiddelde waarde.

Oplossing: Op figuur 1.21 duiden we de maximale waarde aan met I_m .

$$\text{De werkverhouding } \delta = \frac{t_{\text{puls}}}{T} \times 100 (\%) = \frac{10}{15} \times 100 = 67 \%$$

De gemiddelde waarde van een blokvormige gelijkstroom die varieert tussen 0 en I_m kunnen we ook berekenen aan de hand van de werkverhouding:

$$I_{\text{gem}} = \frac{t_{\text{puls}}}{T} \cdot I_m = \delta \cdot I_m = 0,67 \cdot 15 = 10 \text{ A}$$

De hoeveelheid elektriciteit die door de stroom verplaatst wordt in een periode kunnen we berekenen aan de hand van de maximale waarde:

$$Q = I_m \times t_{\text{puls}} = 15 \text{ A} \times 10 \text{ ms} = 150 \text{ mAs} = 150 \text{ mC}$$

(rechtse gearceerde rechthoek in het stroom-tijd-diagram van figuur 1.21)

De hoeveelheid elektriciteit die door de stroom verplaatst wordt in een periode kunnen we ook berekenen aan de hand van de gemiddelde waarde:

$$Q = I_{\text{gem}} \times T = 10 \text{ A} \times 15 \text{ ms} = 150 \text{ mAs} = 150 \text{ mC}$$

(linkse gearceerde rechthoek in het stroom-tijd-diagram van figuur 1.21)

6 Teken in figuur 1.22 de wisselstroomcomponent van de in figuur 1.20 voorgestelde stroom.

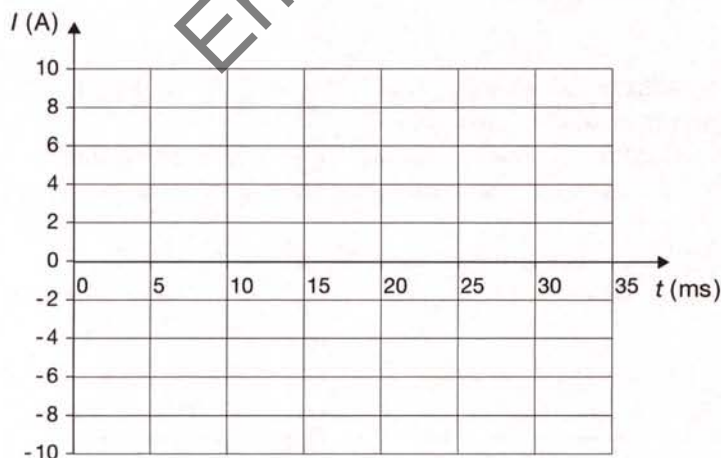


Fig. 1.22 Stroomsterkte-tijd-diagram bij voorbeeld 6

Oplossing: De wisselstroomcomponent van de stroom bekomen we door het stroomverloop in het stroom-tijd-diagram verticaal te verschuiven over een afstand die gelijk is aan de gemiddelde waarde. We moeten de grafiek naar beneden schuiven omdat

de gemiddelde waarde positief is. Het stroomverloop van de wisselstroomcomponent geven we weer in figuur 1.23.

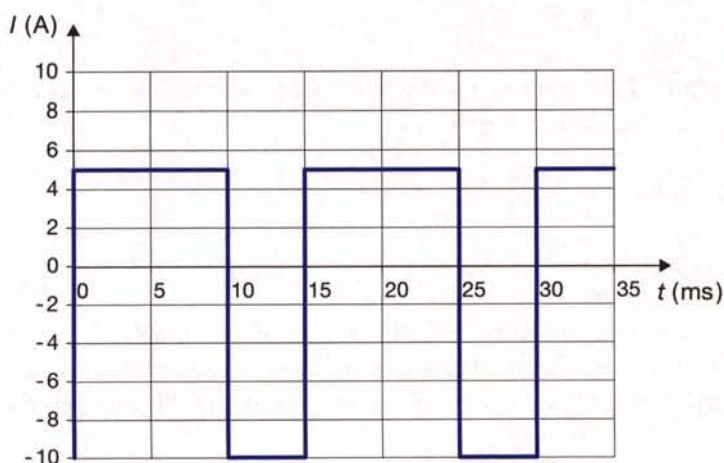


Fig. 1.23 Oplossing voorbeeld 6

- 7 Bereken de gemiddelde waarde van de wisselstroomcomponent van figuur 1.23 aan de hand van het invullen van tabel 1.8. Toon aan dat de wisselstroomcomponent een wisselstroom is.

