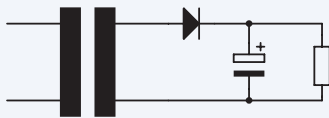
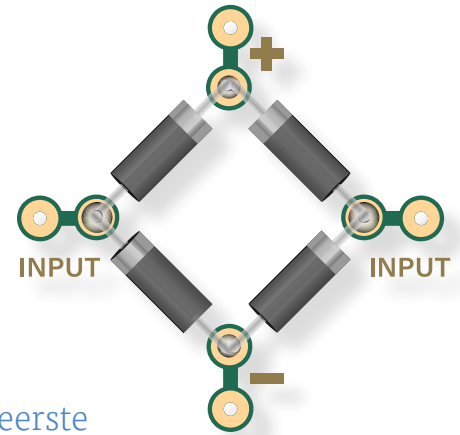


Alle begin...

...gaat gelijkrichten

Eric Bogers (Elektor)

In de vorige aflevering [1] hebben we de diode verwelkomd als eerste vertegenwoordiger van de halfgeleiderfamilie zonder welke de huidige elektronica ondenkbaar zou zijn. In deze aflevering gaan we rekenen aan gelijkrichters – we kunnen immers niet ‘zomaar’ onderdelen aan elkaar solderen en dan maar hopen dat het werkt...



Figuur 1. De enkelzijdige gelijkrichter.

Laten we eerst nog een blik werpen op onze enkelzijdige gelijkrichter (**figuur 1**). Hoe groter de capaciteit van de elco, des te minder zal de spanning tijdens de negatieve halve perioden van de wisselspanning dalen; en ook geldt dat naarmate de weerstand kleiner wordt (en dus de stroom die de belasting trekt groter wordt), de spanning tijdens de negatieve halve perioden meer zal afnemen ('inzakken', zegt de elektronicus). We kunnen dit in formulevorm gieten:

$$U = \frac{Q}{C} \rightarrow \Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I \cdot T}{C} = \frac{I}{f \cdot C}$$

We hebben hierbij stilzwijgend aangenomen dat de stroom constant is. Neem nu eens aan dat we een 15V-trafo hebben, een enkelzijdige gelijkrichter en een belasting die een stroom trekt van 1 A. De door de gelijkrichter geleverde spanning moet worden gestabiliseerd door een stabilisator-IC dat een minimale ingangsspanning van 18 V nodig heeft om een stabiele uitgangsspanning van 15 V te leveren (we komen in een volgende aflevering nog op dat IC terug). Hoe groot moet de elco in dat geval zijn?

Eerst moeten we de topwaarde van de wisselspanning berekenen; in een eerder artikel uit deze reeks hebben we gezien dat voor de topwaarde geldt:

$$U_{peak} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

Voor het gemak trekken we meteen 0,7 V van die topspanning af (dat is de doorlaatspanning van de als gelijkrichter gebruikte siliciumdiode):

$$U_{peak} = 15 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 0,7 \text{ V} = 20,5 \text{ V}$$

Voor de perfectici onder u: we hebben de uitkomst afgerond op één decimaal – dat is in dit geval nauwkeurig genoeg. Omdat het IC een ingangsspanning van minstens 18 V nodig heeft (die minimale ingangsspanning vinden we in het datablad van het IC), mag de spanning gedurende één periode maximaal 2,5 V inzakken. We herschrijven de formule voor de spanning over de condensator en vullen stroom, spanning en frequentie in:

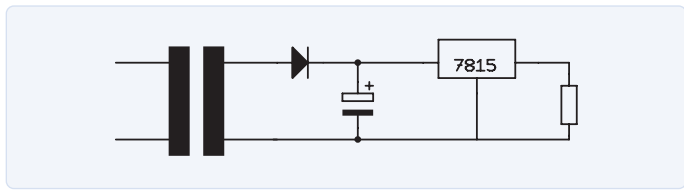
$$\Delta U = \frac{I}{f \cdot C} \rightarrow C = \frac{I}{f \cdot \Delta U}$$

$$C = \frac{1 \text{ A}}{50 \text{ Hz} \cdot 2,5 \text{ V}} = 8000 \mu\text{F}$$

De eerstgrote standaardwaarde zou 10.000 μF zijn, en dat is voor een stroom van slechts 1 A een behoorlijke 'zwaargewicht'. In principe zijn er twee methoden om op een lagere waarde (en dus een kleinere en goedkopere elco) uit te komen:

- we passen dubbelzijdige gelijkrichting toe, waardoor de condensator tweemaal zo vaak wordt bijgeladen;
- we verhogen de trafospanning en daarmee het toelaatbare spanningsverschil.

