



Actieve gelijkrichter

voor 2...40 V bij maximaal 3 A met tegenstroomonderdrukking

Holger Nobach (Duitsland)

Actieve gelijkrichters worden gebruikt wanneer de verliespanning over de gelijkrichterschakeling kleiner moet zijn dan de diode-doorlaatspanning. Dit houdt de spanningsverliezen laag voor kleine AC-ingangsspanningen en de vermogensdissipatie blijft laag genoeg om zelfs bij stromen van meerdere ampères de vereiste koeling binnen de perken te houden.

Let op!

De uitgang van de LT1017 bevat een pull-up stroombron die slechts 15...70 μA vanuit de positieve voedingsspanning levert. In de hier gepresenteerde schakeling is dat genoeg, maar in andere toepassingen moet rekening worden gehouden met deze beperking.

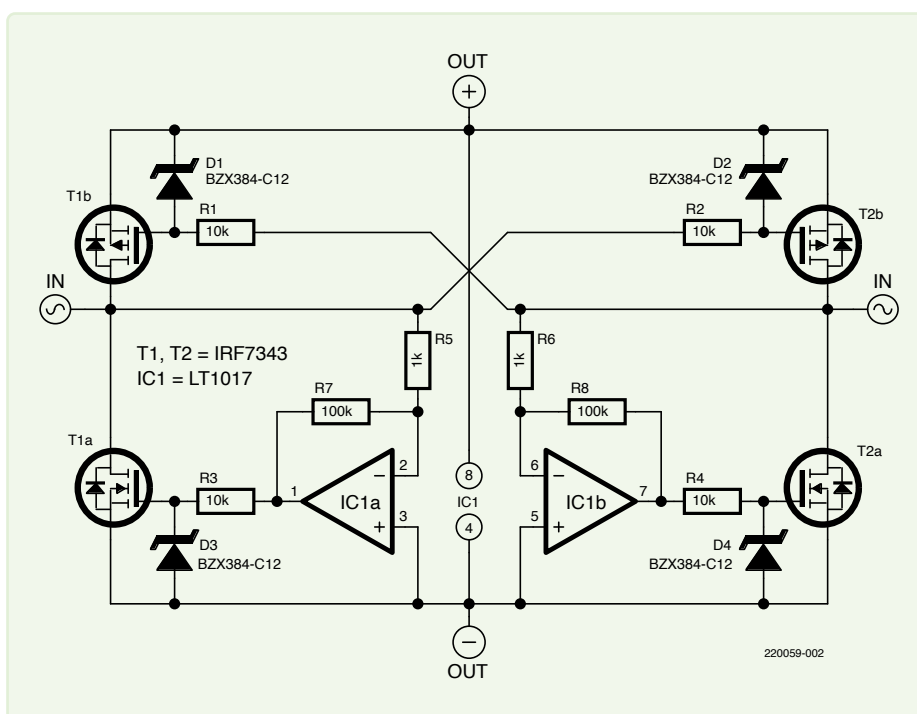
De actieve gelijkrichterschakeling van **figuur 1** werkt bij ingangsspanningen tussen 2 V en 40 V (piek) en bij stromen tot 3 A (of 1,5 A zonder speciale koelmaatregelen). De verliespanning over de hele schakeling bedraagt niet meer dan ongeveer 50 mV bij geringe belasting (1 mA) en ongeveer 0,7 V bij 3 A (**figuur 2**).

