



Inhoudsopgave

7	Halfgeleiding, halfgeleiderdioden en hun toepassing	3
7.1	Wat leer je in dit hoofdstuk.....	3
7.2	Halfgeleidermateriaal.....	3
7.2.1	N- en P-materiaal.....	3
7.2.2	P- en N-materiaal; PN-overgang.....	3
7.2.3	De halfgeleiderdiode	6
7.3	Enkele eigenschappen en toepassingen van dioden.....	6
7.3.1	Inleiding.....	6
7.3.2	Lekstroom	7
7.3.3	Gelijkrichting en dissipatie	7
7.3.4	Diodecapaciteit	7
7.3.5	Zenerdioden	8
7.3.6	Schemasymbolen.....	8
7.4	Gelijkrichting met dioden.....	9
7.4.1	Van wisselstroom/-spanning naar gelijkstroom/-spanning	9
7.4.2	Enkelzijdige gelijkrichting.....	10
7.4.3	Tweezijdige (dubbelfasige) gelijkrichting: de brugschakeling	13
7.4.4	Afvlakfilters.....	15
7.5	Zenerdioden	15
7.6	Verschillende soorten dioden op een plaatje.....	17
7.7	Opgaven.....	19
7.7.1	Opgave 7-1.....	19
7.7.2	Opgave 7-2.....	20
7.7.3	Opgave 7-3.....	21
7.7.4	Opgave 7-4.....	22
7.7.5	Opgave 7-5.....	23
7.7.6	Opgave 7-6.....	24
7.8	Uitwerkingen van de opgaven.....	25
7.8.1	Uitwerking van Opgave 7-1	25
7.8.2	Uitwerking van Opgave 7-2	26



7.8.3	Uitwerking van Opgave 7-3	27
7.8.4	Uitwerking van Opgave 7-4	28
7.8.5	Uitwerking van Opgave 7-5	29
7.8.6	Uitwerking van Opgave 7-6	30



7 Halfgeleiding, halfgeleiderdioden en hun toepassing

7.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

We gaan weer naar atomen. Het gaat om elementen waarvan de kristallen meestal niet geleiden, maar als je ze iets verontreinigt met bepaalde elementen, blijken ze bijzondere geleidingseigenschappen te krijgen. Die vallen onder de term *halfgeleiding*. Daarvan wordt in de elektronica op listige wijze gebruik gemaakt bij dioden en transistoren.

In dit hoofdstuk beperken we ons tot dioden. Die geleiden stroom maar in één richting, maar soms in twee. In het laatste geval kunnen ze een vaste spanning afgeven en zijn daarmee een bijna onmisbaar onderdeel van de trukendoos van de elektronicus en de zelfbouwende zendamateur. Bij die trukendoos horen ook dioden die zich als variabele condensator kunnen gedragen, maar daarop gaan we maar heel summier in. De eigenschap van dioden om stroom in één richting te geleiden, waarmee van wisselstroom gelijkstroom wordt gemaakt, speelt in dit hoofdstuk een hoofdrol.

7.2 Halfgeleidermateriaal

7.2.1 N- en P-materiaal

In hoofdstuk 3 hebben we kennis gemaakt met geleiders en isolatoren. In geleiders, voornamelijk metalen, kunnen elektronen gemakkelijk van atoom naar atoom springen. In isolatoren gebeurt dat niet.

Enkele isolatoren kun je met een kleine ingreep tot elektrische geleiding brengen. Ze bestaan uit kristallen. Daarin liggen de atomen en hun elektronen in vaste patronen. Deze opbouw is in het N-programma van beperkt belang. Hoofdstuk 7 van de F-cursus vertelt er meer over.

Wel van belang is dat die structuren met behulp van kleine verontreinigingen te verstoren zijn. Er wordt dan in het kristalrooster een 'kristalvreemd' atoom in lage concentratie bijgemengd dat om zich in te passen een elektron te veel of één te weinig heeft. Deze ingrediënten zijn elektrisch neutraal en het kristal blijft dat ook. De niet inpasbare elektronen of hun tegengdelen die meestal "gaten" worden genoemd, verplaatsen zich onder invloed van een elektrisch veld gemakkelijk.

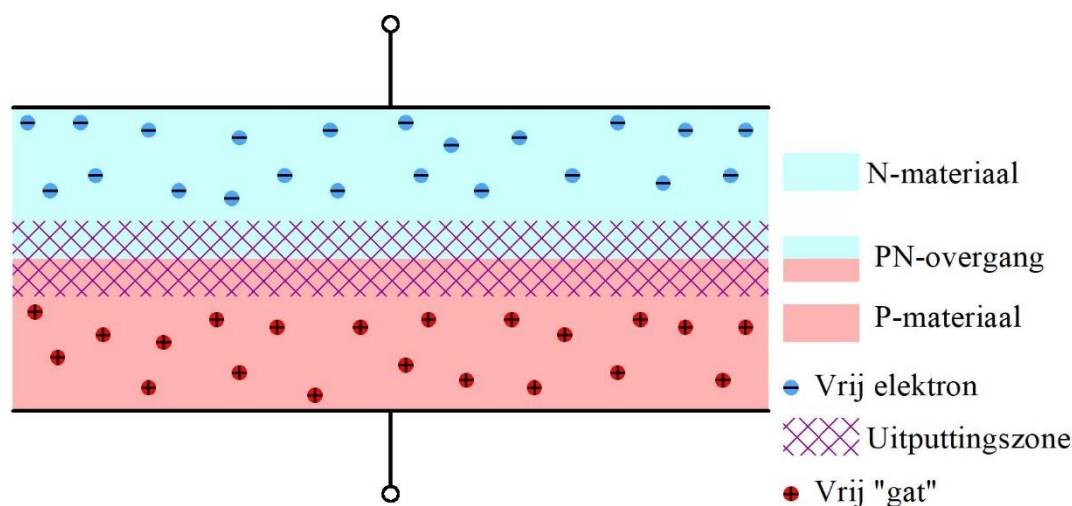
Materiaal met 'mobiele' elektronen wordt *N-materiaal* genoemd; materiaal met 'mobiele' gaten *P-materiaal*. Dit type geleiding heet *halfgeleiding*. In deze cursus krijgen we voor wat de materialen betreft te maken met silicium, chemisch symbool Si en germanium met chemisch symbool Ge. Silicium is algemeen. Het zit onder meer in zand en grind. Germanium is veel zeldzamer.

7.2.2 P- en N-materiaal; PN-overgang

In de begintijd van de halfgeleidertechniek, de jaren '50 van de vorige eeuw, speelde Ge in de halfgeleiderwereld de hoofdrol. Die is geleidelijk aan overgenomen door Si, nadat men

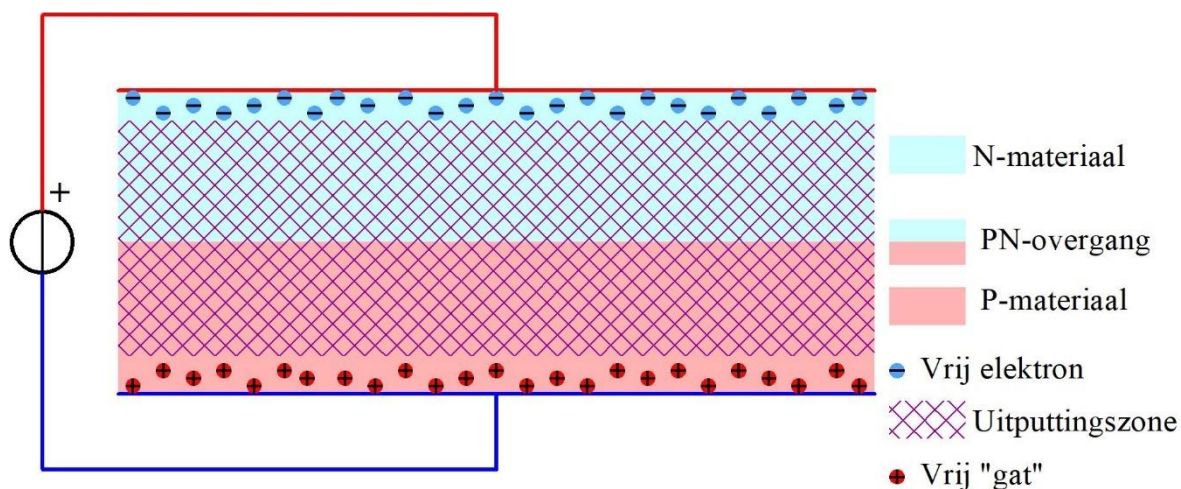
de wat moeilijker bewerking van dit materiaal onder de knie kreeg. Daarom gaan we er in de cursustekst vanuit dat het om SI-materiaal gaat, tenzij wordt vermeld dat het Ge is.

In de halfgeleidertechniek hebben we pas iets aan P- en N-silicium als een deel van een kristal P-silicium is en een aangrenzend deel N-silicium. De grens is een zogenoemde PN-overgang of *junctie*. Langs de PN-junctie komen elektronen en gaten elkaar tegen. Die twee neutraliseren elkaar. Dat heet *recombinatie*. Als het N-materiaal zo elektronen kwijtraakt, wordt het positief geladen. Tegelijkertijd krijgt het P-materiaal op dezelfde manier elektronen extra en daarmee een negatieve lading. Door zijn positieve lading stoot het N-materiaal gaten af en het P-materiaal stoot door zijn negatieve lading elektronen af. Langs de junctie ontstaat zo een zone zonder vrije *ladingsdragers* (dat is de verzamelnaam voor gaten en elektronen die niet in het kristalrooster passen). Die zone heet *uitputtingszone* (Figuur 7.2-1).