Die dubbelzijdige gelijkrichting komt verderop aan de orde; hieronder gaan we eerst in op 'verhoging van de trafospanning'. Als we een 18V-trafo gebruiken in plaats van het 15V-exemplaar uit het voorbeeld, dan vinden we achter de diode een topspanning van ongeveer 24,7 V, en dat betekent een maximaal toelaatbaar



Figuur 2. Enkelzijdige gelijkrichter met stabilisator-IC.

spanningsverschil van 6,7 V. De elco kan dan navenant kleiner worden gedimensioneerd; de berekende waarde komt uit op ongeveer 3000 μF en de eersthogere standaardwaarde is dan 3300 μF of 4700 μF .

Zoals een beroemde voetbalfilosoof al opmerkte, heeft elk voordeel z'n nadeel: deze oplossing brengt een hoger vermogensverbruik met zich mee, en tevens een grotere dissipatie in de spanningsregelaar. Daartoe werpen we een blik op **figuur 2**.

Het onderdeel met het typenummer '7815' is een vaste spanningsregelaar. Vooralsnog interesseert het ons niet hoe dat ding werkt – waar het hier om gaat is dat dit IC van een (binnen zekere grenzen) variërende DC-ingangsspanning een (vrijwel) constante DC-uitgangsspanning maakt.

Voor het uitgangsvermogen geldt in beide gevallen (het voorbeeld met de 15V-trafo en het voorbeeld met de 18V-trafo):

$$P_{out} = 15\text{ V} \cdot 1\text{ A} = 15\text{ W}$$

De dissipatie in het IC (het vermogen dat in het IC in nutteloze warmte wordt omgezet) is gelijk aan het verschil tussen ingang- en uitgangsspanning maal de stroom (in veel gevallen – en ook hier – kunnen we het eigenverbruik van het IC verwaarlozen).

$$P_{loss} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I = \left(\frac{U_{in(min)} + U_{in(max)}}{2} - U_{out} \right) \cdot I$$

$$P_{loss(15\text{ V})} = \left(\frac{18\text{ V} + 20,7\text{ V}}{2} - 15\text{ V} \right) \cdot 1\text{ A} = 4,35\text{ W}$$

$$P_{loss(18\text{ V})} = \left(\frac{18\text{ V} + 24,7\text{ V}}{2} - 15\text{ V} \right) \cdot 1\text{ A} = 6,35\text{ W}$$

Voor alle zekerheid: de ingangsspanning van het IC is niet constant; we gebruiken hier het rekenkundig gemiddelde van de minimale en de maximale ingangsspanning (dat is voor onze doeleinden nauwkeurig genoeg).

Het verliesvermogen in de spanningsregelaar neemt dus met ongeveer 50% toe – dat is een heleboel extra warmte die afgevoerd moet worden. Dat de trafo nu 22 W moet leveren in plaats van 20 W (dat is inclusief de verliezen in de diode en de spanningsregelaar) maakt doorgaans weinig uit, tenzij we daardoor gedwongen worden een trafo te gebruiken die net een maatje groter is.

De dubbelzijdige gelijkrichter

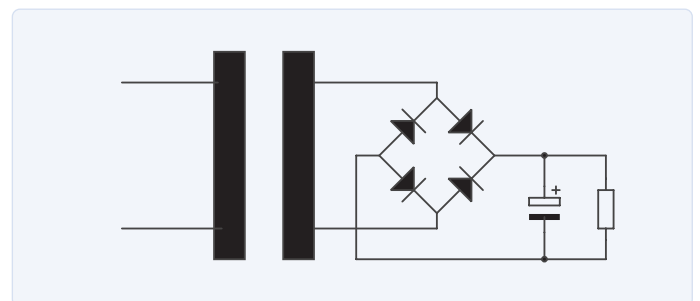
We hebben de dubbelzijdige gelijkrichter schematisch geschetst in

figuur 3. Dankzij de vernuftige schakeling met vier diodes (die ook wel bruggelijkrichter of Graetz-schakeling wordt genoemd) worden nu beide halve perioden van de sinusvormige wisselspanning aan de ingang benut. Tijdens de positieve halve periode loopt de laadstroom voor de elco door de diodes rechtsboven en linksonder, en tijdens de negatieve halve periode door de diodes rechtsonder en linksboven. Het voordeel is dat de elco tweemaal zo vaak wordt bijgeladen en dus (met de natte vinger geschat) maar ongeveer half zo 'dik' hoeft te zijn. Dit resulteert in de spanningsvormen van **figuur 4**: boven de ingangsspanning, midden de spanning over de belasting zonder elco, en onder de spanning over de elco. Voor de spanningsvariatie over de bufferelco van de dubbelzijdige gelijkrichter geldt:

