

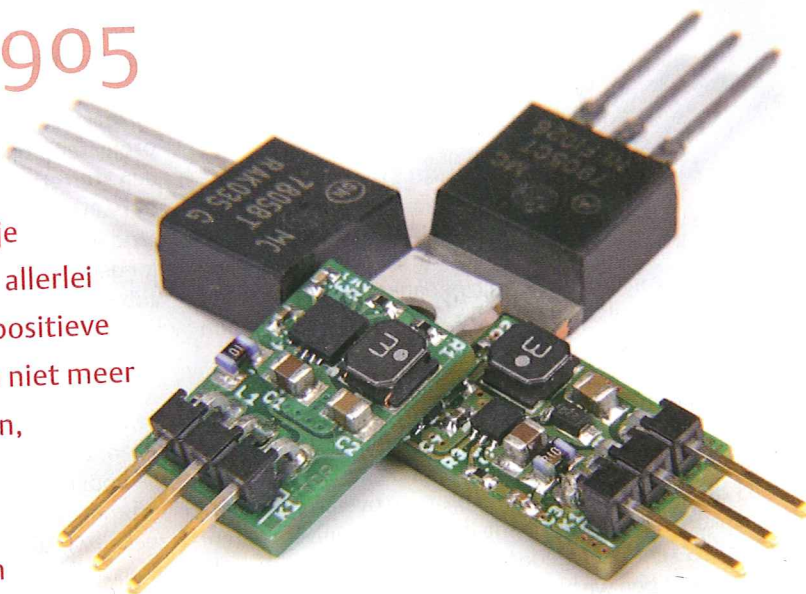
# Zuinige spanningsstabilisators

## Schakelende vervangers voor 7805 en 7905

Raymond Vermeulen (Elektor-lab)

In tal van elektronicaschakelingen kom je ze tegen, lineaire spanningsregelaars in allerlei vormen en maten. Klassiekers zoals de positieve 7805 en de negatieve 7905 zijn gewoon niet meer weg te denken uit de meeste ontwerpen, maar ze springen niet bepaald zuinig om met energie door hun lineaire regelgedrag. Alle overtollige vermogen

tussen in- en uitgang van zo'n stabilisator wordt omgezet in nutteloze warmte. Dat moet tegenwoordig toch beter kunnen, zuiniger, groener? Dat gaan we doen in dit artikel. Niks meer dissiperen, schakelen is de boodschap!



Dit project ontstond toen mijn collega Ton Giesberts op een dag naast mijn bureau stond met het idee om een schakelende variant voor de veelgebruikte 7805 te maken. In eerste instantie wees ik hem op bestaande, commercieel verkrijgbare oplossingen, maar die hadden net te grote afmetingen of konden maar een beperkte stroom leveren. Ik vond dat dit beter moest kunnen en dat heeft geresulteerd in de hier beschreven positieve schakelende regelaar. Deze is gebaseerd op een standaard buck-converter, die in een 7805-compatibel jasje is gegoten.

Redacteur Harry Baggen kwam vlak hierna met het idee om ook een bijpassende schakelende negatieve variant te maken. Ik was wel op de hoogte van positief-naar-negatief-regelaars, maar van negatief naar minder negatief? Na wat onderzoek op internet stuitte ik op een oude application note van National Semiconductor, waarin de zogenaamde 'negative buck' topologie beschreven wordt. Op dat principe is de negatieve regelaar gebaseerd.

