

12–200 V DC/DC-converter voor buizenversterkers

Ton Giesberts (Elektor)

Dit is een (relatief) nabouwwriendelijke DC/DC-converter voor buizenversterkers, met through-hole componenten (afgezien van één SO-8 IC) met galvanisch geïsoleerde hoogspanningsuitgang. De transformator maken we zelf; de wikkelverhouding bepaalt de uitgangsspanning. Ingang is een 12 VDC/5 A netadapter, het maximum uitgangsvermogen bedraagt 50 W.



Het hoogspanningsgedeelte van een buizenversterker is een belangrijk maar ook gevaarlijk onderdeel van de schakeling. Aan de ingang hebben we de – potentieel dodelijke – netspanning; aan de uitgang een hoge gelijkspanning die ook tamelijk 'schokkend' kan zijn.

De eenvoudigste van de netspanning afgeleide voeding bestaat uit een goed geïsoleerde transformator, een gelijkrichter en een afvlakcondensator. De uitgangsspanning is afhankelijk van de netspanning, de transformator, de spanningsval over de diode(s), de belasting en de resulterende rimpelspanning. De hoogspanning in buizenversterkers wordt vaak op deze manier gemaakt. Een nadeel daarbij is de vaste wikkelverhouding van commerciële transformatoren, waardoor de spanning ofwel te laag ofwel te hoog is, hoewel dit in veel ontwerpen niet echt een probleem is.

In dit project gebruiken we een 12V-netadapter en een op maat gemaakte DC/DC-converter om de lage gelijkspanning op te krikken tot 200 V. Op deze manier wordt directe aansluiting op de netspanning vermeden en kan de lagere DC-ingangsspanning ook voor de gloeidraden worden gebruikt.

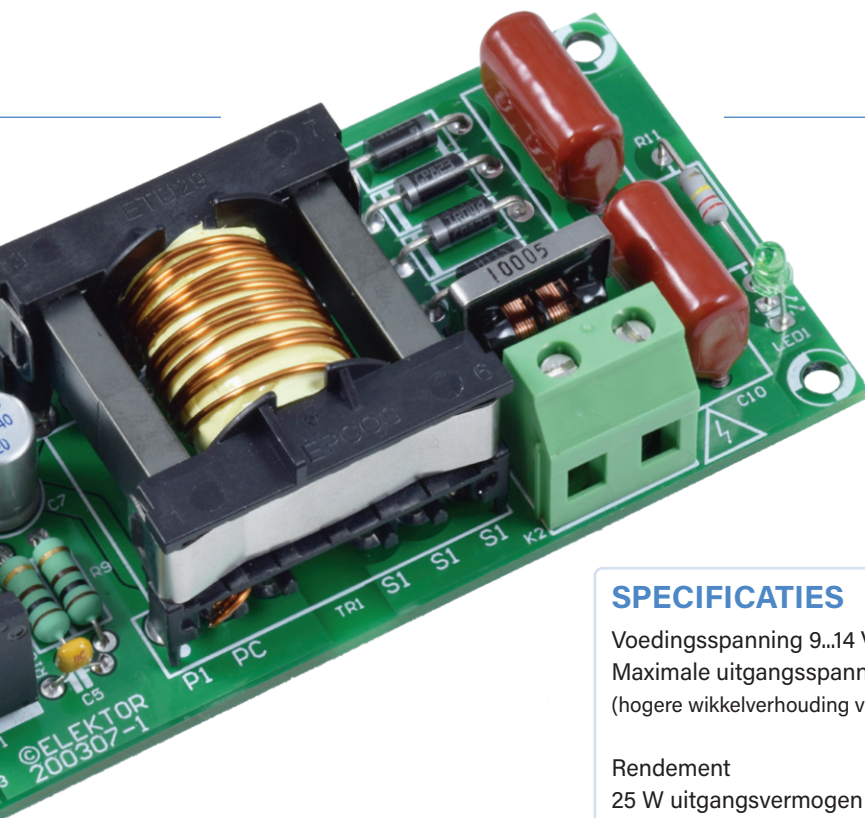
Hier presenteren we een samenvatting van veel uitgebreidere – zowel theoretische als praktische – informatie die de ontwerper heeft verzameld op de Elektor Labs-pagina van dit project. Als u alleen geïnteresseerd bent in wat achtergrondinformatie en de nabouw

van deze 12 VDC/200 VDC-omzetter, biedt dit artikel alles wat u nodig hebt. Maar als u meer wilt weten over de ontwerpoverwegingen die bij het bouwen van een push/pull DC/DC-converter een rol spelen en de (transformator)berekeningen die daarbij komen kijken, volg dan de link bij [1].