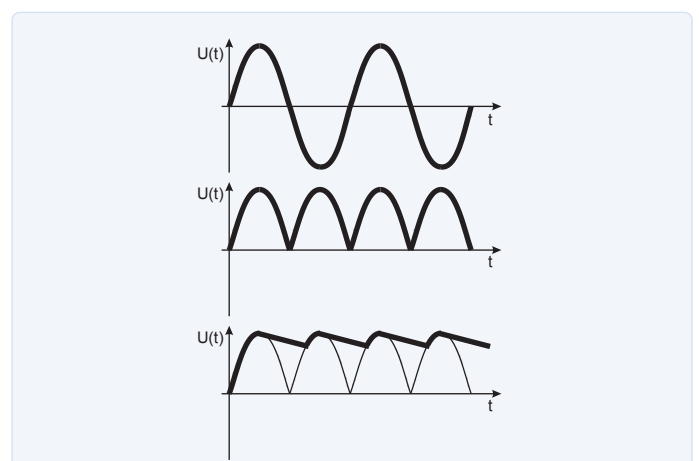
$$\Delta U = \frac{I}{2 \cdot f \cdot C}$$

Laten we ons eerdere voorbeeld (met de 15V-trafo) nu eens doorrekenen met een dubbelzijdige gelijkrichter. Vanwege de extra spanningsval over de tweede diode hebben we nu een topspanning van

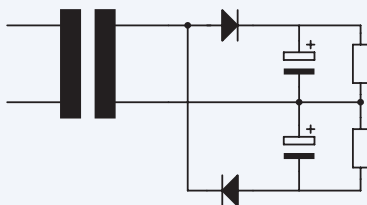
$$U_{peak} = 15\text{ V} \cdot \sqrt{2} - 1,4\text{ V} = 19,8\text{ V}$$



Figuur 3. De dubbelzijdige gelijkrichter.



Figuur 4. Spanningsvormen bij de dubbelzijdige gelijkrichter.



Figuur 5. Zo maken we een symmetrische voedingsspanning.

Daarmee komen we voor de elco uit op een waarde van

$$C = \frac{1\text{ A}}{2 \cdot 50\text{ Hz} \cdot 1,8\text{ V}} = 5500\text{ }\mu\text{F}$$

De eerstgrote standaardwaarde zou 6800 μF zijn, maar het is de vraag of die (gemakkelijk) verkrijgbaar is. Zo niet, moeten we toch een elco van 10.000 μF gebruiken. Bij een trafospanning van 18 V komen we uit op een berekende waarde van 1700 μF en een standaardwaarde van 2200 μF , en dat is in elk geval een maatje kleiner. Wat betreft onze aanvankelijke verwachting dat de bufferelco nog maar half zo groot zou moeten zijn, haalt de doorlaatspanning van de gelijkrichtdioden een streep door de rekening. Het moge duidelijk zijn dat de stroom door de belasting een doorslaggevende rol speelt: hoe groter die stroom, des te dikker de elco. Dat is dan ook de reden dat we in het voedingsdeel van zware vermogensversterkers vaak een hele batterij dikke elco's aantreffen.

Symmetrische voedingsspanning

Voor schakelingen met operationele versterkers ('opamps') hebben we in veel gevallen een symmetrische voedingsspanning nodig – daarmee bedoelen we ten opzichte van de gemeenschappelijke massa even grote positieve en negatieve spanningen. Dat kunnen we in principe voor elkaar krijgen met twee transformatoren, of met een trafo met twee secundaire wikkelingen, gevolgd door een tweetal gelijkrichters.

Het kan echter ook eenvoudiger: het is mogelijk om uit één wisselspanning een positieve en een negatieve gelijkspanning af te leiden, zoals geschetst in **figuur 5**. In feite hebben we daar met twee enkelzijdige gelijkrichters te maken waarvan de ene de positieve halve perioden van de sinusvormige ingangswisselspanning benut en de andere de negatieve halve perioden. Voor de berekening van de elco's gelden dezelfde vergelijkingen als voor 'gewone' enkelzijdige gelijkrichters.

Aan de dimensionering van de trafo moet nu echter wat meer aandacht worden besteed. Stel dat we een symmetrische voedingsspanning van $\pm 15\text{ V}$ nodig hebben bij een stroom van 1 A. Deze spanningen worden weer door spanningsregelaars gestabiliseerd. De trafo moet in staat zijn tenminste 20 W te leveren (1 A bij een topspanning van ca. 20 V) – maar dat is per halve periode. In totaal moet de trafo dus tenminste 40 W kunnen leveren.

Dat was het voor deze keer; in de volgende aflevering gaan we spanningen vermenigvuldigen. 

220169-03

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

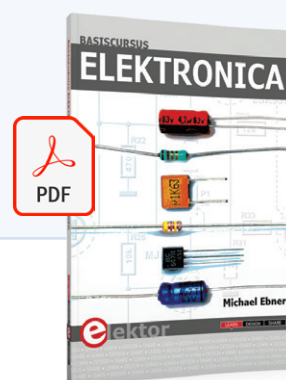
Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



GERELATEERDE PRODUCTEN

> Michael Ebner,
Basiscursus elektronica
(E-boek, SKU 18232)
www.elektor.nl/18232



WEBLINK

[1] Eric Bogers, Michael Ebner:
"Alle begin ... verwelkomt de diode", Elektor mei/juni 2022:
www.elektormagazine.nl/220003-03