

# Voeding voor high-power-LED's



## Driver-schakelingen voor high-power-LED's

Eberhard Haug

Sinds een paar jaar geven LED's werkelijk licht: In de nieuwe Audi R8 worden 'Advanced Power TopLED's' van Osram als verlichting voor overdag toegepast (foto: Audi AG).

**De afkorting LED betekent weliswaar al sinds de zestiger jaren 'Licht Emitterende Diode', maar echt licht geven doen de LED's pas sinds een paar jaar. Opdat high-power-LED's onder alle omstandigheden licht geven, hebben ze geschikte drivers nodig. We geven hier een overzicht van eenvoudige en omslachtige concepten.**

Men kan het niet duidelijk genoeg zeggen: een LED leeft alleen op stroom! Dat is het gevolg van het feit dat ze een niet-lineaire spanning/stroom-karakteristiek heeft met een duidelijke knik bij de kleur- respectievelijk technologie-afhankelijke doorlaatspanning. Deze knik- of drempelspanning is tot overmaat van ramp ook nog exemplaar- en temperatuurafhankelijk. In **figuur 1** zijn drie gemeten U/I-karakteristieken van witte high-power-LED's (ook high-brightness- of HB-LED's genoemd) van verschillende fabrikanten afgebeeld. Dat kunnen echter net zo goed karakteristieken zijn van één type bij verschillende exemplaren of bij verschillende temperaturen. Terwijl een kleine verandering van de spanning al een grote verandering van de LED-stroom en daarmee de LED-helderheid bewerkstelligt, heeft een kleine stroomverandering (in het normale werkgebied) slechts een onbelangrijke verandering van de LED-helderheid tot gevolg.

### Lineaire LED-driver

Een LED moet dus door een stabiele stroombron gevoed worden. Alleen als de voedingsspanning enigszins constant is of als het niet te duur mag zijn, komt ook een spanningsbron en een LED-serieweerstand in aanmerking,

die de LED-stroom op de toelaatbare respectievelijk gewenste waarde begrenst.

Als bruikbare LED-stroombron (LED-driver) is vaak al een lineaire spanningsregelaar voldoende, waar men een bepaalde ohmse weerstand als belasting op aansluit. In **figuur 2** is een lineaire LED-driver voor de voeding van drie HB-LED's met  $U_B = 12\text{ V}$  afgebeeld. Anders dan de lineaire 3-pens-standaard-regelaars (zoals LM317T) heeft de MIC29152 [1] een extra enable-ingang, die niet alleen voor het in- en uitschakelen, maar ook uitstekend voor het PWM-dimmen met enige honderden hertz geschikt is. Pull-up-weerstand R2 is alleen noodzakelijk als EN met een contact of een open-collector-sigitaal gestuurd wordt. Er kan ook een TTL/CMOS-sigitaal worden gebruikt. Dan vervalt R2 natuurlijk of wordt in plaats van met  $+U_B$  met de voedingsspanning van de digitale IC's verbonden.

De component stuurt door drie LED's bij 12 V voedingspanning moeiteloos 350 mA zonder koeling. De LED-stroom volgt uit  $I_{LED} = U_1/R_1 = 1,24/3,9 = 318\text{ mA}$  (de volle 350 mA LED-stroom krijgt men door 39  $\Omega$  parallel aan R1 te schakelen). De lineaire verliezen ontstaan zowel bij stroom-sense-weerstand R1 (ca. 0,5 W) als bij de LDO (low-drop-out-regelaar). Ten gevolge van de

geringe dropout-spanning (dat is de minimale spanning tussen in- en uitgang die de LDO bij een bepaalde stroom nodig heeft om betrouwbaar te werken) kan een enkele HB-LED ook met 5 V gevoed worden. Met deze schakeling kunnen ook maximaal zeven LED's in serie gevoed worden, indien de voedingsspanning  $U_B$  tot de maximaal toelaatbare waarde van 26 V verhoogd wordt (de werkspanning van de condensatoren moet dan aangepast worden!).