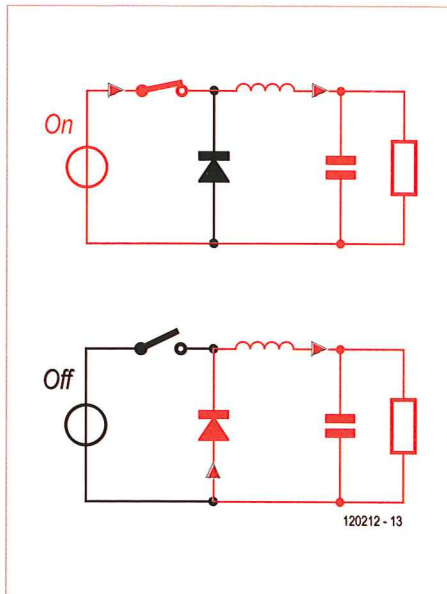
### Positieve regelaar

Bij deze schakeling wordt dus gebruik

gemaakt van een buck-converter of step-down-converter. Dit is een schakelend circuit dat gebruik maakt van een diode, een spoel en een condensator (**figuur 1**). Als de schakelaar wordt gesloten, wordt energie opgeslagen in de spoel. Na het openen van de schakelaar zal de spoel die energie afstaan aan de buffercondensator en de belasting via de diode. De duty-cycle (de aan/uit-verhouding) van de elektronische schakelaar bepaalt de grootte van de uitgangsspanning. Hoe langer de aan-tijd, hoe dichter de uitgangsspanning in de buurt komt van de ingangsspanning. Bij deze simpele opzet zal de uitgangsspanning inzakken als de uitgang zwaarder wordt belast. Om dat te voorkomen wordt zo'n schakelende regelaar in de praktijk voorzien van een terugkoppeling. Gewoonlijk gebeurt dat door het vergelijken van de uitgangsspanning met de gewenste spanning en aan de hand van dat verschil wordt de duty-cycle aangepast.

Buck-converters worden in de huidige elektronica-apparatuur veelvuldig toegepast en er zijn tegenwoordig veel halfgeleiderfabrikanten die hiervoor speciale IC's op de markt brengen. Deze bevatten

naast de schakelementen ook de nodige regel- en beveiligingselektronica. Voor deze toepassing hebben we gekozen voor een TPS62150 van Texas Instruments, een synchrone stepdown-converter die 1 A kan leveren en werkt met een vrij hoge schakelfrequentie van 1,25 MHz, waardoor de afmetingen van de omringende componenten vrij klein kunnen blijven. In **figuur 2** is het blokschema van dit IC afgebeeld. Als we vervolgens kijken naar de schakeling van onze 7805-vervanger in **figuur 3**, dan zien we dat de diode uit de theoretische configuratie van **figuur 1** is vervangen door een interne MOSFET om diodeverliezen te beperken. Over de schakeling valt verder weinig te vertellen omdat vrijwel alles al in het IC is ondergebracht, met uitzondering van de spoel en enkele weerstanden en condensatoren. Aan de ingang is een extra LC-filter (L1/C1) opgenomen ter onderdrukking van eventuele stoorsignalen. R3 is toegevoegd om theoretische oscillatie van dit filter te voorkomen, hoewel de ESR's van L1 en C1 in de praktijk waarschijnlijk groot genoeg zijn om dit tegen te gaan. Zoals uit het blokschema blijkt, bevat het buck-converter-IC verschillende regelcircuits die de