Gelijkgerichte fietsdynamo

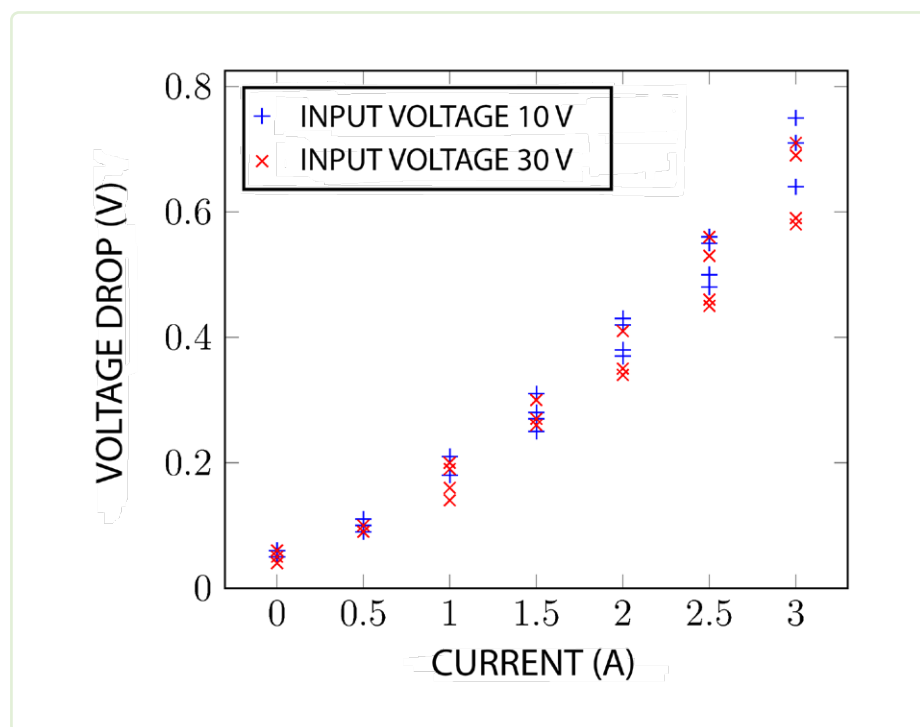
De schakeling is bijvoorbeeld geschikt voor het gelijkrichten van de spanning van een fietsdynamo, die een vrij grote inwendige weerstand heeft. Onder belasting neemt de door de dynamo geleverde spanning dus sterk af, zodat er zo min mogelijk spanning over de gelijkrichter verloren mag gaan en de schakeling ook een lage bedrijfsspanning moet kunnen verwerken. Een kant-en-klaar

geïntegreerde oplossing voor het aansturen van de MOSFET's (bijvoorbeeld een LT4320) is niet optimaal voor gebruik met een fietsdynamo vanwege het opgegeven ingangsspanningsbereik van 9...72 V.

Om een extra voeding voor de schakeling te vermijden, ligt actieve gelijkrichting door twee P-kanaal en twee N-kanaal MOSFET's in een brugschakeling hier voor de hand. Het bovenste deel van de schakeling stuurt de corresponderende MOSFET's open als de spanning op een van de ingangen voldoende lager is dan de spanning op de positieve uitgang, die op zijn beurt wordt bepaald door de hoogste spanning van de twee ingangen. Deze schakeling met kruislings doorverbonden gates, specifiek gebruikt voor het gelijkrichten van de spanning van een fietsdynamo, is bekend uit [1]. Voor een ohmse belasting is dit gelijk-



Figuur 1. Het schema van de actieve gelijkrichter.



Figuur 2. Verliesspanning als functie van de voorwaartse stroom voor twee verschillende ingangsspanningen, voor telkens twee modules en twee polarisaties van de ingangsspanning.

richtprincipe bruikbaar, maar wanneer een bufferelco wordt gebruikt aan de uitgang van de gelijkrichter, treden er tegenstromen – en dus aanzienlijke blindvermogens – op.

Om dat te voorkomen, is het niet voldoende om alleen de ingangsspanningen te vergelijken. In plaats daarvan moeten de ingangsspanningen worden vergeleken met de twee (gewenste) potentialen van de gebufferde uitgangsspanning, en vervolgens moeten de MOSFET's navenant worden geschakeld. Een populaire schakeling [2] in verschillende varianten gebruikt vier opamps (bijvoorbeeld LMV841, LMV842 of LMV844), die zijn aangesloten als inverterende versterker, die elk een van de twee ingangsspanningen vergelijken met een van de uitgangspotentialen. Omdat de operationele versterkers gevoed moeten worden vanuit de uitgangsspanning, moeten ze ingangsspanningen kunnen verwerken die hoger zijn dan de twee voedingsspanningen. De LMV84x is hiervoor geschikt, maar zijn voedingsspanning is beperkt tot maximaal 12 V. De hier gebruikte LT1017 heeft daarentegen een voedingsspanningsbereik van 1,1...40 V. Het ingangsbereik loopt echter slechts van de lagere voedingsspan-