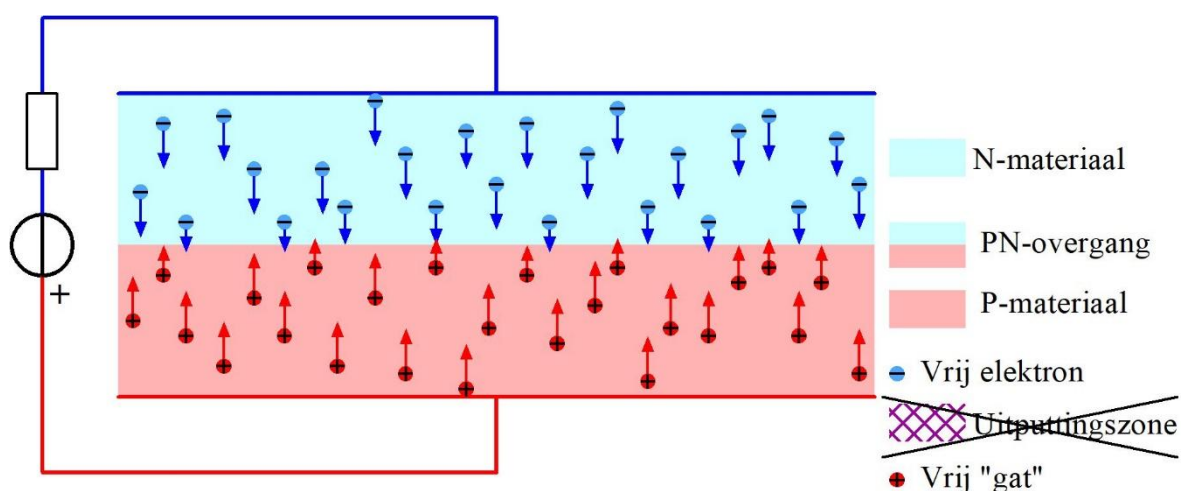
Figuur 7.2-1. Neutrale PN-overgang met uitputtingszone.

De uitputtingszone blokkeert de stroomdoorgang, omdat binnen de zone geen vrije ladingsdragers zijn. Sluiten we over de PN-overgang een spanningsbron aan met de + aan het N-deel en de – aan het P-deel, dan komen de ladingsdragers nog verder van de junctie te liggen (Figuur 7.2-2).



Figuur 7.2-2. PN-overgang met de N-kant aan de + en de P-kant aan de – van de spanningsbron. De uitputtingszone is daardoor breder dan in Figuur 7.2-1.

Sluiten we de bron van Figuur 7.2-2 omgekeerd aan, dan trekken we de ladingsdragers naar de PN-overgang en er ontstaat een stroom (Figuur 7.2-3).



Figuur 7.2-3. PN-overgang met de N-kant aan de – en de P-kant aan de +. Er ontstaat geleiding over de junctie. Gaten en elektronen recombineren op de overgang en vanuit de bron worden nieuwe elektronen aangevoerd naar het N-materiaal en afgevoerd uit het P-materiaal. Elektronen afvoeren is hetzelfde als gaten aanvoeren. Daarom staan de rode en de blauwe pijlen in tegengestelde richting.

De bron stuurt nu elektronen het N-materiaal in. Die recombineren op de overgang met gaten van het P-materiaal. Uit het P-materiaal worden elektronen afgevoerd. Dat is hetzelfde als aanvoer van gaten. Er loopt zo een stroom elektronen door de PN-overgang. Die lopen van – naar +. De *technische stroomrichting* is ook in dit geval van + naar –.

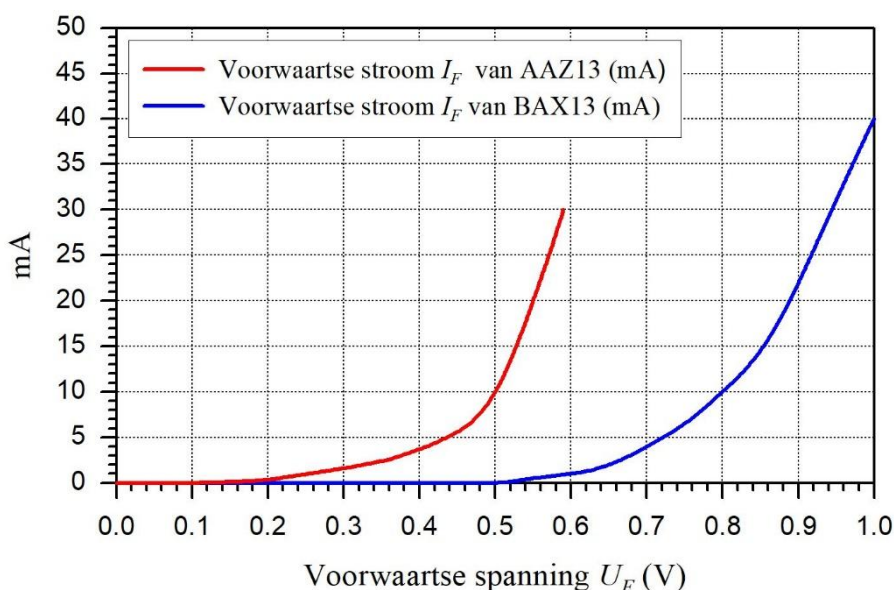
7.2.3 De halfgeleiderdiode

Figuur 7.2-1 tot en met Figuur 7.2-3 tonen een ding met een PN-junctie dat stroom maar in één richting geleidt: de *diode*. Die richting heet meestal de *voorwaartse richting*. Het tegengestelde van de *voorwaartse richting* noemen we de *sperrichting*.

Diode betekent letterlijk ‘tweeweg’ naar de twee delen waaruit hij bestaat en de bijbehorende twee aansluitingen. De P-aansluiting heet *anode* (dat betekent ‘weg omhoog’). De N-aansluiting heet *kathode* (‘weg omlaag’). De doorlaatrichting (technische stroomrichting) is van anode naar kathode. **Daarvoor kennen we het ezelsbruggetje**

KNAP: Kathode Negatief, Anode Positief.

Voordat een halfgeleiderdiode geleidt, moet er eerst een kleine spanning in de geleidingsrichting overheen staan. Die is nodig om de uitputtingszone (Figuur 7.2-1) teniet te doen. Bij siliciumdioden is dat 0,6 tot 0,7 V; bij germanium (symbool Ge) circa 0,2 V. Die spanning wordt *drempelspanning* genoemd. Spanning in de doorlaatrichting wordt ook wel *voorwaartse spanning* genoemd. De bijbehorende stroom heet *voorwaartse stroom*. Figuur 7.2-4 toont een doorlaatgrafiek voor een Ge- en een Si-diode.



Figuur 7.2-4. Voorwaartse stroom tegen voorwaartse spanning voor de germaniumdiode AAZ13 en de siliciumdiode BAX13 (gegevens: Philips databoek).

7.3 Enkele eigenschappen en toepassingen van dioden.

7.3.1 Inleiding

In deze paragraaf komt enkele eigenschappen van dioden aan de orde. De eigenschappen die voor het examen van belang zijn, bespreken we hier kort. In volgende paragrafen gaan we er uitvoeriger op in.

7.3.2 Lekstroom

Net zoals de ideale isolator (nul stroom bij elke spanning) niet bestaat, bestaat de ideale diode ook niet. Bij aansluiting in sperrichting loopt er nog een heel kleine stroom in sperrichting. Die heet *lekstroom*. Denk bij een Si-diode voor kleine stromen aan enige tientallen nA ($1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$). Bij Ge kan dat ongeveer een factor 100 meer zijn. Dat is bij een diodetemperatuur van 25°C . Bij stijgende temperatuur wordt de lekstroom in beide gevallen snel groter.

7.3.3 Gelijkrichting en dissipatie

Afgezien van de lekstroom en bijzondere geleiding in sperrichting die we nog zullen bespreken, geleidt een diode maar in één richting. Een diode is daardoor in staat, van wisselstroom een vorm van gelijkstroom te maken. Dat heet *gelijkrichting*. Die komt in 7.4 aan de orde.

Bij stroom in voorwaartse richting leidt de drempelspanning tot een klein spanningsverlies. Bovendien zit er altijd een beetje weerstand in een diode. In dioden voor kleine stromen, zoals de dioden waarvan de stroom-spanningskarakteristieken zijn weergegeven in Figuur 7.2-4, is het weerstanddeel groter dan bijvoorbeeld in gelijkrichtdioden voor grote stromen. Als we de spanning over de diode U_D noemen en de voorwaartse stroom I_F (F van *Forward*), dan geldt voor de dissipatie P in alle gevallen

$$P = I_F U_D \quad (7.3-1)$$

Als we de weerstand verwaarlozen, dan is U_D is bij benadering de drempelspanning. Dan geldt voor een Si-diode

$$P \approx I_F \cdot 0,6\text{V} \quad (7.3-2)$$

En voor een Ge-diode

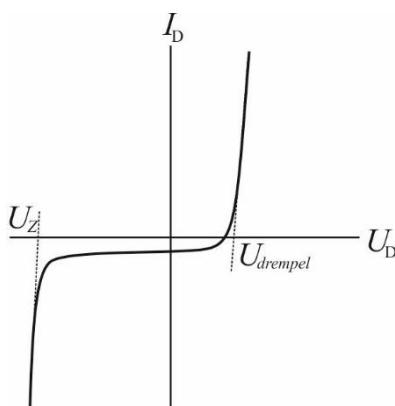
$$P \approx I_F \cdot 0,2\text{V} \quad (7.3-3)$$

7.3.4 Diodecapaciteit

We weten al dat de uitputtingszone van een PN-overgang niet geleidt. Ze kan daardoor een diëlektricum zijn. Een diode die in sperrichting is aangesloten, kun je dus zien als een (kleine) condensator. In hoofdstuk 4 zagen we dat de capaciteit van een gewone condensator onder meer afhangt van de plaatafstand. In een gesperde diode is de 'plaatafstand' de dikte van de uitputtingszone. Die wordt bepaald door de spanning tussen anode en kathode, zoals we in 7.2 zagen. De diode is daarmee een condensator geworden, waarvan we de capaciteit met een spanning kunnen regelen. Dergelijke dioden staan bekend onder de naam *capaciteitsdiode* of *varicap*, een samentrekking van de woorden *variabel* en *capaciteit*. Je komt de term wel eens tegen in (foute) meerkeuze-antwoorden van N-examens. Bij de F-examens zijn varicaps echt verplichte kost.