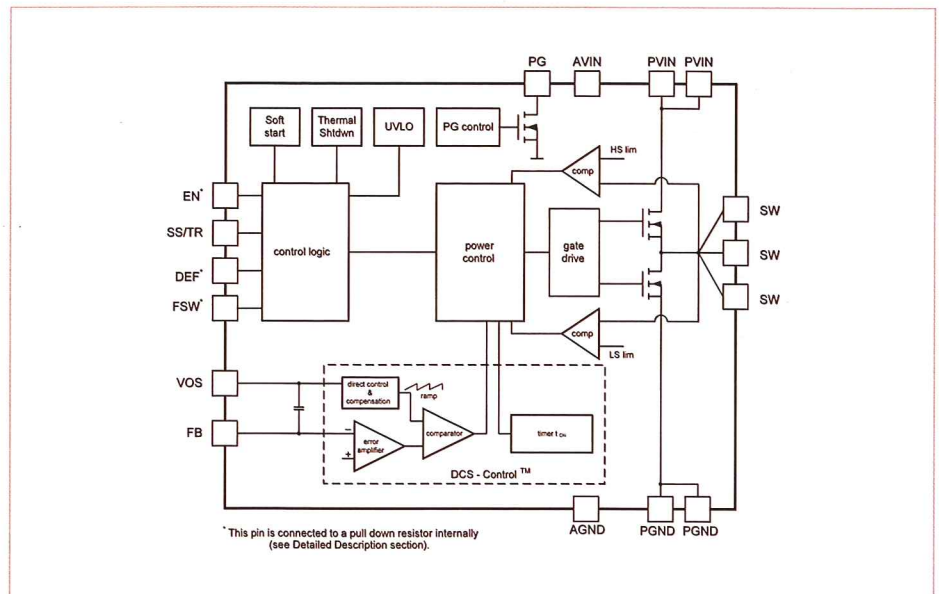


Figuur 1. Principiële buck-converter-opstelling.

uitgangsspanning nauwkeurig bijregelen, zodat er bij load-steps (snelle belastingsveranderingen) maar een minimale dip of piek ontstaat aan de uitgang.

De componenten zijn speciaal gekozen met het oog op de grootte van de complete schakeling. De afmetingen van een TO-220 package zijn nogal ruim gespecificeerd en verschillen van merk tot merk. We zijn met ons ontwerp een beetje in het midden gaan zitten, met afmetingen van 15,5 x 10,1 x 4,75 mm. De ruimte waar normaal de metalen 'tab' met het gat zit, maakt nu deel uit van de print. Hierdoor kan de print niet tegen een koelplaat worden geschroefd zoals een normale 7805, maar dat is ook niet nodig vanwege de geringe dissipatie van de schakelende variant. In tabel 1 zijn alternatieve weerstandswaarden vermeld voor andere uitgangsspanningen dan 5 V. De print-layout speelt bij schakelende regelaars een belangrijke rol. In figuur 4 is de layout van de print voor de positieve regelaar afgebeeld. De vuistregels die je bij zo'n printontwerp over het algemeen aan moet houden, zijn: Waar grote stroomveranderingen plaatsvinden, moeten de kringen zo klein mogelijk worden gehouden; bij grote spanningsveranderingen moet het koperoppervlak zo klein mogelijk worden gehouden, dus slaan we op die manier twee vliegen in één klap.

Qua prestaties doet deze schakelende versie niet onder voor de gewone 7805, aan de ingang mag maximaal 17 V worden aangeboden en de uitgang kan zeker 1 A



Figuur 2. Blokschema van de interne opzet van de TPS62150.