ning (maximaal 0,3 V onder de negatieve voedingsspanning), terwijl de ingangsspanning niet hoger mag zijn dan de positieve voedingsspanning. Daarom wordt alleen het onderste deel van de schakeling, dat wordt gebruikt om de negatieve uitgangsspanning te leveren, bestuurd door de opamps, terwijl het bovenste deel alleen wordt gestuurd door het vergelijken van de ingangsspanningen, wat de reden is waarom het in geleiding blijft tot de spanning omkeert, zelfs bij afnemende ingangsspanning. De blokkering van de MOSFET's in het onderste deel van de schakeling moet dienovereenkomstig nauwkeurig zijn om op betrouwbare wijze tegenstromen te voorkomen.

Twee MOSFET's in geleiding

In het circuit wordt een tweetal IRF7343 MOSFET's gebruikt; als alternatief kunnen een IRF7341 (dual N-kanaal MOSFET, voor T1a en T2a) en een IRF7342 (dual P-kanaal MOSFET, voor T1b en T2b) worden gebruikt. De twee bovenste P-kanaal MOSFET's beginnen elk door te schakelen wanneer de gatespanning negatief wordt ten opzichte van de sourcespanning (drempelspanning -1 V).

Dit is altijd het geval als het spanningsverschil aan de ingang groter is dan 1,5 V. Bij een spanningsverschil van 3 V zijn de MOSFET's volledig in geleiding. De maximale drain-sourcespanning van ± 55 V is hoger dan de maximale ingangsspanning van ± 40 V die hier is opgegeven. Aan de andere kant moeten de gates vanwege de maximale gate-sourcespanning van ± 20 V worden beschermd tegen overspanning, bijvoorbeeld door een combinatie van een weerstand (R1...R4) en een zenerdiode (D1...D4). Met weerstanden van 10 k Ω loopt er maximaal 4 mA door de zenerdiodes, zelfs bij kleine zenerspanningen, zodat kleine types met een lage vermogensdissipatie (300 mW) kunnen worden gebruikt. Het exacte type is echter niet kritisch, binnen ruime grenzen. De zenerspanning kan worden gekozen in een breed bereik boven 3 V, waar de MOSFET's volledig in geleiding zijn, tot de maximaal toegestane gate-sourcespanning van 20 V. Omdat de werkelijke spanning over de zenerdiodes ook afhangt van de stroom, moeten we een ruime afstand houden van de grenzen van het bereik. Met een zenerspanning van 12 V zit je zeker aan de veilige kant. Als het ingangsspanningsbereik wordt beperkt tot ± 20 V, zoals gesuggereerd in het kader **Pas op, hoogspanning!** kunnen zenerdiodes D1...D4 worden weggelaten en kunnen weerstanden R1...R4 worden overbrugd.

De 'onzichtbare' substraaldiodes in de MOSFET's (P-kanaal bovenen N-kanaal onder in het schema) zorgen ervoor dat de hele schakeling werkt als een diode-brugge-gelijkrichter, zelfs wanneer de MOSFET's sperren. Zodra het spanningsverschil op de ingang van de schakeling groter is dan ongeveer 2 V, wordt de opamp voldoende gevoed en worden alle MOSFET's aangestuurd voor actieve gelijkrichting.

De twee N-kanaal MOSFET's onder in het schema worden elk verondersteld te openen wanneer een van de twee ingangsspanningen een grotere amplitude heeft dan de negatieve uitgangsspanning. De twee opamps zijn daarom geïmplementeerd als inverterende versterkers met een versterking van 100. Met een drempelspanning van 1 V beginnen de twee MOSFET's te geleiden bij een ingangsspanning van 10 mV onder de negatieve uitgangsspanning.



Pas op: hoogspanning!