De werking van de DC/DC-converter

Het schema van de DC/DC-converter is te zien in **figuur 1**. Om de bouw van dit ontwerp te vergemakkelijken, zijn voor alle onderdelen through-hole componenten gebruikt, behalve voor één IC in SO-8 SMD-behuizing. Dat is een primaire push/pull-oscillator met dode-tijd regeling, de UCC28089 (IC1). De uitgangsdrieters kunnen 1 A opnemen (sink) en 0,5 A leveren (source) en zijn ideaal voor het aansturen van MOSFET's. Het ontbreken van een regellus in het ontwerp betekent dat er geen instabiliteit of ruis optreedt door PWM-regeling. De duty cycle is op maximum ingesteld, met andere woorden: de dode tijd tussen het inschakelen van een van de MOSFET's (T1 of T2) bedraagt een absoluut minimum (zie verderop). Hierdoor wordt de gelijkgerichte secundaire uitgangsspanning bijna tot een gelijkspanning, en is slechts een kleine afvlakcondensator nodig. De UCC28089 heeft ook overstroomdetectie, maar de uitschakeldrempel is relatief hoog, 0,725 V typ. Bij 5 A, waar we voor deze

schakeling de grens hebben gelegd, zou dit neerkomen op $5 \text{ A} \times 0,725 \text{ V} = 3,625 \text{ W}$! De shuntweerstand moet groot zijn en een fors vermogen aan kunnen, in dit geval ten minste 5 W. Bij 12 V, 50 W uitgangsvermogen en 86% rendement zou dit neerkomen op 7% rendementsafname. Een manier om dit verlies in de shunt te verminderen is door een spanningsdeler (R3 en R4) te gebruiken vanaf de voedingsspanning om een kleine offset toe te voeren aan de stroomdetectie-ingang. De oscillatorfrequentie van de UCC28089 kan met instelpot P1 worden ingesteld van ongeveer 200 kHz tot 560 kHz. De schakelfrequentie is de helft van de oscillatorfrequentie, dus instelbaar van 100 kHz tot 280 kHz. Volgens de datasheet bedraagt de ON-weerstand van de TK30A06N1 MOSFET's 15 mΩ max. ($V_{GS} 10 \text{ V}$), bijna verwaarloosbaar. Dit type heeft een zeer lage reverse transfer-capaciteit (gate/drain-capaciteit of 'Miller-capaciteit') van 33 pF en snelle schakeltijden (t_{on}/t_{off} 21/28 ns). Bovendien is de ingangscapaciteit van 1050 pF lager dan gebruikelijk. Bij maximaal vermogen is geen extra koeling van de transistoren nodig, hoewel constant maximaal vermogen niet wordt aangeraden. In een push/pull-converter wordt de energie rechtstreeks naar de secundaire zijde overgebracht. Wanneer één schakelaar in geleiding is, is de andere uitgeschakeld en wordt de energie rechtstreeks overgedragen. Tussen



PROJECT-INFO

Tags

voeding, DC/DC-converter, buizenversterker, hoogspanning, through-hole, zelfgemaakte trafo

Niveau

beginners – **gevorderden** – experts

Tijd

ongeveer 8 uur

Gereedschap

soldeergereedschap, kleine punt voor SO-8 solderen

Kosten

ongeveer € 45

SPECIFICATIES

Voedingsspanning 9...14 VDC
Maximale uitgangsspanning 350 V
(hogere wikkerverhouding van transformator)