7.3.5 Zenerdioden

Als de spanning over een diode in sperrichting groot genoeg wordt, zal er toch een stroom gaan lopen. De oorzaak is het sterker geworden elektrisch veld in de uitputtingszone. Verschillende processen kunnen ertoe leiden dat dan elektronen losraken van hun atoom en 'op stap' gaan. Zonder maatregelen betekent dat het einde van de diode. Als we zorgen dat de stroom niet te groot wordt, bijvoorbeeld door middel van een weerstand in serie met de diode, blijft deze heel en blijft de spanning waarbij de stroom op gang kwam, over de diode staan. Daarvoor geschikte dioden heten *zenerdioden*. Ze worden gebruikt om vaste spanningen te maken. We wijden er verderop in dit hoofdstuk een afzonderlijke paragraaf aan. Figuur 7.3-1 toont een licht geschematiseerde grafiek van het gedrag van een zenerdiode.

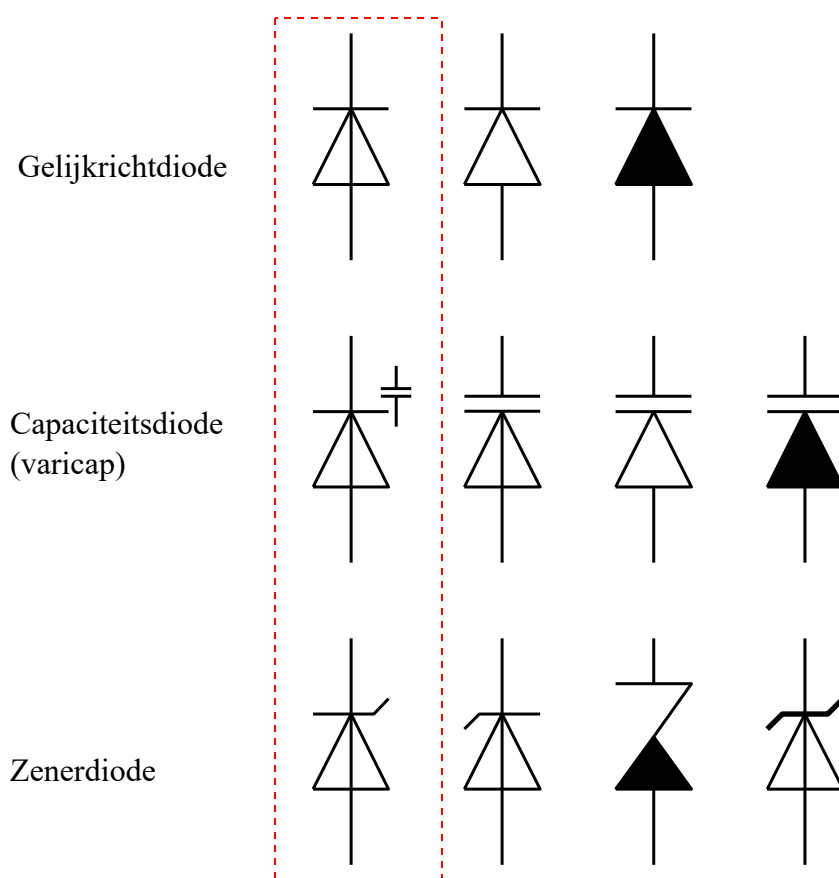


Figuur 7.3-1. Doorlaatkarakteristiek van een zenerdiode met diodespanning U_D en diodestroom I_D , drempelspanning $U_{drempel}$ en zenerspanning U_Z . Op de horizontale as rechts van het snijpunt met de verticale as is U_D in doorlaatrichting, links daarvan in sperrichting

7.3.6 Schemasymbolen

Figuur 7.3-2 toont genormaliseerde (gestandaardiseerde) schemasymbolen plus een aantal niet-genormaliseerde maar wel vrij algemeen gebruikte symbolen.

Het diodesymbool lijkt met een klein beetje fantasie op een pijl. De richting van de pijl is de technische stroomrichting. Alleen bij zenertoepassingen is het andersom.

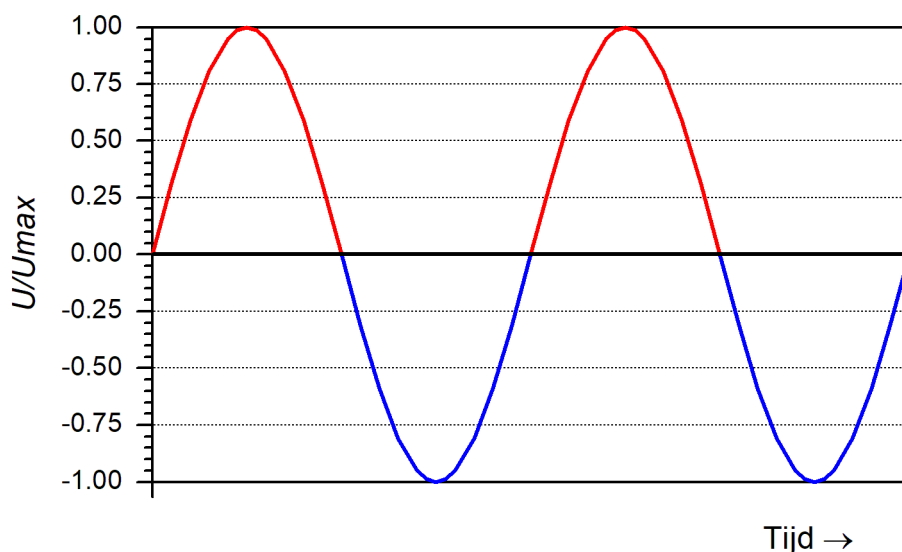


Figuur 7.3-2. Genormaliseerde en andere schemasymbolen voor verschillende dioden. Genormaliseerde symbolen staan links, binnen de rode streepjeslijn. De andere op dezelfde rij zijn veel gebruikte symbolen voor dezelfde soort diode. De doorlaatrichting is steeds van onder naar boven: anode onder, kathode boven.

7.4 Gelijkriching met dioden

7.4.1 Van wisselstroom/-spanning naar gelijkstroom/-spanning

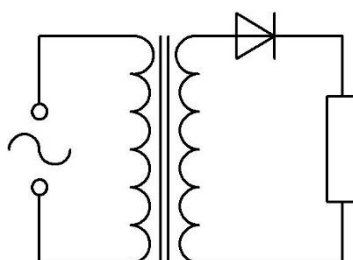
Doordat een diode maar in één richting stroom doorlaat, kunnen dioden worden gebruikt om van wisselstroom gelijkstroom te maken. Dat proces heet *gelijkriching*. Ons lichtnet levert wisselspanning (230 V, 50 Hz). Vrijwel alle elektronische apparatuur, inclusief zenders en ontvangers werkt op gelijkspanning. Bij gebruik van het lichtnet als energiebron is gelijkriching onmisbaar. Daarom moet een zendamateur iets weten van gelijkriching. We gaan steeds uit van sinusvormige wisselspanning (Figuur 7.4-1), want het lichtnet levert die (bij benadering!).



Figuur 7.4-1. Sinusvormige wisselspanning; positieve halve perioden *rood*, negatieve halve perioden *blauw*.

7.4.2 Enkelzijdige gelijkrichting

De wisselspanning kan van een transformator worden afgenomen, waarna een diode steeds één halve periode doorlaat en de andere tegenhoudt. Dat is de eenvoudigste gelijkrichtschakeling (Figuur 7.4-2).



Figuur 7.4-2. Enkelzijdige gelijkrichting met één enkele diode. De weerstand staat symbool voor de schakeling die door de gelijkgerichte spanning wordt gevoed.

Deze vorm van gelijkrichting noemen we *enkelzijdig* of *enkelfasig*, omdat steeds maar één helft van een periode wordt doorgelaten. Het resultaat van dit soort gelijkrichting zien we hieronder in het bewerkte oscillogram op Foto 7.4-1. Let op: de oorspronkelijke sinusgolf, de gele grafiek, heeft op de foto niet dezelfde nullijn als de gelijkgerichte blauwe grafiek. Om ze goed van elkaar te kunnen onderscheiden zijn ze op verschillende hoogten weergegeven als een horizontale rechte gele, resp. blauwe lijn. In werkelijkheid vallen ze samen en vertegenwoordigen ze dezelfde spanning, 0 V.

Wie scherp kijkt, ziet dat de tegengestelde sinushelften niet exact aan elkaar gelijk zijn. De bovenste zijn wat ronder, de onderste wat spitser. Een kleine onvolkomenheid van de gebruikte sinusgenerator.