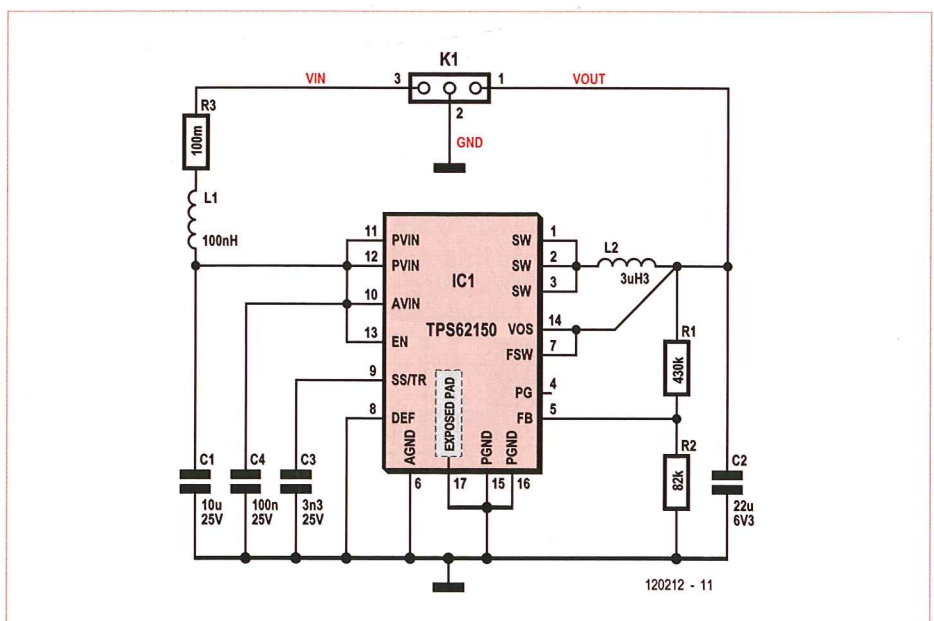
## Technische specificaties

### Positieve regelaar:

- Uitgangsspanning 5 V (instelbaar met 2 weerstanden)
- Ingangsspanning 6...17 V
- Uitgangsstroom max. 1 A
- Max. uitgangsimpedantie 80 mV<sub>tt</sub> bij 17 V in en 1 A uit
- Afmetingen en aansluitgegevens identiek aan standaard 7805

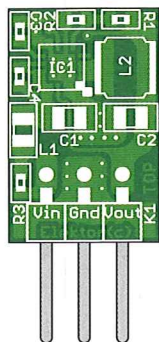
### Negatieve regelaar:

- Uitgangsspanning -5 V (instelbaar met 2 weerstanden)
- Ingangsspanning -6...-17 V
- Uitgangsstroom max. 0,85 A
- Max. uitgangsimpedantie 36 mV<sub>tt</sub> bij -17 V in en 0,85 A uit
- Afmetingen en aansluitgegevens identiek aan standaard 7905



Figuur 3. Schema van de positieve schakelende regelaar.

## Onderdelenlijst positieve regelaar



Figuur 4. De dubbelzijdige print voor de positieve regelaar (200% van ware grootte).

### Weerstanden:

R1 = 430 k 1%/0,1 W, SMD 0402

R2 = 82 k 1%/0,1 W, SMD 0402

R3 = 0Ω 1 1%/0,1 W, SMD 0402

### Condensatoren:

C1 = 10 μ/25 V, X5R, SMD 0805 (bijv. TMK212BBJ106KG-T)

C2 = 22 μ/6,3 V, X5R, SMD 0805 (bijv. JMK212BJ226MG-T)

C3 = 3n3/25 V, X7R, SMD 0402

C4 = 100 n/25 V, X5R, SMD 0402

### Zelfinducties:

L1 = 100 nH, SMD 0805 (bijv. MLZ2012DR10D)

L2 = 3,3 μH, 4x4 mm (bijv. NRS4018T3R3MDGJ)

### Halfgeleiders:

IC1 = TPS62150RGT buck-converter, QFN-16

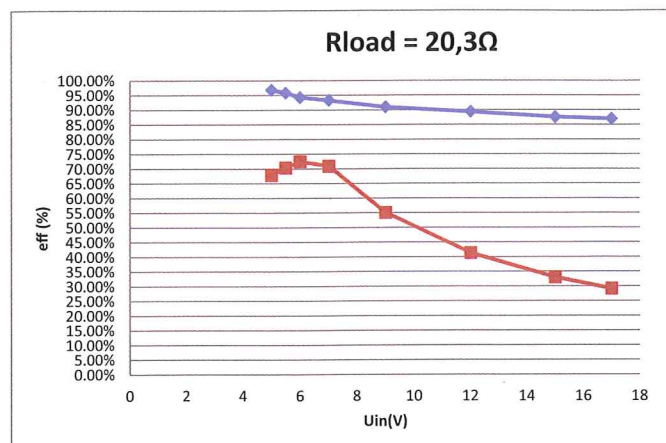
### Diversen:

K1 = 3-pens haakse header, steek 2,56 mm  
Print 120212-1

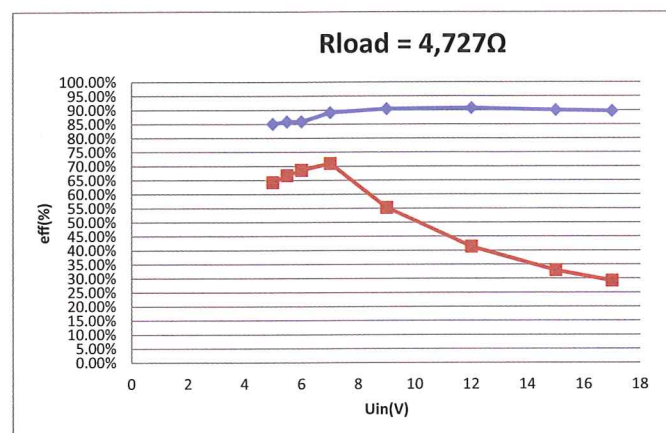
(zie [www.elektor.nl/120212](http://www.elektor.nl/120212))

Tabel 1. Weerstandswaarden voor uitgangsspanning positieve regelaar.

| $U_{uit}$ | R1    | R2   |
|-----------|-------|------|
| 5,0 V     | 430 k | 82 k |
| 3,3 V     | 256 k | 82 k |
| 2,5 V     | 174 k | 82 k |
| 1,8 V     | 102 k | 82 k |
| 1,5 V     | 72 k  | 82 k |
| 1,2 V     | 41 k  | 82 k |



a



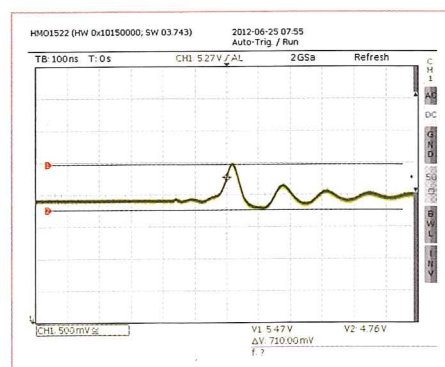
b

Figuur 5. Gemeten rendement van de positieve regelaar bij 250 mA (a) en 1 A (b) uitgangsstroom. Blauw = schakelende positieve regelaar, rood = standaard 7805.

leveren. De standaard condensators die bij een 7805-configuratie normaal aanwezig zijn, kunnen gewoon blijven zitten bij een bestaand printontwerp. Maar ze kunnen ook probleemloos worden weggelaten bij een nieuw ontwerp.

Figuur 5 toont het rendement van de positieve schakelende regelaar bij verschillende

ingangsspanningen en uitgangsströmen. Bij lage ingangsspanningen ligt het rendement bij uitgangsströmen tot 250 mA op circa 95%, bij de hoogst toelaatbare ingangsspanning daalt dit tot circa 85%. Bij de maximale uitgangsstroom ligt het rendement over vrijwel het hele ingangsspanningsbereik op zo'n 90%.



Figuur 6. Gedrag bij pulsbelasting.

Heel interessant is verder het gedrag van de schakeling op een 'load step', een plotselinge belastingsverandering aan de uitgang. Hiervoor is een testopstelling gemaakt die schakelt tussen 10% en 85% van de maximale belasting op 50 kHz met 50% duty-cycle.

In figuur 6 is de gemeten spanning aan de uitgang te zien. De grote piek wordt grotendeels veroorzaakt door de locatie van de meetklem en de draden. De testopstelling vormt geen realistische belasting, maar is meer een 'worst case' test. Bij normaal gebruik zal de piek aan de uitgang veel kleiner zijn.