### Rendement

Basisvoorwaarde voor de toepassing van een lineaire LED-driver is dat de voedingsspanning groter is dan de LED-drempelspanning. De verschilspanning vermenigvuldigd met de LED-stroom levert bij de lineaire LED-driver het 'verstoekte' elektrische vermogen (verliezen in het stuur-IC en overige parallel geschakelde elektronica niet meegerekend; verliezen in de stroom-sense-weerstand juist wel, omdat deze in serie met de LED staat). Hier kan men een eenvoudige relatie voor het rendement uit afleiden, namelijk  $\eta = U_{LED}/U_B$ . Dit betekent dat een hogere voedingsspanning een slecht rendement tot gevolg heeft.

Wanneer de verschilspanning klein is, kan men gemakkelijk een hoger rendement dan met een duurdere geschakelde LED-driver bereiken. Men heeft dan een LDO-versie nodig, die weinig spanningsval nodig heeft om de LED-stroom te kunnen regelen (dropout-spanning ligt gewoonlijk ver onder een volt), maar die ook met zo min mogelijk spanningsval (meestal 0,5 V tot minder dan 0,1 V) over de meestal aanwezige stroom-sense-weerstand verbonden moet worden.

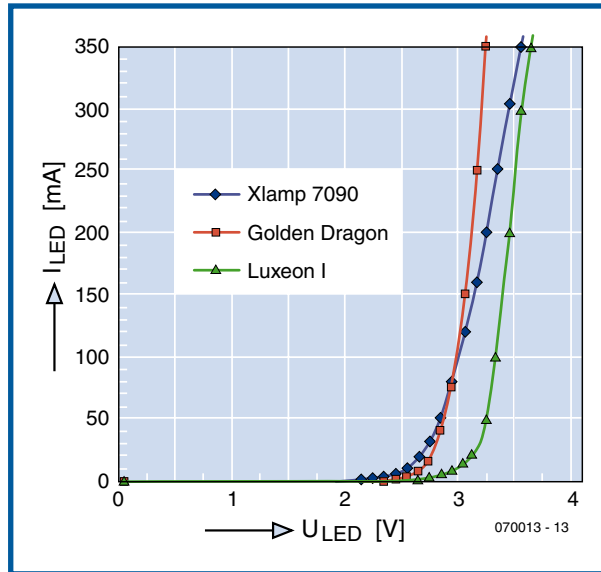
Als vuistregel kan men zeggen: Onder 10% spanningsreserve ('head room' respectievelijk LDO-dropout-spanning) is een lineaire LED-driver in ieder geval interessant, want zijn rendement ligt dan in de orde van grootte van een geschakelde LED-driver, echter voor duidelijk minder moeite, lagere kosten en wellicht betere eigenschappen. Niet onvermeld blijven moet het feit dat lineaire LED-drivers geen elektrische respectievelijk elektromagnetische storing opwekken – zolang ze niet via PWM gedimd worden.

### LED-controller

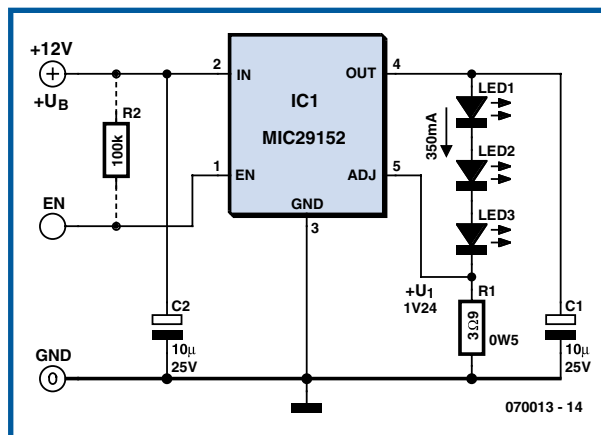
Het schema in **figuur 3** lijkt veel op dat van figuur 2. De toegepaste MIC5190 is een LDO-controller die niet zelf de uitgangsstroom levert, maar via vermogens-MOSFET T1 de voeding voor een LED verzorgt. Dit maakt het mogelijk een bijna willekeurig grote LED-stroom met bijna willekeurig kleine spanningsval over de MOSFET te realiseren. Bovendien kan de HB-LED op de positieve voedingsspanning worden aangesloten, zodat eventueel RGB-LED's met gemeenschappelijke anode kunnen worden toegepast.