Rendement

25 W uitgangsvermogen 88%
50 W uitgangsvermogen 86%

Schakelfrequentie

100/150/280 kHz P1 min/mid/max

Geen laststroom 12 VDC
300/190/120 mA P1 min/mid/max

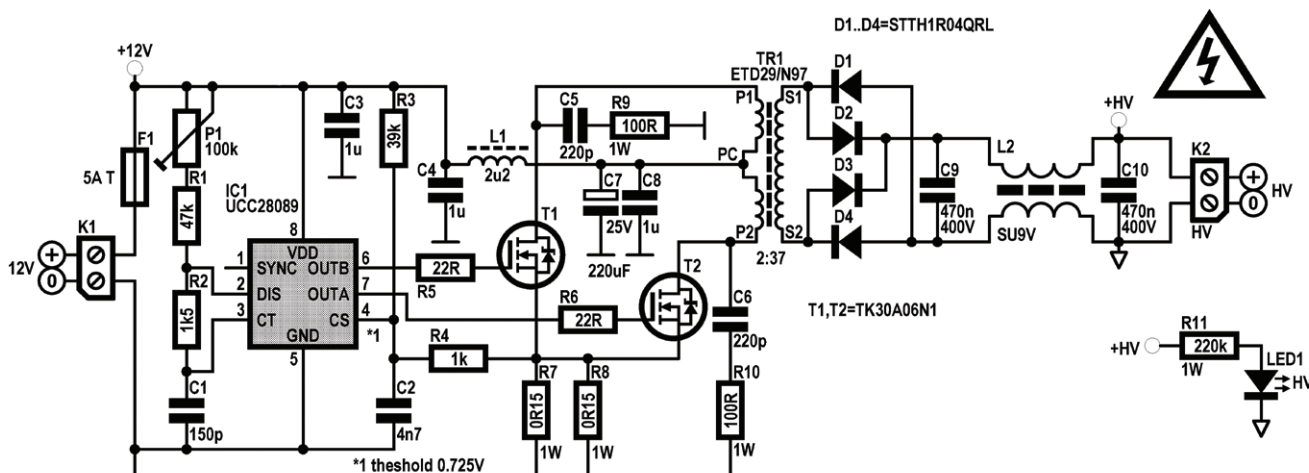
Bij een hoge belasting zal de converter niet aanlopen. Deze converter is ontworpen voor buizenversterkers waar de belasting van de hoogspanning zeer laag is bij het inschakelen!

het omschakelen ligt een korte tijd, de zogenaamde dode tijd, die voorkomt dat de primaire wikkeling wordt kortgesloten. Als beide schakelaars tegelijkertijd zouden worden ingeschakeld, zouden de magnetische velden van beide primaire wikkelingen elkaar opheffen, wat zou resulteren in een extreem hoge stroom, die hoofdzakelijk wordt begrensd door de seriële weerstand van de primaire wikkelingen, de MOSFET's, de shunt, de layout en de 12V-gelijkstroomvoeding. De shuntweerstand zullen dan waarschijnlijk

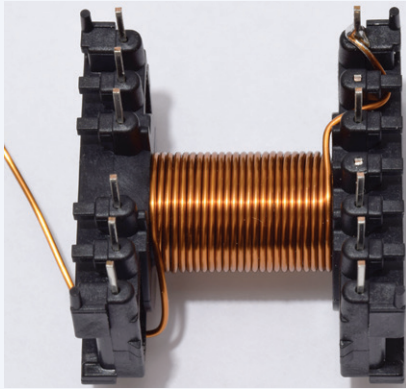
doorbranden, en als de kortsluiting aanhoudt zullen ook de MOSFET's sneuvelen (zelfs bij een kleine overlap!). Om de 12V-voeding te beschermen wordt een 5A-zekering gebruikt. Een voordeel van een push/pull-converter is dat de piekstroom door de schakelaars slechts iets hoger is dan de gemiddelde belastingsstroom aan de primaire zijde (de stroom die de netadapter moet leveren). Kleinere piekstromen in de schakelaars betekent minder geleidingsverliezen en een hoger rendement van de converter.