## Negatieve regelaar

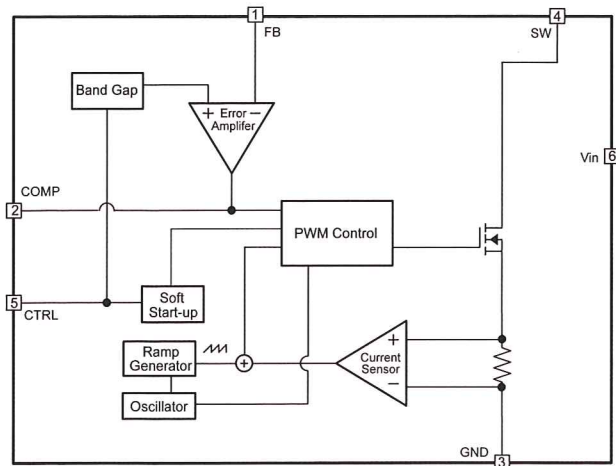
De opzet van de positieve regelaar en de dimensionering van de componenten komt vrijwel overeen met de beschrijving in de datasheet van het gebruikte IC, maar bij de negatieve variant ligt de zaak duidelijk anders. Er bestaan allerlei soorten IC's voor schakelende voedingen, voor spanningsverhoging, spanningsverlaging of spanningsinvertering, maar geen schakel-IC's die een negatieve spanning terugregelen naar een minder negatieve. Maar zoals in het begin al is opgemerkt, vonden we op internet een beschrijving van een schakeling waarmee dat wel mogelijk is.

Daarbij wordt uitgegaan van een boost-converter die ‘op de verkeerde manier’ wordt aangesloten, in een zogenaamde negatieve-buck-converter-opstelling. Als u het schema van de negatieve regelaar in **figuur 8** wat beter bekijkt, dan lijkt het wel alsof de penbenamingen op de verkeerde plaatsen staan: De massa van de schakeling is met  $V_{in}$  van het IC verbonden en de negatieve ingangsspanning met de GND-pen van het IC. Op die manier is het mogelijk om een negatieve ingangsspanning terug te regelen naar een minder negatieve waarde.

Daarbij zitten we wel nog met een probleem wat betreft de terugkoppeling. Het feedback-signaal moet bij deze bijzondere configuratie gerelateerd worden aan de GND-pen van het IC. Bij gebruik van een gewone weerstandsdeler zou bij een verandering van het ingangsniveau ten opzichte van de  $V_{CC}$ -pen de weerstandsverhouding niet meer kloppen. In dat geval zou de schakeling alleen goed werken bij één bepaaldeingangsspanning. Dit is opgelost door een current-shunt-monitor (MAX4073) te gebruiken voor het terugkoppelsignaal. Deze 'vertaalt' de uitgangsspanning ten opzichte van GND naar een spanning die aan  $V_{in}$  wordt gerelateerd.

Voor het boost-converter-IC is een type gezocht dat een hogeingangsspanning kan verdragen en toch klein genoeg is voor deze toepassing. Uiteindelijk is de keus gevallen op de TPS61170 van Texas Instruments (**figuur 7**). Deze kan 20 V tussen  $V_{in}$  en GND aan.

Ondanks de bijzondere configuratie kunnen we voor de dimensionering vrijwel



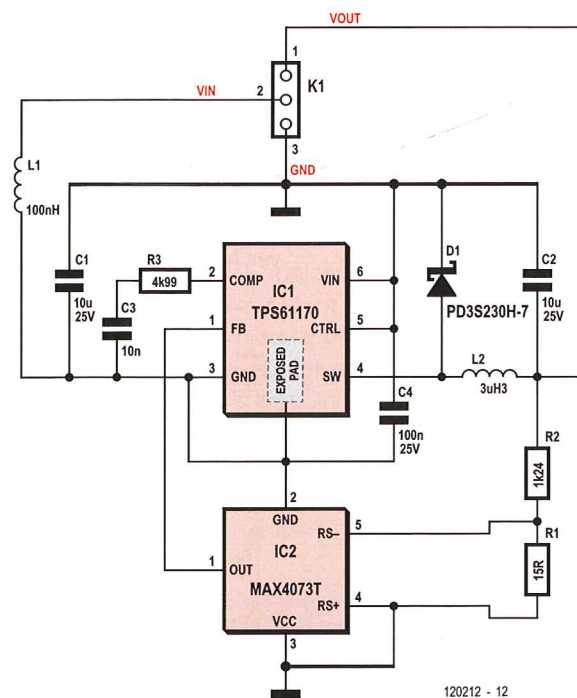
Figuur 7. Intern blokschema van de TPS61170.