Nog een verschil is het aansluiten van de LED aan de drain van de MOSFET's. Hierdoor blijft voor de N-kanaals MOSFET voldoende gate-source-spanning over. De LED-stroom-sense-spanning is hier slechts 0,5 V. Overeenkomstig berekent men de LED-stroom met  $I_{LED1} = 0,5/R1$ . Afhankelijk van de LED-stroom is eventueel extra koeling nodig.

Dit voorbeeld toont een driekanaals LED-driver oplossing (bijvoorbeeld voor high-power-RGB-LED's). De besturing van het tweede en derde kanaal door nog twee LDO-controllers is voor de duidelijkheid niet getoond. De LED-stromen kunnen via R1, R2 en R3 afzonderlijk gedimensi-



**Figuur 1.** Drie karakteristieken van witte high-power-LED's van verschillende fabrikanten. Terwijl een kleine verandering van de spanning een grote verandering van de LED-stroom (en daarmee de helderheid van de LED) bewerkstelligt, heeft een stroomverandering nauwelijks invloed.



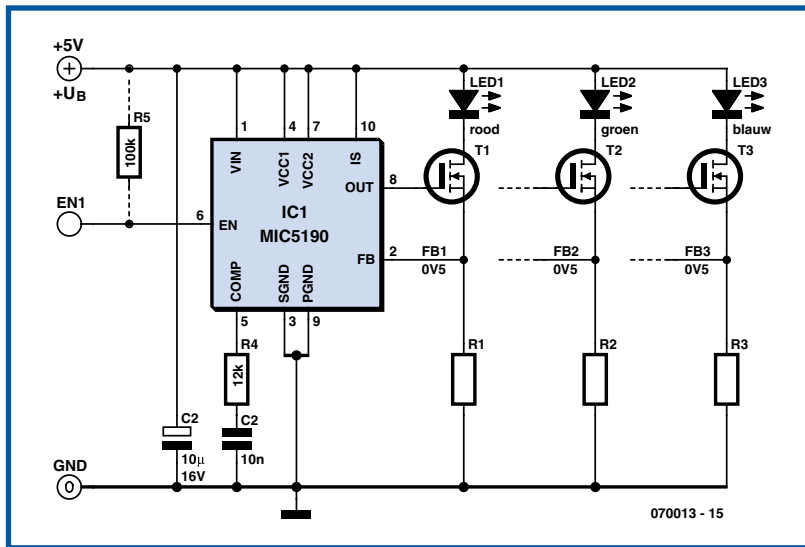
**Figuur 2.** Een lineaire LED-driver voor de voeding van drie high-power-LED's bij 12 V (som van de maximale brandspanningen is 10,5 V). De enable-ingang kan zelfs voor PWM-dimmen met enige honderden hertz gebruikt worden.

oneerd worden, zodat bijvoorbeeld bij RGB-LED's een optimaal wit licht ontstaat.

Het PWM-dimmen (bij RGB-LED's eventueel de kleurinstelling) is weer mogelijk via de enable-ingang. Ook hier kan de pull-up-weerstand (R5) weggelaten worden, indien EN1 met een logisch niveau aangestuurd wordt. Deze LED-controller heeft geen condensatoren aan zijn uitgang nodig, zodat door de korte reactietijden ook tamelijk hoge PWM-dimfrequenties kunnen worden toegepast. Het schema volgens figuur 3 is voor 5-V-systemen voor de voeding van telkens een LED getekend. Wil men meer LED's in serie schakelen (RGB-LED's met gemeenschappelijke anode kan men dan natuurlijk niet meer gebruiken), dan kan men gewoon de positieve anode aan een voldoende hoge voedingsspanning leggen. Heeft men geen logisch-niveau-MOSFET, dan heeft men een aparte voeding voor VCC2 nodig (zie datasheet van de MIC5190 [2]).