De transformator

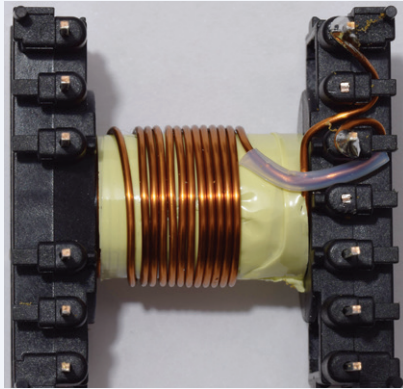
Het lastigste onderdeel van deze DC/DC-converter is de transformator; deze moet voor een eerste prototype zelf worden gemaakt. Bij 150 kHz kan het uitgangsvermogen theoretisch meer dan 170 W bedragen bij gebruik van een ETD29-spoelvorm [2] en N97-materiaal, maar in de werkelijke wereld zijn er ook koperverliezen. Er wordt geen luchtspleet gebruikt in de transformator en dit vermindert het aantal windingen voor de primaire en secundaire wikkeling, waardoor de constructie van



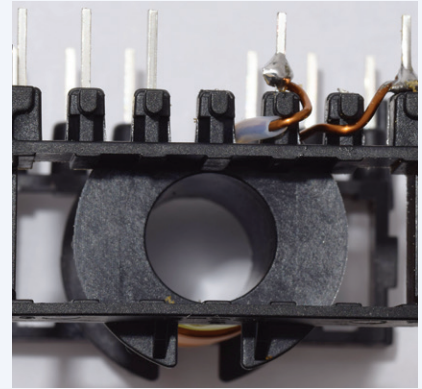
Figuur 1. Schema van de DC/DC-converter.



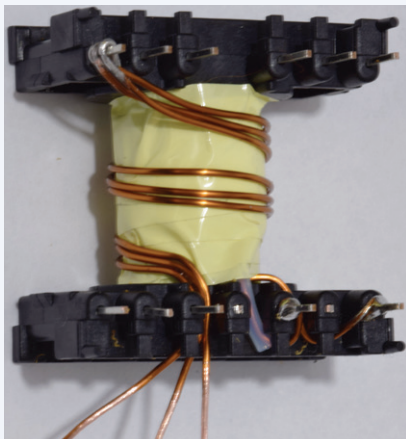
Figuur 2a. Eerste secundaire wikkellaag.



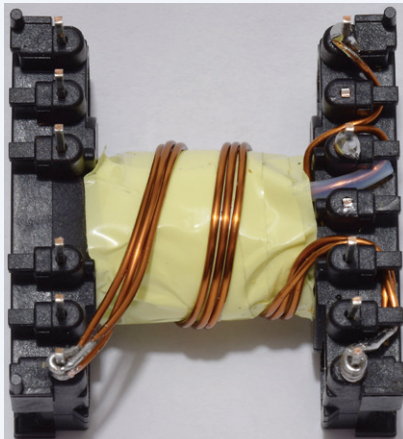
Figuur 2b. Tweede secundaire wikkellaag.



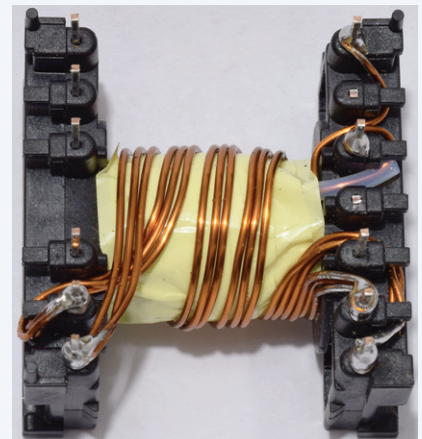
Figuur 2c. Secundaire wikkeling gesoldeerd.



Figuur 2d. Eerste primaire wikkeling, let op de drie parallelle draden.



Figuur 2e. Eerste primaire, vóór het solderen.



Figuur 2f. En de tweede primaire toegevoegd, transformator klaar.

Figuur 2: De bouw van de transformator.

de transformator eenvoudiger is. Geen lucht-spleet betekent een hogere inductantie en een betere koppeling tussen de wikkelingen. U kunt dezelfde draad gebruiken voor alle wikkelingen: draad van 0,7 mm maakt het gemakkelijk deze om de spoelhouder te wikkelen en het aantal windingen bij te houden.