dezelfde berekeningen gebruiken als bij een standaard buck-converter. De ingangs- en uitgangs-LC-filters van de positieve regelaar kunnen ook worden hergebruikt in dit negatieve ontwerp.

Alles bij elkaar levert dit een ontwerp op dat nog klein genoeg is om te worden onder-

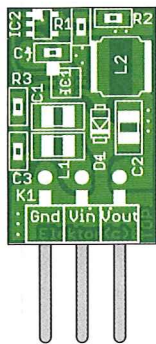
gebracht op een printje met gelijke afmetingen als een standaard 7905 (zie **figuur 9**). Ook hier zijn andere uitgangsspanningen mogelijk door het aanpassen van spanningsdeler R1/R2 (zie **tabel 2**).

Het resultaat van deze bijzondere configuratie is zeer goed. In **figuur 10** is te zien dat ook hier de efficiency een stuk hoger is dan



Figuur 8. Schema van de negatieve schakelende regelaar.

## Onderdelenlijst negatieve regelaar



Figuur 9. De dubbelzijdige print voor de negatieve regelaar (200% van ware grootte).

### Weerstanden:

R1 = 15  $\Omega$  1%/0,1 W, SMD 0402  
R2 = 1k24 1%/0,1 W, SMD 0402  
R3 = 4k99 1%/0,1 W, SMD 0402

### Condensatoren:

C1 = 10  $\mu$ /25 V, X5R, SMD 0805 (bijv. TMK212BBJ106KG-T)  
C2 = 22  $\mu$ /6,3 V, X5R, SMD 0805 (bijv. JMK212BJ226MG-T)  
C3 = 10 n/25 V, X5R, SMD 0402  
C4 = 100 n/25 V, X5R, SMD 0402

### Zelfinducties:

L1 = 100 nH, SMD 0805 (bijv. MLZ2012DR10D)  
L2 = 3,3  $\mu$ H, 4x4 mm (bijv. NRS4018T3R3MDGJ)

### Halfgeleiders:

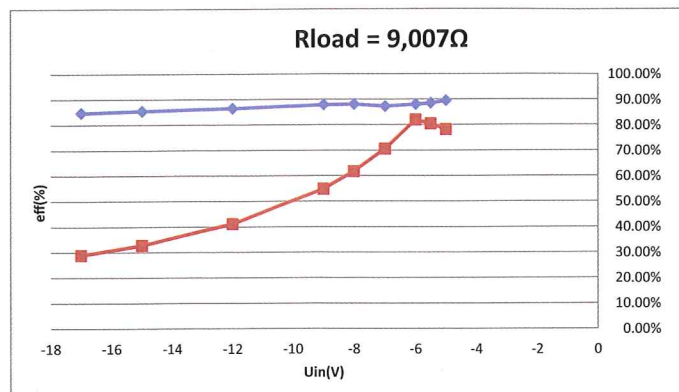
IC1 = TPS61170DRV boost-converter, 6-SON  
IC2 = MAX4073TAXK+T current-sense amplifier, SC-70-5  
D1 = PD3S230H-7 Schottky-diode, PowerDI323