### Geklokte LED-drivers

Geschakelde LED-drivers zijn in twee situaties bijna onvermijdelijk. Ten eerste: bij een groter verschil tussen de



**Figuur 3.** De hier gebruikte component is een LDO-controller die de uitgangsstroom niet zelf levert, maar de LED via een vermogens-MOSFET aanstuurt.

voedingsspanning en de LED-brandspanning en een grote LED-stroom. Ten tweede: indien de totale LED-brandspanning groter is dan de ter beschikking staande voedingsspanning. In het eerste geval gaat het om step-down-LED-drivers, in het tweede geval om step-up-LED-drivers – wie had dat gedacht! Het kan echter nog iets ingewikkelder worden.

In tegenstelling tot een step-down-spanningsomzetter (ook als buck-regelaar bekend) is een step-down-LED-driver geen geschakelde spanningsbron, maar een geschakelde stroombron. Net als bij de lineaire LED-drivers kan men echter ook een geschakelde spanningsbron relatief eenvoudig tot een stroombron ombouwen, door de gewenste LED-stroom uit de aanwezige referentiespanning  $U_{REF}$  (typisch 1,2 V) met behulp van stroom-senseweerstand  $R_S$  op te wekken. De LED-stroom volgt dan uit  $I_{LED} = U_{REF}/R_S$ .

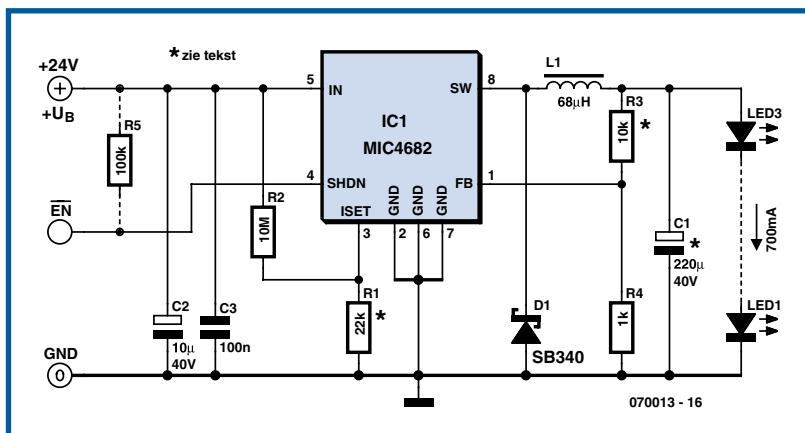
De moeilijkheid hierbij is weer de relatief hoge referentiespanning die het totale rendement ondanks de geschakelde stroombron omlaag trekt. Uitkomst biedt hier of de versterking van een aanzienlijk lagere stroom-sense-

spanning t.o.v. de aanwezige referentiespanning of men past meteen een lagere referentiespanning toe. Omdat intussen steeds meer step-down-spanningsomzeters voor uitgangsspanningen lager dan 1 V worden aangeboden, zal men bij nieuwe componenten redelijk snel iets bruikbaar vinden.

De bijzonder eenvoudige en leuke HB-LED-driver MIC4682 (**figuur 4**) kan bij 24 V voedingsspanning (kenmerkend voor industriële installaties) maximaal 3 HB-LED's in serie voeden. De enable-ingang kan eventueel ook met een 24-V-signaal of een schakelcontact worden bestuurd, maar tevens met een logisch niveau.  $R_5$  vervalt dan of wordt in plaats van met  $+U_B$ , met de logicavoeding verbonden.

Afhankelijk of er per PWM gedimd moet worden of niet, moet men  $C_1$  overeenkomstig dimensioneren. De voorgestelde 220  $\mu F$  zorgt voor een zo klein mogelijke LED-stroomrimpel als er niet wordt gedimd. Bij PWM-dimmen kiest men  $C_1 = 10 \mu F$  (tantaal of elco), zodat  $C_1$  sneller kan worden ontladen. De schakeling is ondanks kleinere  $C_1$  stabiel, maar de stroomrimpel (gemeten bij 100% PWM-sturing) is iets groter.