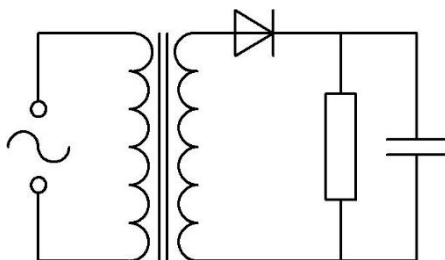


Foto 7.4-1 (bewerkt). Sinusvormige wisselspanning (geel). Frequentie: 50 Hz, de lichtnetfrequentie. Daaronder in blauw de enkelzijdig gelijkgerichte spanning. De nullijnen zijn uitgevoerd in de kleur van de bijbehorende grafiek. Bij de sinus in het midden, bij de gelijkgerichte spanning onder tegen de grafiek.

We zien onderin Foto 7.4-1 de gelijkgerichte spanning van positieve halve sinusgolven, gescheiden door een leegte met de breedte van een halve sinusgolf. Dat is lang niet de vlakke gelijkspanning die bijvoorbeeld uit een batterij komt.

Omdat de amplitude van de wisselspanning in de figuur 5 V is, mogen we strikt genomen de drempelspanning van de gelijkrichtdiode niet verwaarlozen. Die is ongeveer 0,6 V, zodat de hoogste spanning in de blauwe grafiek niet 5 V is, maar ongeveer $5\text{ V} - 0,6\text{ V} = 4,4\text{ V}$. Tel schaaldelen in de figuur en je vindt een verschil. Omdat het vooral om de vorm van de grafieken gaat, trekken ons daar niets van aan. In examenvragen gebeurt dat ook niet, zolang er niet bij staat dat het anders moet. Dat laatste gebeurt vrijwel nooit.

Zouden we met de gelijkgerichte spanning van dezelfde vorm als de blauwe op Foto 7.4-1 een ontvanger van gelijkstroom voorzien, dan zou de 50 Hz van het lichtnet als een zware bromtoon uit de luidspreker komen. Bij een zender zou diezelfde bromtoon mee worden uitgezonden. Daar moet in beide gevallen iets aan worden gedaan. Toevoeging van een condensator, zoals in Figuur 7.4-3, geeft een verbetering maar is bijna nooit afdoende.



Figuur 7.4-3 Enkelfasige gelijkrichting als in Figuur 7.4-2, nu met een afvlakcondensator.

Dat zien we in het blauwe deel van het oscillogram op Foto 7.4-2. De gele sinus is dezelfde als die op Foto 7.4-1, de blauwe grafiek de gelijkgerichte spanning in het soort schakeling van Figuur 7.4-3. Die ziet er anders uit dan op Foto 7.4-1. Dat is de invloed van de condensator. Die voorkomt ook dat de blauwe grafiek de nullijn bereikt, wat hij wel deed op Foto 7.4-1.

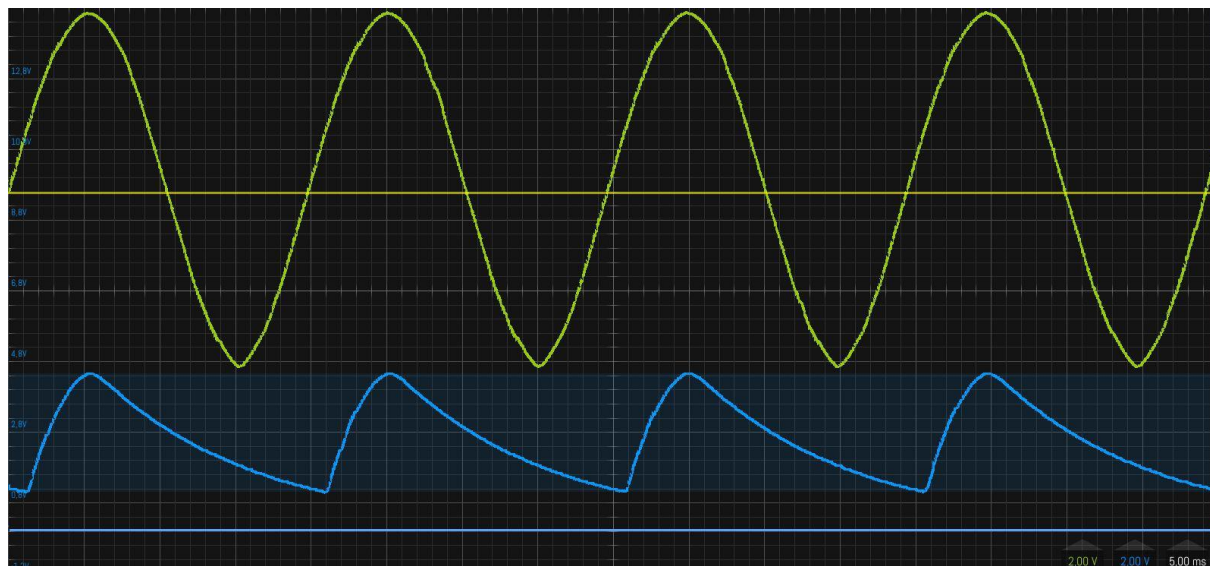


Foto 7.4-2. Sinusvormige wisselspanning (geel; dezelfde als in Foto 7.4-1) en een voorbeeld van een mogelijke uitgangsspanning (blauw) als gevolg van de aanwezigheid van een condensator zoals in Figuur 7.4-3. De laagste spanning op de blauwe curve blijft hoger dan het laagste punt van de blauwe curve op Foto 7.4-1. De instellingen van het meetinstrument zijn in beide gevallen dezelfde.

De spanning die de blauwe curve laat zien, daalt tot deze gelijk is aan de spanning op de opgaande flank van de gele sinus (we verwaarlozen de drempelspanning van de diode). Daarna wordt de condensator weer bijgeladen. De blauwe gelijkgerichte spanning houdt steeds afstand tot zijn nullijn. Dat wil zeggen: die spanning blijft altijd groter dan 0.

Het verloop van de gelijkgerichte spanning (blauwe grafiek) hangt af van:

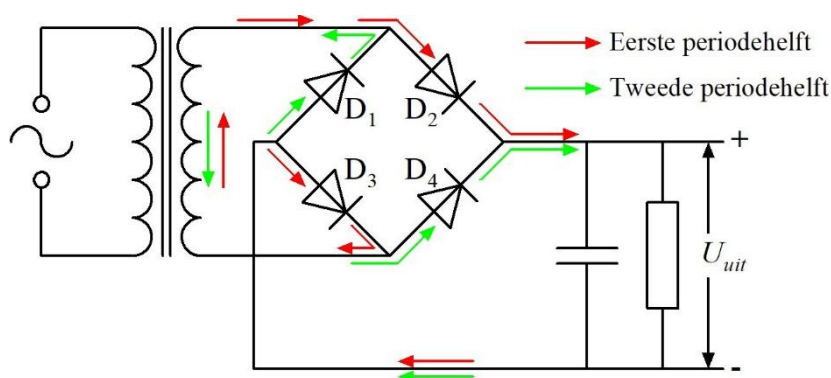
- De capaciteit van de condensator in Figuur 7.4-3. Hoe groter de capaciteit, des te vlakker wordt het verloop van de gelijkspanning.
- Het stroomverbruik van de belasting. Hoe groter het stroomverbruik (= hoe kleiner de belastingsweerstand) van de schakeling, des te minder effectief wordt de afvlakking en des te steiler daalt de spanning over de condensator. Er gebeurt hetzelfde als bij de ontlading van een condensator via een weerstand. Dat proces kennen we van hoofdstuk 4.

Om de gelijkspanning zo vlak mogelijk te maken, zijn er twee mogelijkheden. Die worden meestal gelijktijdig toegepast. De eerste is tweezijdige gelijkrichting. De tweede is betere afvlakking. In 7.4.3 bekijken we tweezijdige of dubbelfasige gelijkrichting; in 7.4.4 de afvlakking.

7.4.3 Tweezijdige (dubbelfasige) gelijkrichting: de brugschakeling

Er zijn verschillende manieren om bij gelijkrichting gebruik te maken van beide halve perioden van een wisselspanning. We werken er één uit: die met vier dioden in een zogenoemde *bruggelijkrichter* of *brugschakeling*. Met twee dioden kan het ook, maar die methode valt niet onder de eisen voor het N-examen. Je vindt hem als je wilt in hoofdstuk 7 van de F-cursus.

We gebruiken weer de transformator van Figuur 7.4-2, maar nu met vier dioden erachter in plaats van één: Figuur 7.4-4.



Figuur 7.4-4. Tweezijdige gelijkrichting van spanning uit een enkele secundaire wikkeling door middel van een bruggelijkrichter met vier dioden, D_1 tot en met D_4 . De pijlen geven de technische stroomrichting; de rode voor de ene periodehelft, de groene voor de andere.

De vraag is nu, hoe dit werkt.

In de ene halve periode volgt de stroom de rode pijlen. De stroom passeert achtereenvolgens D_2 , de afvlakcondensator en de plusleiding naar de te voeden schakeling en komt terug via de minleiding en D_3 . D_1 en D_4 sperren.

In de andere halve periode volgt de stroom de groene pijlen. De stroom passeert D_4 en komt terug via D_1 . Nu sperren D_2 en D_3 .