t_i (ms)	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75
i_i (A)						

Tabel 1.8 Waarden bij voorbeeld 7

Oplossing: Als we in figuur 1.23 de ogenblikkelijke waarden aflezen, bekomen we de waarden van tabel 1.9.

t_i (ms)	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75
i_i (A)	5	5	5	5	-10	-10

Tabel 1.9 Ingevulde tabel 1.8

$n = 6$

De som van de ogenblikkelijke waarden is nul ($\sum u_i = 0$), zodat de gemiddelde waarde van de wisselstroomcomponent nul is.

De stroom uit figuur 1.23 is een wisselstroom want hij is periodiek, hij heeft zowel positieve als negatieve waarden en de gemiddelde waarde over een cyclus genomen is nul.

- 8 Bereken de effectieve waarde van de wisselstroomcomponent van figuur 1.23 aan de hand van het invullen van tabel 1.10.

t_i (ms)	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75
i_i (A)						
i_i^2 (A ²)						

Tabel 1.10 Waarden bij voorbeeld 8

Oplossing: De ogenblikkelijke waarden kunnen we overnemen uit tabel 1.9. We berekenen het kwadraat van elke ogenblikkelijke waarde. De resultaten nemen we op in tabel 1.11.

t_i (ms)	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75
i_i (A)	5	5	5	5	-10	-10
i_i^2 (A ²)	25	25	25	25	100	100

Tabel 1.11 Ingevulde tabel 1.10

Voor de effectieve waarde maken we eerst de som van de kwadraten van de ogenblikkelijke waarden:

$$\Sigma (i_i)^2 = 25 + 25 + 25 + 25 + 100 + 100 = 300$$

De effectieve waarde is dan:

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{300}{6}} = \sqrt{50} = 7 \text{ A}$$

1.8 Opdrachten

- 1 Een weerstand van 22Ω en een weerstand van 47Ω zijn in serie aangesloten op een gelijkspanningsbron van 12 V. De weerstand van 22Ω is verbonden met de plusklem van de bron. Bereken de potentiaal in het knooppunt A van de twee weerstanden als we de plusklem van de bron beschouwen als massa.
- 2 Een positieve, blokvormige gelijkspanning varieert tussen 0 en 20 V. De cyclus van de spanning duurt 10 ms en de werkverhouding is 20 %. Bereken de frequentie, de pulsduur, de pauzeduur en de gemiddelde waarde van de spanning.
- 3 Een symmetrische, blokvormige wisselspanning met een frequentie van 1 kHz varieert tussen -15 V en +15 V. In het spanning-tijd-diagram start de pulsduur op $t = 0$. Bepaal de momentele waarde van de spanning op het ogenblik $t = 700 \mu\text{s}$.
- 4 Gegeven het spanning-tijd-diagram van figuur 1.24. Bepaal de ogenblikkelijke waarde op $t = 16 \text{ ms}$, bepaal de periode, en bereken de frequentie.

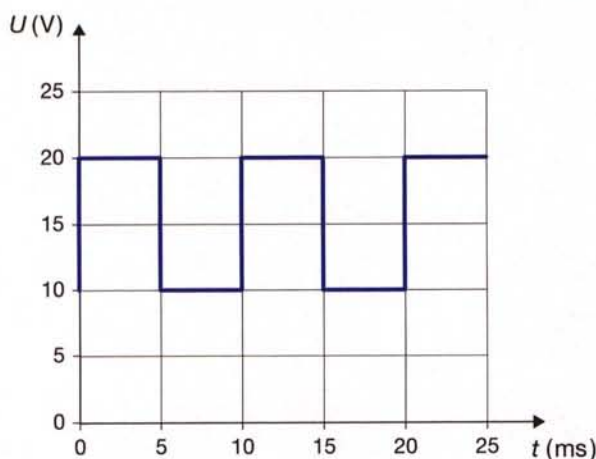


Fig. 1.24 Spanning-tijd-diagram bij opdracht 4

- 5 Bereken de gemiddelde waarde van de gelijkspanning van figuur 1.24.
- 6 Bereken de effectieve waarde van de wisselspanningscomponent van de gelijkspanning van figuur 1.24.