### Diversen:

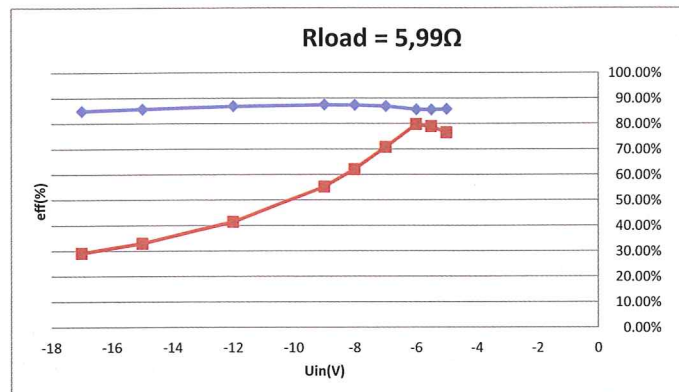
K1 = 3-pens haakse header, steek 2,56 mm  
Print 120212-2  
(zie [www.elektor.nl/120212](http://www.elektor.nl/120212))

Tabel 2. Weerstandswaarden voor uitgangsspanning negatieve regelaar.

| $U_{uit}$ | R1            | R2   |
|-----------|---------------|------|
| -5,0 V    | 15 $\Omega$   | 1k24 |
| -3,3 V    | 23 $\Omega$ 2 | 1k24 |
| -2,5 V    | 30 $\Omega$ 1 | 1k24 |
| -1,8 V    | 42 $\Omega$ 2 | 1k24 |
| -1,5 V    | 51 $\Omega$   | 1k24 |
| -1,2 V    | 63 $\Omega$ 4 | 1k24 |



a



b

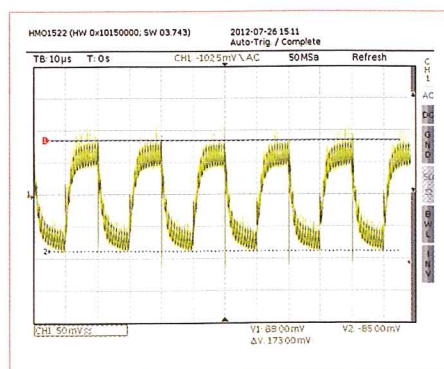
Figuur 10. Gemeten rendement van de negatieve regelaar bij 0,5 A (a) en 0,85 A (b) uitgangsstroom. Blauw = schakelende negatieve regelaar, rood = standaard 7905.

bij een gewone 7905. Alleen is de belastbaarheid lager dan bij de positieve regelaar. Dit wordt veroorzaakt door de ingebouwde stroombegrenzing van de TPS61170. Verder blijkt in de praktijk dat de stroombegrenzing van de negatieve regelaar wat temperatuurafhankelijk is. Als hij aan het begrenzen is en je blaast er tegen, dan stijgt de uitgangsspanning weer enigszins (oftewel wordt negatiever, het is maar hoe je het bekijkt).

Ook hier is een test met een puls belasting uitgevoerd en die werd door de schakeling ook goed doorstaan. Zoals te zien is in **figuur 11**, is de regelaar stabiel over het hele ingangsspanning bereik (getoond is hier de 'worst case' bij -17 V ingangsspanning).

De hier beschreven schakelende regelaars vormen een prima alternatief voor een gewone lineaire regelaar. Ze produceren weliswaar wat meer rimpel aan de uitgang en de constructie is natuurlijk wat complexer, maar als rendement en dissipatie belangrijke ontwerpcriteria zijn, dan is dit een uitstekende oplossing!

(120212)



Figuur 11. Pulsbelasting bij 50 kHz, 60...560 mA, -17 V in, AC-gekoppeld.

### Weblinks

- [1] TPS61170: [www.ti.com/product/tps61170](http://www.ti.com/product/tps61170)
- [2] TPS62150: [www.ti.com/product/TPS62150](http://www.ti.com/product/TPS62150)
- [3] [www.elektor.nl/120212](http://www.elektor.nl/120212)