De negatieve halve periode wordt bij dit proces zagezeggd op zijn kop gezet. Foto 7.4-3 toont het resultaat. De kleine vlakke stukjes tussen de positieve halve sinussen zijn het gevolg van de drempelspanning van de gelijkrichtdioden. Daardoor sluiten de wel en niet omgekeerde sinushelften net niet op elkaar aan. Hoe hoger de spanning, des te korter zijn die tussenstukjes. In tekeningen worden ze bijna altijd verwaarloosd.

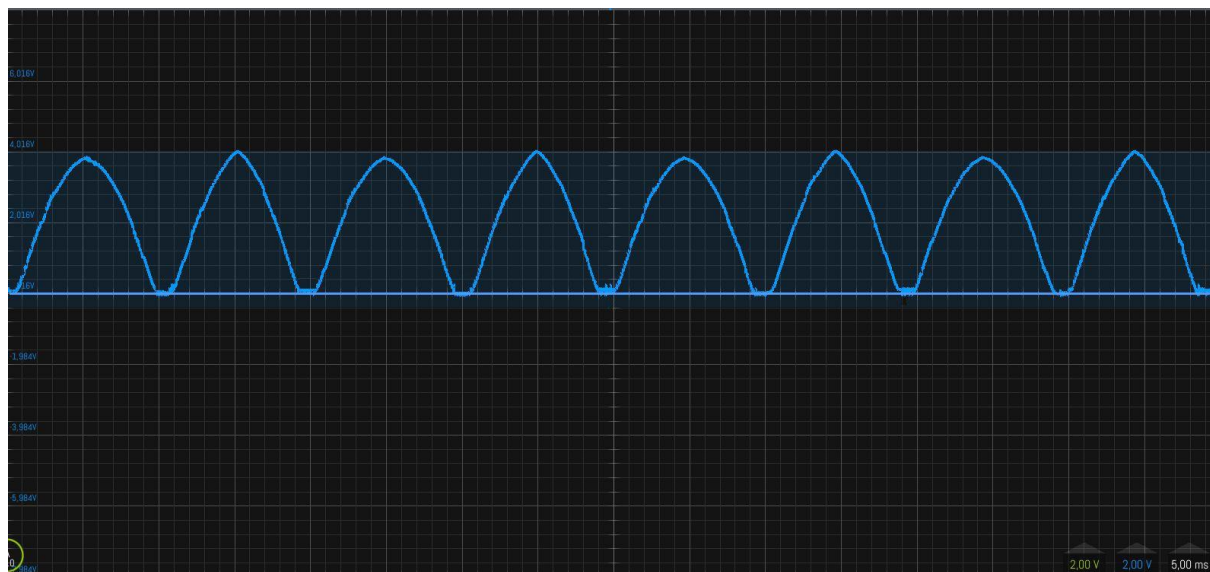


Foto 7.4-3. Tweezijdig gelijkgerichte wisselspanning, weer van 50 Hz, maar weergegeven zonder de oorspronkelijke sinus. De rechte horizontale lijn is de lijn van 0 V. De korte vlakke stukjes van 0 V worden veroorzaakt door de drempelspanningen van de dioden. De gelijkgerichte sinus is gemaakt uit een niet helemaal symmetrische sinusspanning (zie ook de opmerking direct vóór Foto 7.4-1).

Foto 7.4-4 laat de tweezijdig gelijkgerichte spanning weer zien, maar nu met dezelfde condensator en weerstand als in Figuur 7.4-3.

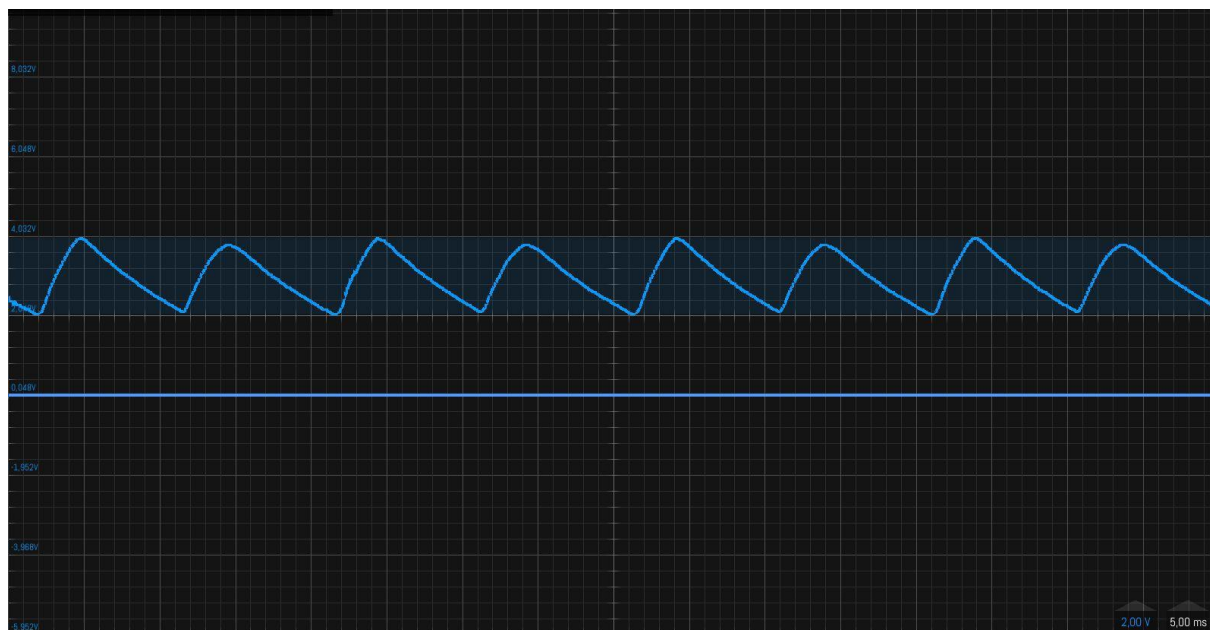
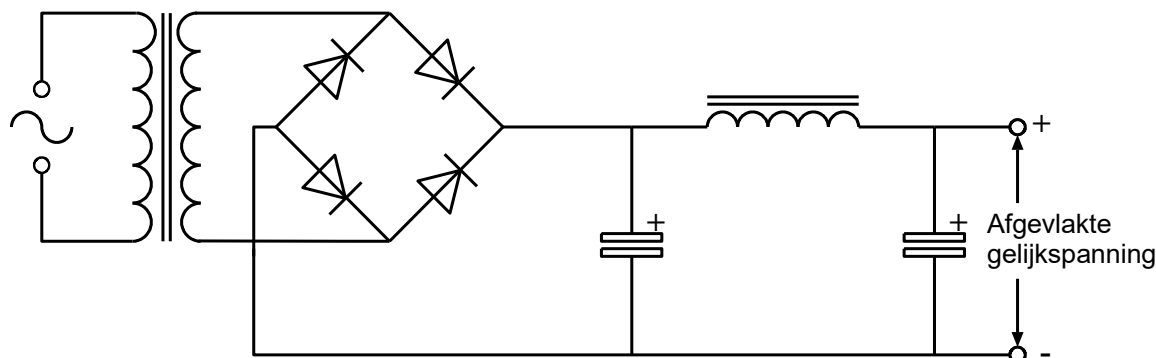


Foto 7.4-4. Tweezijdig gelijkgerichte wisselspanning van 50 Hz, maar nu met een condensator en weerstand als in Figuur 7.4-3. De rechte horizontale lijn is weer de lijn van 0 V. De afstand tot de laagste waarde van de gelijkgerichte spanning is duidelijk groter dan bij de enkelzijdig gelijkgerichte spanning van Foto 7.4-2.

De rimpel op de gelijkspanning is zichtbaar kleiner dan op Foto 7.4-2 en de afstand tussen laagste waarde en nullijn groter.

7.4.4 Afvlakfilters

Voor een vlakke gelijkspanning die ook bij flinke stromen vlak blijft is zoals gezegd, een enkele condensator in de praktijk zelden voldoende. De klassieke schakeling om hierin te voorzien is een afvlakfilter met twee condensatoren en een smoorspoel (Figuur 7.4-5).



Figuur 7.4-5. Bruggelijkrichter, gevolgd door een afvlakfilter van twee elektrolytische condensatoren (elco's) en een smoorspoel.

De condensatoren zijn elektrolytisch (elco's). Die zijn door hun traagheid ongeschikt voor hoge frequenties, maar ze hebben een zeer hoge capaciteit. Saardoor zijn ze heel geschikt voor toepassing bij de lage frequentie van 50 Hz. Ze hebben een plus- en een minkant, vandaar de plusjes in het schema. Ze mogen niet op wisselspanning worden aangesloten, want dan staan ze afwisselend juist en verkeerd aangesloten, wat snel tot het einde van de condensator leidt.

Eigenlijk is dit een laagdoorlaatfilter dat veel effectiever is dan de eenvoudige filters met een weerstand en een condensator of spoel die we in hoofdstuk 5 hebben gezien. Hier zit geen weerstand in, maar wel drie elementen met reactantie in plaats van één. Dat is het geheim achter die grotere effectiviteit. De doorgelaten lage frequentie is in de praktijk vrijwel alleen gelijkstroom (frequentie $f = 0$).

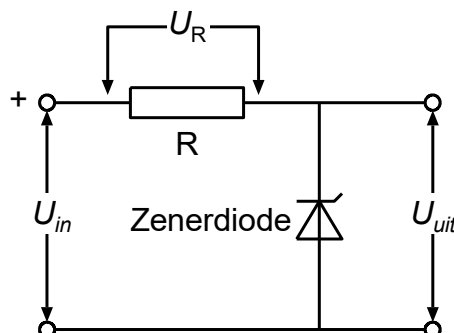
Onthoud vooral (maar niet alleen) de toepassing van de elco in gelijkspanningsvoedingen.