Op de cd-rom vind je een diagnostische toets en extra taken.

Enkel voor klasgebruik.

SYNTHESE

Soorten spanningen

1 *Spanning, potentiaalverschil, massa, potentiaal*

Een gelijkspanningsbron levert een spanning U .

Een **spanning** heeft een waarde, maar geen polariteitsteken.

Het **potentiaalverschil** tussen twee punten heeft dezelfde waarde als de spanning, maar heeft wel een polariteitsteken.

In een elektrische kring kiezen we een punt waarvan we de potentiaal in dat punt beschouwen als 0 V. Dat punt noemen we de **massa**.

De **potentiaal** in een punt van een elektrische kring is het potentiaalverschil tussen dat punt en de massa.

2 *Soorten spanningen*

De spanningen delen we in volgens hun waardenverloop in het spanning-tijd-diagram.

Een **gelijkspanning** is een spanning waarvan de momentele waarden ofwel altijd positief ofwel altijd negatief zijn.

Een **constante gelijkspanning** noemen we een gelijkspanning waarvan de momentele waarde altijd gelijk blijft.

De grafiek van een gelijkspanning in een tijddiagram kan de tijdsas raken, maar niet snijden.

Een **periodieke spanning** is een spanning waarvan het verloop in het spanning-tijd-diagram na gelijke tijdsintervallen (perioden) telkens dezelfde kenmerken aanneemt.

Door een constante gelijkspanning met een bepaalde regelmaat in- en uit te schakelen ontstaat over een verbruiker een **blokvormige gelijkspanning**. Een blokvormige gelijkspanning noemen we symmetrisch als de pulsduur even lang is als de pauzeduur, en asymmetrisch als de pulsduur niet even lang is als de pauzeduur.

Een **wisselende spanning** is een spanning die zowel positieve als negatieve waarden aanneemt en die daarbij geen enkele wetmatigheid vertoont.

Een **wisselspanning** is een periodieke spanning, die zowel positieve als negatieve waarden aanneemt en waarvan de gemiddelde waarde over een periode nul is.

Elke **periodieke spanning die geen wisselspanning is**, kunnen we beschouwen als som van een constante gelijkspanning met waarde gelijk aan de gemiddelde waarde van de beschouwde spanning en een wisselspanning.

Dezelfde begrippen gelden ook voor stromen.

3 *De waarde van een spanning (of stroom)*

Het spanningsverloop bepalen we met een oscilloscoop. De waarde op een bepaald tijdstip noemen we de momentele waarde, de ogenblikkelijke waarde ook ogenblikswaarde en we stellen ze voor door een kleine letter u (i).

De grootste ogenblikkelijke waarde noemen we de maximale waarde en stellen we voor door U_m , $U_{\max}$ of $\hat{u}$ (I_m , $I_{\max}$ of $\hat{i}$).

Met een volt(ampère)meter op stand DC meten we de gemiddelde waarde van een gelijkspanning, en we stellen ze voor door U_{gem} of U_{av} (I_{gem} of I_{av}).

$$U_{\text{gem}} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n} = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n}$$

Met een volt(ampère)meter op stand AC meten we de effectieve waarde van een wisselspanning, en we stellen ze voor door U , U_{eff} of U_{RMS} (I , I_{eff} of I_{RMS}).

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}{n}}$$

4 Periode en frequentie

Bij periodieke spanningen (stromen) noemen we het waardenverloop dat zich per vaste tijdsperiode op een identieke wijze herhaalt, de cyclus.

De tijd die nodig is om een cyclus te doorlopen of de duur van een cyclus noemen we de periode. De periode stellen we voor door het symbool T en de eenheid is de seconde.

Onder frequentie van een periodieke spanning (stroom) verstaan we het aantal perioden in een seconde, m.a.w. het aantal beschreven cycli per seconde. De frequentie stellen we voor door het symbool f en de eenheid is /s (per seconde) of s^{-1} , ook wel hertz (Hz) genoemd.

Het verband tussen f en T :

$$f = \frac{1}{T}$$



Hogesnelheidstrein