Spanningsdeler  $R_3/R_4$  aan de uitgang begrenst de uitgangsspanning in het geval van een LED-onderbreking



**Figuur 4.** Deze eenvoudige stepdown-LED-driver kan bij 24 V voedingsspanning maximaal drie high-power-LED's in serie voeden.

met de aangegeven dimensionering op ca. 14 V (pas op bij het aansluiten van de LED's na het inschakelen!).  $R_1$  bepaalt de LED-stroom en wordt aan de hand van een grafiek van de MIC4682-datasheet [3] bepaald. Bij  $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$  bedraagt de LED-stroom ca. 700 mA.

Een criterium voor de keuze van een geschikte geschakelde LED-driver is zijn schakelfrequentie (ligt in het gebied van enige tientallen Hz tot meerdere MHz), die hoofdzakelijk de grootte van de spoel, maar ook de grootte van de LED-stroomrimpel beïnvloedt. Aan de andere kant kunnen de dynamische verliezen bij hogere frequenties afhankelijk van het ontwerp sterk toenemen en het bereikbare rendement verlagen.

### LED's aan het net

Een extreem geval van een step-down-LED-oplossing is de toepassing aan de netspanning. Hier moet een relatief grote LED-stroom bij een zeer lage LED-spanning uit een

zeer hoge en sterk veranderende spanning worden afgeleid. In dit geval is een extreme PWM-schakelverhouding nodig die wordt bepaald door de verhouding tussen de LED-brandspanning en de werkelijke voedingsspanning (meestal de gelijkgerichte netspanning).

Bij een enkele witte LED en 230 V netspanning plus 15% overspanning zou de schakelverhouding in het uiterste geval circa 1% zijn. Het aanbod van geschikte omzetter-IC's wordt bij zulke eisen al tamelijk klein.

Enkele jaren geleden stelde de firma Supertex al een stepdown-LED-driver voor gebruik op het net, de HV9901. Het idee van de topwaardebesturing die hieraan ten grondslag lag, werd inmiddels doorontwikkeld en er zijn al enkele IC's van verschillende halfgeleiderfabrikanten verkrijgbaar die volgens dit of een afgeleid principe werken – ook voor lagere voedingsspanningen.

Helemaal nieuw zijn LED's die zonder speciale drivers op de netspanning kunnen worden aangesloten. De introductie van de Acriche-LED's van Seoul tijdens de Electronica 2006 trok in ieder geval de aandacht (zie **figuur 5**).

Enkele andere bedrijven zoals Lynk Labs zijn eveneens op dit gebied actief.



**Figuur 5.** De Acriche-LED-modules van Seoul Semiconductor kunnen zonder transformator direct aan een stopcontact worden aangesloten. Hier zien we een LED van 2 W. De fabrikant is van plan de helderheid te verhogen van momenteel 48 lm/W tot maximaal 80 lm/W in het vierde kwartaal van 2007 en 120 lm/W in het jaar 2008.

vereiste piekstromen (in de schakel-MOSFET en de converter-spoel) overeenkomstig groot. Daarom liggen bij zulke omzeters de minimale voedingsspanningen gewoonlijk boven 2 V, zodat ze bij twee nagenoeg ontladen batterijen respectievelijk accu's nog behoorlijk werken.