Een andere en modernere manier om de wisselspanningsrimpel op gelijkgerichte spanning teniet te doen, is de spanningsstabilisator. Dat is een elektronische schakeling waarvan je voor het N-examen alleen het bestaan hoeft te kennen. Het hart van zo'n schakeling is de zenerdiode. Die is op zijn eentje alleen geschikt voor spanningsstabilisatie bij kleine stromen, maar enige elektronica eromheen maakt de schakeling geschikt voor grote(re) stromen. De zenerdiode bekijken we nader in de volgende paragraaf.

7.5 Zenerdioden

Zenerdioden zijn op het eerste gezicht rare dingen. Ze worden in de sperrichting van de diode aangesloten. Niet om te sperren, maar juist om op een gecontroleerde manier stroom door te laten. De spanning die nodig is om de diode in sperrichting in geleiding te

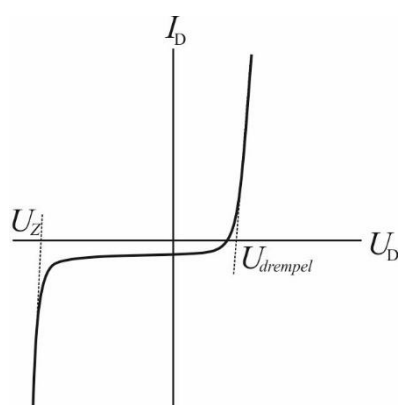
brengen, blijft daarbij over de diode staan. Het controleren van de stroom kan bijvoorbeeld met een weerstand in serie met de diode (Figuur 7.5-1).



Figuur 7.5-1. Voorbeeld van een schakeling met zenerdiode. De serieweerstand R beperkt de stroom. Om stroom door de zenerdiode te laten lopen, moet deingangsspanning U_{in} groter zijn dan de spanning over de zenerdiode, anders spert deze. De spanning U_{uit} over de zenerdiode is gelijk aan U_{in} verminderd met de spanning U_R over de weerstand. De uitgangsspanning is gelijk aan de zenerspanning.

Figuur 7.5-1 laat zo'n spanningsstabilisator zien. Zolang deingangsspanning U_{in} maar hoger is dan de spanning U_{uit} , stabiliseert dit eenvoudige systeem de spanning U_{uit} .

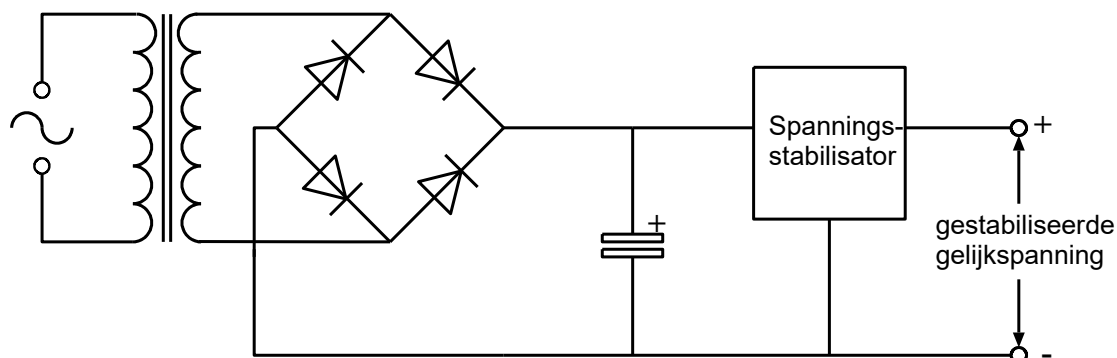
De zenerdiode blijft werken, zolang U_{uit} niet onder de zenerspanning (U_Z in Figuur 7.3-1) komt te liggen. Voor het gemak van de lezer herhalen we deze figuur hiernaast. De spanning U_R over de weerstand is het verschil tussen U_{in} en de zenerspanning U_Z . U_{uit} is dezelfde als U_Z .



Het komt erop neer dat de stroom door R zo klein moet blijven dat de spanning over de weerstand onvoldoende is om de uitgangsspanning onder de zenerspanning te krijgen. Zolang dat het geval is, blijft de uitgangsspanning U_{uit} (nagenoeg) onafhankelijk van de afgenomen stroom.

Het soort schakeling van Figuur 7.5-1 is zoals gezegd alleen geschikt voor het stabiliseren van spanningen bij kleine stromen. Voor een voedingsschakeling die een serieus vermogen kan leveren, zijn er andere schakelingen. Die bevatten een soort versterkerschakeling die afwijkingen van de ingestelde uitgangsspanning met behulp van de zenerspanning corrigeert. De werking van zulke schakelingen valt buiten het N-programma. Ze worden wel behandeld in hoofdstuk 12 van de F-cursus. Als je er meer van wilt weten, is het verstandig, eerst iets meer te snappen van transistoren. Die komen in het volgende hoofdstuk aan bod.

In gedeeltelijk blokschema ziet zo'n stabilisatieschakeling er zo uit (Figuur 7.5-2).



Figuur 7.5-2. Tweezijdige gelijkrichtschakeling met afvlakcondensator en spanningsstabilisator in blokschema.

Er blijft één afvlakcondensator nodig om de spanning zover op peil te houden, dat de stabilisator kan blijven werken. Dit is tegenwoordig in de transistortechniek een gebruikelijke manier om een stabiele voedingsspanning te krijgen.

7.6 Verschillende soorten dioden op een plaatje

Foto 7.6-1 toont een aantal verschillende dioden en brugschakelingen. Wat vooral opvalt, is dat bij de meeste dioden niet zomaar uit de vorm is op te maken met wat voor diode je te maken hebt. Veel types, zeker die voor kleine spanningen en stromen zijn zo klein, dat je óf heel scherpe ogen óf een loep nodig hebt om het typenummer te lezen. Een uitzondering is de oude OA7, nummer 1 linksboven in het plaatje, maar die dateert nog uit de jaren '50 van de vorige eeuw, toen miniaturisering nog in de kinderschoenen stond. De twee brugschakelingen op het plaatje kenmerken zich natuurlijk door vier in plaats van twee aansluitingen. De gekleurde LED-dioden bij nummer 7 (lichtgevend als ze stroom voeren) vallen buiten het N-leerprogramma. Die op de foto worden hoofdzakelijk gebruikt als signaallampje met de aangegeven lichtkleur.

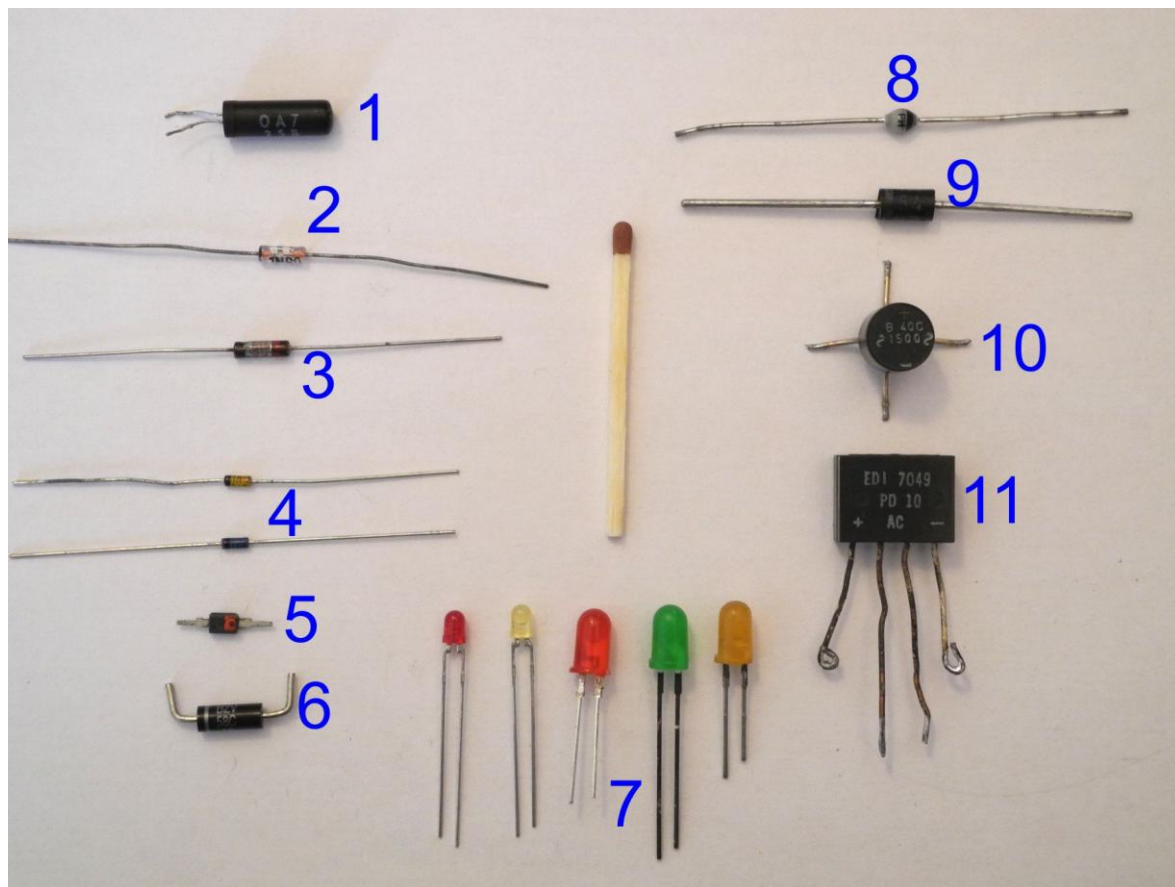
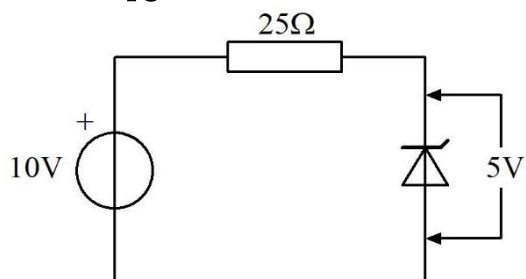