Op forums wordt gemeld dat de uitgangsspanning van een fietsdynamo onbelast 80 V kan halen. Voor die gevallen moet de schakeling aan de ingangen (~ symbool) worden beveiligd met twee in antiserie geschakelde zenerdiodes met een zener-spanning van bijvoorbeeld 39 V. Deze dragen niet bij aan de gelijkrichting en zijn daarom hier niet in het schema getekend. Bij gebruik van zo'n 'externe' begrenzing van de toegestane MOSFET-ingangsspanning van ± 20 V kunnen zenerdiodes D1...D4 worden weggelaten en weerstanden R1...R4 worden overbrugd.

Bij een gate-sourcespanning van 3 V en een ingangsspanning van 30 mV onder de negatieve uitgangsspanning zijn de MOSFET's volledig in geleiding. Hiertoe tolereert de LT1017 ingangsspanningen tot 0,3 V onder de negatieve voedingsspanning.

Aan de andere kant, als de ingangs- en uitgangsspanningen van de schakeling gelijk zijn, moeten de MOSFET's betrouwbaar sperren om tegenstromen te voorkomen. Wanneer de spanning aan de ingangen gelijk is, loopt de uitgang van een invertende versterker op naar dezelfde spanning. In het ideale geval is de gatespanning van de MOSFET dus gelijk aan de sourcespanning en schakelt de MOSFET uit. Met een maximale offsetspanning van de comparator van 1 mV verschuift deze evenwichtstoestand naar een maximale gate-sourcespanning van 100 mV, die ver genoeg onder de drempelspanning ligt om de MOSFET's volledig te doen sperren. Soms vragen mensen naar de noodzaak van de externe schakeling voor opamps. In principe zou de directe vergelijking van de ingangsspanning met de uitgangsspanning volstaan. Maar zelfs bij identieke ingangsspanningen kan een ongewenste offsetspanning van de opamps ervoor zorgen dat een van de MOSFET's in geleiding blijft en zo een ongewenste tegenstroom van de uitgang terug naar de ingang doet lopen. Alleen als de (tegen-)stroom groot genoeg is, is de spanningsval over de MOSFET zeker groot genoeg om de uitgang van de operationele versterker te schakelen en zo de MOSFET uit te schakelen. Om te garan-

deren dat de MOSFET's betrouwbaar sperren bij identieke ingangsspanningen, zouden de spanningen aan de ingang van de operationele versterker ten opzichte van elkaar verschoven moeten worden met ten minste de mogelijke offsetspanning, bijvoorbeeld door middel van diodes in doorlaatrichting en bijbehorende lekweerstanden (ofwel diodes met verschillende doorlaatspanningen of identieke diodes met verschillende lekweerstanden – en dus verschillende doorlaatstromen). De schakeling zou dan echter ingewikkelder worden vergeleken met de hier gepresenteerde oplossing. 

220059-03

Vragen of opmerkingen?

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

Over de auteur

Holger Nobach (Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization, Göttingen, Duitsland) studeerde elektrotechniek en promoveerde aan de Universiteit van Rostock. Hij ontwikkelde meettechnieken en signaalverwerkingsmethoden in Kopenhagen, Darmstadt, in de VS en in Göttingen, waar hij leiding geeft aan de ontwikkeling van elektronica aan het Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization en colleges geeft aan de Universiteit van Göttingen. Van tijd tot tijd vereist het experimentele werk aan het instituut regelen meettechnologie die verder gaat dan standaardproducten. Het meest recente project betreft snelle en gevoelige meetsondes voor turbulente stromingen.



Gerelateerde producten

> **The Elektor Power Supply Collection (USB Stick) (SKU 20451)**
www.elektor.nl/20451



WEBLINKS

[1] Jürgen Heidbreder, Benno Kröck, "Mosfet-Gleichrichter für Fahrradbeleuchtung", Fahrrad Zukunft nummer 14, 2012 [Duits]: <https://fahradzukunft.de/14/mosfet-gleichrichter>

[2] mikrocontroller.net, Forum Analoge Elektronik und Schaltungstechnik, MOSFET-Gleichrichter mit OPV [Duits]: <https://mikrocontroller.net/topic/375657#new>