Stepup-LED-drivers voor high-power-LED's gevoed met slechts één batterij respectievelijk accu (nominaal



## Fabrikanten

(zeker niet volledig)

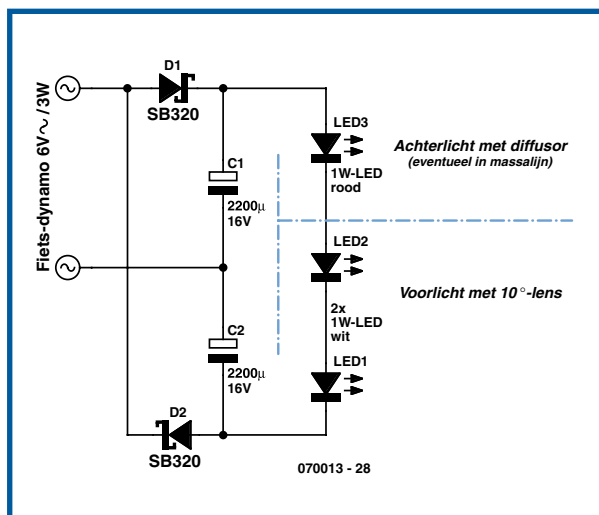
<a href="http://www.allegromicro.com">www.allegromicro.com</a>	<a href="http://www.monolithicpower.com">www.monolithicpower.com</a>
<a href="http://www.analog.com">www.analog.com</a>	<a href="http://www.national.com">www.national.com</a>
<a href="http://www.austriamicrosystems.com">www.austriamicrosystems.com</a>	<a href="http://www.nxp.com">www.nxp.com</a>
<a href="http://www.catsemi.com">www.catsemi.com</a>	<a href="http://www.onsemi.com">www.onsemi.com</a>
<a href="http://www.fairchildsemi.com">www.fairchildsemi.com</a>	<a href="http://www.ricoh.com/LSI">www.ricoh.com/LSI</a>
<a href="http://www.infineon.com">www.infineon.com</a>	<a href="http://www.rohm.com">www.rohm.com</a>
<a href="http://www.intersil.com">www.intersil.com</a>	<a href="http://www.semtech.com">www.semtech.com</a>
<a href="http://www.ixys.com">www.ixys.com</a>	<a href="http://www.sipex.com">www.sipex.com</a>
<a href="http://www.linear.com">www.linear.com</a>	<a href="http://www.st.com">www.st.com</a>
<a href="http://www.maxim-ic.com">www.maxim-ic.com</a>	<a href="http://www.supertex.com">www.supertex.com</a>
<a href="http://www.melexis.com">www.melexis.com</a>	<a href="http://www.ti.com">www.ti.com</a>
<a href="http://www.micrel.com">www.micrel.com</a>	<a href="http://www.zetex.com">www.zetex.com</a>
<a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	

## Stepup-LED-drivers

Het andere uiterste van een spanningsbron met zeer lage voedingsspanning vormen batterijen en accu's. Dan is onvermijdelijk een stepup-LED-driver noodzakelijk (ook als boost-regelaar bekend). Het aantal aan te sturen LED's varieert van 1 tot 10 of nog meer LED's in serie, die een totale LED-brandspanning van meer dan 30 V nodig hebben!

Zo'n stepup-LED-driver met de boost-controller MIC2196 [4] en bijbehorende N-kanalen MOSFET stuurt zonder moeite een 6-chip-OSTAR-LED met nominaal 24 W. Men moet opletten, dat bij de toegepaste boost-topologie de ingangsspanning onder de LED-brandspanning moet liggen. Details van dit veelzijdige schema staan in de documentatie van de Micrel-evaluatie-print [5] beschreven.

Daarbij is niet de spanningsverhouding, maar het benodigde LED-vermogen de uitdaging voor de ontwikkelaars, want vooral bij lage batterijspanningen worden de



De grote zegeocht van de high-power-LED's staat ons nog te wachten. Hier een voorstel van de auteur voor een dynamo-aangedreven LED-fietsverlichting [6].