Foto 7.6-1. Verschillende soorten dioden. 1. Germaniumdioden OA7 uit de jaren 1950-60. 2. Germaniumdioden 1N60 voor vrij hoge frequenties. 3. Germaniumdioden AA119. 4. Si-dioden 1N4148 van twee verschillende fabrikanten, De kleur zegt duidelijk niet alles. 5. Capaciteitsdioden BB106. 6. Zenerdioden BZV58. 7. LED's (lichtgevende dioden) van verschillende kleur en grootte. Het langste pootje is de anode (geen N-leerstof). 8. Si-gelijkrichtdioden BY527. 9. Si-gelijkrichtdioden 1N5402. 10. Brugschakeling voor maximaal 40 V en 1,5 A; geen type-aanduiding. De wisselstroomaansluitingen zitten links en rechts en zijn aangegeven met een golfje. 11. Brugschakeling PD10 voor wat groter vermogen. Wisselstroomaansluitingen: de middelste twee, aangeduid met AC (alternating current). De lucifer is opgenomen om een idee te krijgen van de afmetingen.

Wie meer wil weten over de dioden op de foto, vindt ze gemakkelijk op internet. Bij de brugschakeling PD10 (nr. 11 in de figuur) is het handig om aan de zoekterm het woord *rectifier* (gelijkrichter) toe te voegen. Er zijn op internet namelijk nogal veel dingen die PD10 heten. De typenummers die met 1N beginnen, zijn Amerikaans. Europese typen beginnen vrijwel altijd met een letter (meestal A voor Ge en B voor Si).

7.7 Opgaven

7.7.1 Opgave 7-1



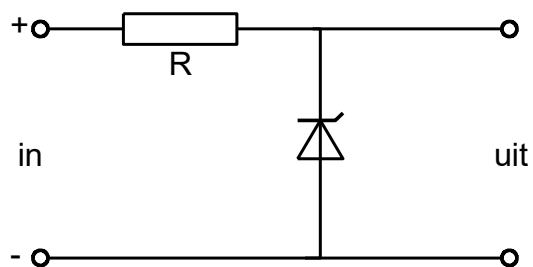
De dissipatie in de weerstand bedraagt

- A. 1 W
- B. 2 W
- C. 3 W
- D. 4 W

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



7.7.2 Opgave 7-2

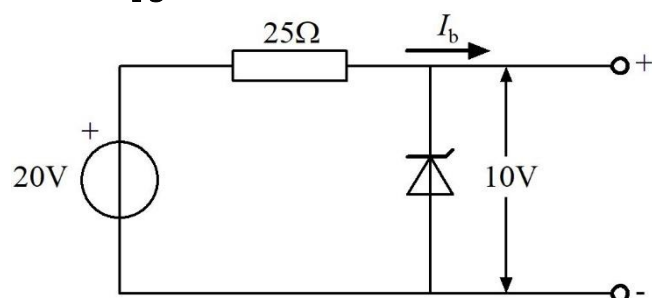


Dit is een:

- A. Laagdoorlaatfilter
- B. Spanningsstabilisator
- C. Schakeling met capaciteitsdiode
- D. Optelschakeling voor twee stromen

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



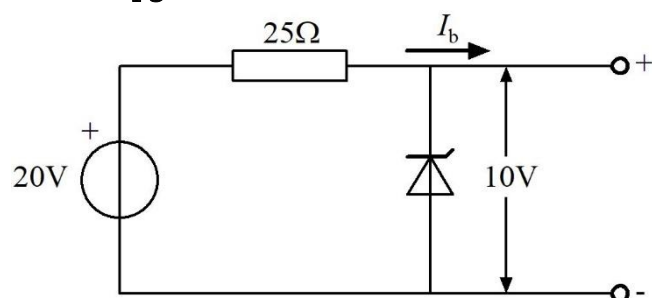
7.7.3 Opgave 7-3

Hoe groot is de stroom door de zenerdiode als de belastingsstroom I_b gelijk aan 0 is?

- A. 0,1 A
- B. 0,2 A
- C. 0,3 A
- D. 0,4 A

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



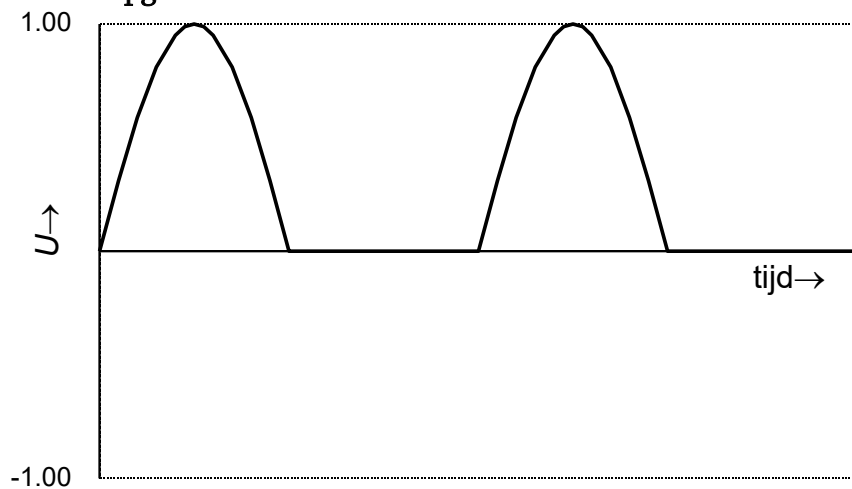
7.7.4 Opgave 7-4

De belastingsstroom I_b bedraagt 200 mA. De stroom door de zenerdiode bedraagt

- A. 0 mA
- B. 100 mA
- C. 200 mA
- D. 400 mA

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



7.7.5 Opgave 7-5

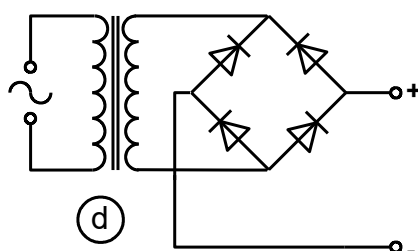
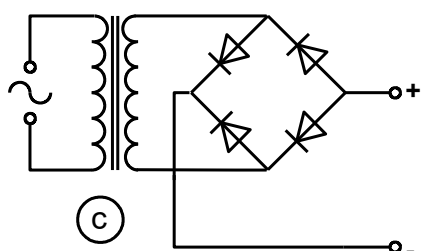
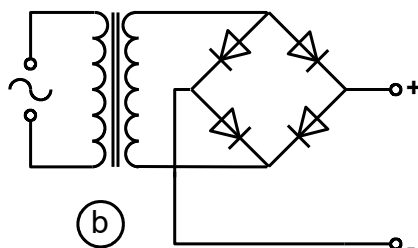
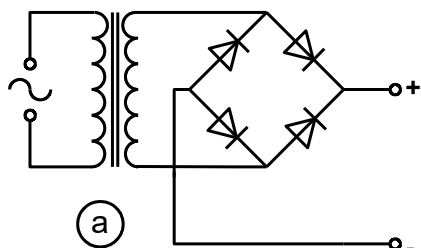
Deze grafiek stelt zeer waarschijnlijk voor:

- A. Een half-sinusvormige wisselspanning
- B. Een enkelzijdig gelijkgerichte sinusvormige wisselspanning
- C. Een sinusvormige wisselspanning
- D. Een tweezijdig gelijkgerichte sinusvormige wisselspanning

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



7.7.6 Opgave 7-6



Welke schakeling is te gebruiken voor tweezijdige gelijkrichting?

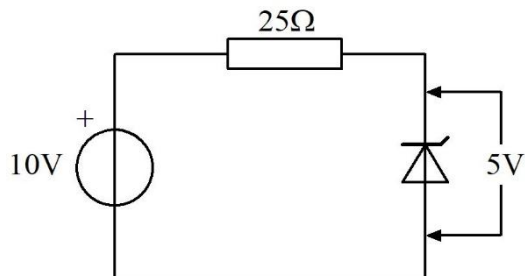
- A. Schakeling a
- B. Schakeling b
- C. Schakeling c
- D. Schakeling d

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



7.8 Uitwerkingen van de opgaven

7.8.1 Uitwerking van Opgave 7-1



De dissipatie in de weerstand bedraagt

- A. 1W
- B. 2 W
- C. 3 W
- D. 4 W

Uitwerking

Voor de dissipatie in de weerstand van 25 ohm moeten we de spanning over de weerstand kennen. Die volgt uit de bronspanning en de zenerspanning. De bron geeft 10 V; over de zenerdiode staat 5 V. Dan blijft er volgens Kirchhoff (2^e wet) $10\text{ V} - 5\text{ V} = 5\text{ V}$ over voor de spanning U over de weerstand R van 25 ohm. De dissipatie in de weerstand is gelijk aan het opgenomen vermogen P . Voor P geldt: $P = U^2/R = 5^2/25\text{ W} = 1\text{W}$.

Antwoord A.