1,2...1,5 V) zijn weliswaar technisch uitvoerbaar, maar beslist niet economisch. Een ander geniepigheid bij stepup-LED-drivers is het dimmen met PWM. Over de voor- en nadelen van het PWM-dimmen zijn boekdelen te schrijven, daarom hier slechts de aanwijzing dat de schakelfrequentie van een step-up-LED-driver betrekkelijk hoog en de regeltijd relatief kort moet zijn, zodat een groot dimbereik van liefst 0...100% kan worden gerealiseerd. Kritisch bij stepup-omzetters is hun onbelaste werking. Een kapotte LED leidt gewoonlijk tot een onderbreking en maar zelden tot een kortsluiting. Als bescherming tegen een onbelaste werking zijn meerdere oplossingen mogelijk. De eenvoudigste is een zenerdiode met een zenerspanning die boven de maximale LED-brandspanning ligt. Het nadeel is dat de zenerdiode, als de belasting wegvalt, de LED-stroom moet overnemen en de daarbij ontstane dissipatie ( $U_Z \cdot I_{LED}$ ) in ieder geval groter is dan de totale LED-dissipatie. Handiger is een spanningsbegrenzing zoals bij een spanningsregelaar, die normaal gesproken een extra ingangspan op het IC nodig heeft. Als alternatief kan men ook de zenerdiode direct op de feedback-ingang van de stroom-sense-ingang aansluiten en de stroom-sense-spanning via een weerstand laten lopen, waardoor gewoonlijk slechts een kleine stroom loopt. Zo kan men in geval van LED-onderbreking de regellus een overschrijding van de instelwaarde simuleren en bespaart hiermee zowel onnodige uitgangsverliezen bij onbelaste werking als een extra penaansluiting. In het schema van de op een MIC2196 gebaseerde step-up-LED-driver zijn deze trucs al gerealiseerd, zie **figuur 6**.

**Gemengde toepassingen**

Behalve de beschreven zuivere stepdown- en stepup-LED-drivers bestaan er ook varianten die gemengde toepassing toelaten. Zulke LED-drivers worden bijvoorbeeld gebruikt als de spanning van de volle batterij wel boven de LED-brandspanning ligt, maar tijdens gebruik daar onder komt. Technisch baseren zulke LED-drivers meestal op een sepic, CUK, buck/boost of inverterende buck/

boost topologie. Deze LED-driver-topologie gebruikt men ook als de voedingsspanning vast staat (zoals in de auto) maar het aantal LED's varieert. Zo'n flexibele maar kostbare stepup/stepdown-oplossing als universele LED-driver ligt dan voor de hand. Nog een soort stepup-schakeling zijn de charge-pump-LED-drivers, die in tegenstelling tot de al beschreven geschakelde LED-drivers geen spoel, maar condensatoren nodig hebben. 'Charge-pump' betekent ladingpomp – iets eenvoudiger gezegd wordt door de in de condensatoren opgeslagen ladingen door slim omschakelen van MOSFET-schakelaars de uitgangsspanning omhoog getild. Meestal kunnen slechts veelvoud van de ingangsspanning gerealiseerd worden, wat ook de moeilijkheid van het proces is, hoe compact deze schakelingen ook uitvallen. Gewoonlijk is de LED-brandspanning nu eenmaal geen veelvoud van de ingangsspanning, daarom wordt er meestal een lineaire LED-driver voor de stroomregeling achter geplaatst. Nu is het rendement weer (indirect) afhankelijk van de ingangsspanning, maar dit is vrij goed als de LED-brandspanning vlak onder een veelvoud van de ingangsspanning ligt. Moderne charge-pump-LED-drivers schakelen zelfs automatisch de vermenigvuldigingsfactor om, hetgeen men heel mooi kan zien aan een trapsgewijze rendementscurve.

(070013)

**Weblinks**

- [1] [www.micrel.com/\\_PDF/mic29150.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/mic29150.pdf)
- [2] [www.micrel.com/\\_PDF/mic5190.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/mic5190.pdf)
- [3] [www.micrel.com/\\_PDF/mic4682.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/mic4682.pdf)
- [4] [www.micrel.com/\\_PDF/mic2196.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/mic2196.pdf)
- [5] [www.micrel.com/\\_PDF/Eval-Board/mic2196\\_led\\_eb.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/Eval-Board/mic2196_led_eb.pdf)
- [6] [www.led-treiber.de](http://www.led-treiber.de)

**Figuur 6.** Schema van een stepup-LED-driver. Zenerdiode D3 is ter beveiliging bij een onbelaste uitgang (zie tekst).