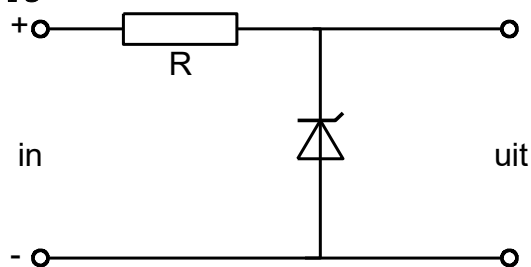


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



7.8.2 Uitwerking van Opgave 7-2



Dit is een:

- A. Laagdoorlaatfilter
- B. Spanningsstabilisator**
- C. Schakeling met capaciteitsdiode
- D. Optelschakeling voor twee stromen

Uitwerking

Een laagdoorlaatfilter kan dit niet zijn, want waar is de condensator of spoel?

Met de in de juiste richting geschakelde zenerdiode en de weerstand moet dit wel een spanningsstabilisator zijn. Een zenerdiode is geen capaciteitsdiode en die tweede stroom is nergens te bekennen. Antwoord B.

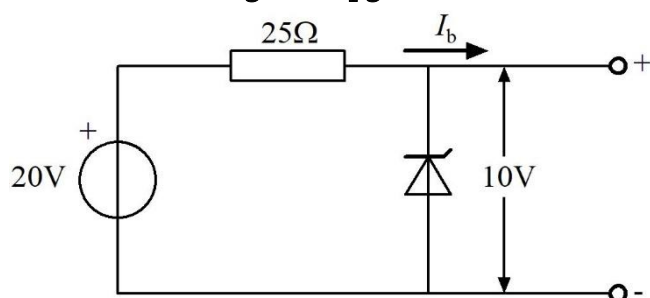


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



7.8.3 Uitwerking van Opgave 7-3

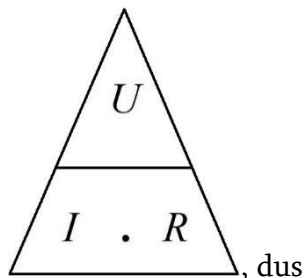


Hoe groot is de stroom door de zenerdiode als de belastingsstroom I_b gelijk aan 0 is?

- A. 0,1 A
- B. 0,2 A
- C. 0,3 A
- D. 0,4 A

Uitwerking

Over de weerstand van 25 ohm staat 20 V min 10 V is 10 V. De stroom door de weerstand is dan te berekenen volgens de Ohm-driehoek



$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{25} \text{ A} = 0,4 \text{ A}$$

Als er geen belasting is die een stroom afneemt, gaat de hele stroom van 0,4 A door de zenerdiode. Antwoord D.

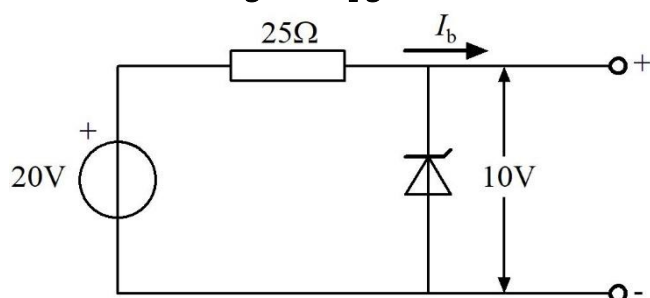


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



7.8.4 Uitwerking van Opgave 7-4



De belastingsstroom I_b bedraagt 200 mA. De stroom door de zenerdiode bedraagt

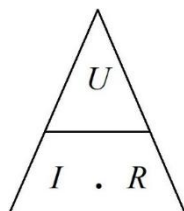
- A. 0 mA
- B. 100 mA
- C. **200 mA**
- D. 400 mA

Uitwerking

We berekenen eerst de stroom die door de weerstand loopt. Over de weerstand van 25 ohm staat een spanning van $20\text{ V} - 10\text{ V} = 10\text{ V}$. De wet van Ohm zegt dat

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

Je kunt ook weer de Ohm-driehoek gebruiken:



Deel dus de weerstand van 25 ohm op de spanning van 10 volt en we krijgen 0,4 ampère is 400 mA. Daarvan gaat 200 mA de belasting in zodat er ook 200 mA overblijft voor de zenerdiode (1^e wet van Kirchhoff!).

Antwoord C.

Opmerking

De uitgangsspanning is vrijwel onafhankelijk van de belastingsstroom, maar alleen zolang deze laatste kleiner is dan de stroom die door de weerstand loopt. Er moet altijd wat overblijven voor de zenerdiode.

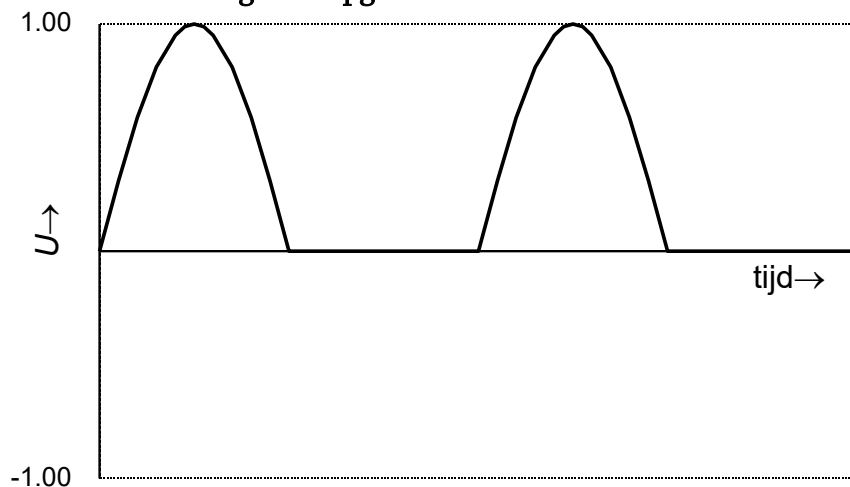


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



7.8.5 Uitwerking van Opgave 7-5



Deze grafiek stelt zeer waarschijnlijk voor:

- A. Een half-sinusvormige wisselspanning
- B. Een enkelzijdig gelijkgerichte sinusvormige wisselspanning**
- C. Een sinusvormige wisselspanning
- D. Een tweezijdig gelijkgerichte sinusvormige wisselspanning

Uitwerking

Alle momentele waarden van de spanning U zijn 0 of positief. De twee spanningspieken zien eruit als halve (positieve) sinusperioden en ze staan zo te zien (en in werkelijkheid ook) één halve sinusperiode uit elkaar. Dan kan het bijna niet anders of het gaat hier om een enkelzijdig gelijkgerichte sinusspanning. Antwoord B.

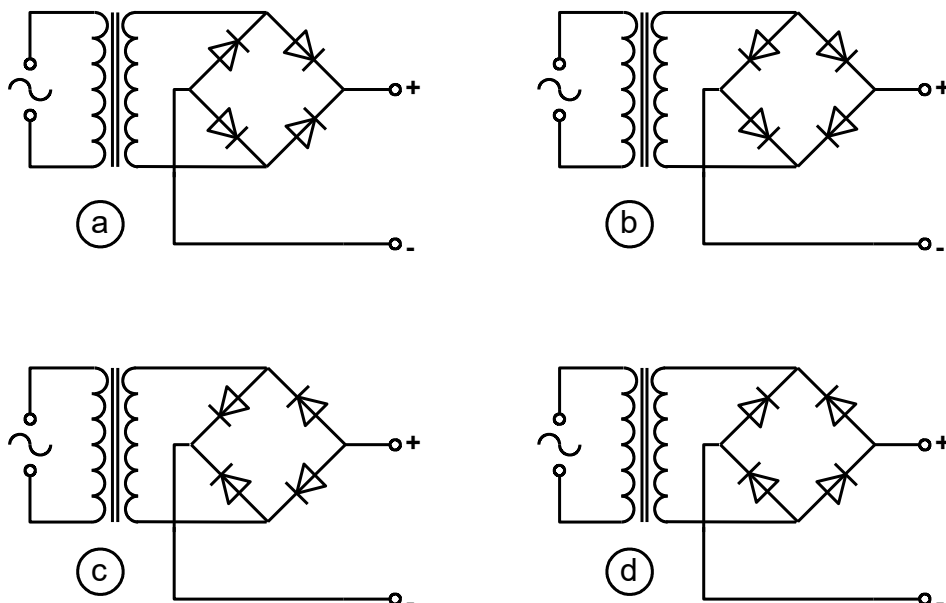


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



7.8.6 Uitwerking van Opgave 7-6



Welke schakeling is te gebruiken voor tweezijdige gelijkrichting?

- A. Schakeling a
- B. Schakeling b
- C. Schakeling c
- D. Schakeling d

Uitwerking

Hoe herken je een juist geschakelde bruggelijkrichter? Eerder in dit hoofdstuk is gezegd, dat je een diode mag zien als een pijl die de technische stroomrichting aangeeft. Dan moeten er twee pijlen naar de plus-aansluiting toe wijzen en twee van de min-aansluiting af.

Schakeling a voldoet aan die beschrijving, maar we kijken toch even verder.

Schakeling b laat twee dioden naar de onderste wisselstroomaansluiting wijzen en twee van de bovenste af. Er wijzen dioden naar en van de gelijkspanningsaansluitingen. Fout.

Schakeling c lijkt in orde, maar waar de plus moet zitten zit een min en omgekeerd. Fout.

Schakeling d vertoont hetzelfde euvel als b, maar met alle dioden omgekeerd. Ook fout dus.

Resteert antwoord A.



Terug naar de opgave