Het idee van de schakeling is dat de wikkerverhouding van de transformator de uitgangsspanning bepaalt, in het geval van een

push/pull-converter de verhouding van één primaire wikkeling en de secundaire. In dit project worden twee wikkelingen met elk twee windingen en een enkele secundaire wikkeling (37 windingen) gebruikt. Met een primaire spanning van 12 V zou een wikkerverhouding van 2:37 theoretisch resulteren in een secundaire spanning van 222 V. Aangezien geen enkele transformator ideaal is, zal deze verhouding niet nauwkeurig de

gewenste uitgangsspanning bij een specifieke belasting opleveren. Vergeleken met de hoge uitgangsspanning is de spanningsval over de gelijkrichter en het filter te verwaarlozen. Om wijzigingen aan de voltooide transformator uitvoerbaar te maken, is het logisch om, als de afwijking van de uitgangsspanning groter is dan verwacht, de constructie te beginnen met de primaire wikkelingen, deze dan te isoleren met speciale isolatietape en -kousen. De

EEN BEETJE TRANSFORMATORTHEORIE

De in een spoel geïnduceerde spanning is volgens de wet van Faraday (vereenvoudigd):

$$E = N \cdot B \cdot A / t$$

met:

E = spanning [V]

N = aantal windingen

B = fluxdichtheid [T]

A = oppervlakte van de spoel [m²]

$t = T/2 = 1/2f$

In een push/pull-converter zijn de spanningen die op de primaire wikkelingen worden aangelegd – nagenoeg – blokgolven. In een halve periode kan de kern per wikkeling gemagnetiseerd worden van $B_{\max}$ naar $-B_{\max}$ en omgekeerd. De andere wikkeling doet het omgekeerde; in de tijd dat de magnetisatie $2 \cdot B_{\max}$ verandert, vinden we voor de geïnduceerde spanning:

$$E = N \cdot 2B_{\max} \cdot A \cdot 2f$$

Voor één van de primaire wikkelingen krijgen we dan de volgende vergelijking:

$$NP = EP \cdot 10^4 / (4 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A)$$

met oppervlakte A in cm² (vandaar de 10⁴)

KERNGROOTTE EN MAXIMAAL UITGANGSVERMOGEN

Dit onderwerp lijkt het lastigste te zijn bij het ontwerpen van een DC/DC-converter met een transformator. Op het internet is veel informatie te vinden over het berekenen van transformatoren, zelfs complete calculators die het ontwerp sterk vereenvoudigen. Maar op de meeste sites kan de kerngrootte niet worden berekend maar wordt verwezen naar steeds weer ongeveer dezelfde tabellen voor verschillende kern- en spoelvormen zoals Exx, EExx, EFxx, EFDxx, Elxx, ETDxx en EERxx.

Die tabellen zijn meestal ingedeeld naar het maximaal haalbare vermogen, maar de schakelfrequentie ontbreekt vaak. Om een indruk te krijgen hoe groot de kern moet zijn, kan een formule worden gebruikt die gebruikmaakt van het kernoppervlak-product $W_a A_c$ (kerndoorsnede maal het voor de wikkelingen beschikbare oppervlak). Maar factoren zoals topologieconstante

(hangt af van het type converter), stroomdichtheid (hangt af van de maximaal toegestane temperatuurstijging) en vulfactor moeten in de formule(s) worden ingevoerd. Het is echter geen exacte berekening, er zijn te veel onderlinge afhankelijkheden.

Vele jaren geleden waren bij Block bouwpakketten van transformatoren verkrijgbaar. Eén bouw pakket bevatte een rolletje isolatiefolie, isolatiekousjes, 2 kartonnetjes voor een specifieke lichtspleet, een spoelhouder, 2 halve kernen en 2 clips. Koperlakdraad moest natuurlijk elders worden aangeschaft. In de doos zat ook een folder met de naam "Berechnungsbogen für Schaltnetzteil-Übertrager EB" (rekenblad voor transformatoren voor schakelende voedingen). Hier stonden formules voor de berekening van de minimale kerngrootte, primaire en secundaire wikkelingen en primaire en secundaire draaddiameter.

Het kernmateriaal in die tijd was N27. Het grootste verschil met het huidige N97 is dat de relatieve kernverliezen bij N97 aanzienlijk geringer zijn, 300 kW/m³ in plaats van 920 kW/m³ (bij 100 kHz/200 mT/100 °C). De formule om dan de minimale kerngrootte te berekenen luidt:

$$\text{Minimale kerngrootte [mm]} = 4,7 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{maximaal totaal uitgangsvermogen/frequentie [W/Hz]}}{\text{}}$$

Met deze formule komt het maximale vermogen bij 150 kHz en een kerngrootte van 5350 mm³ uit op 170 W, dat bedoelde ik met de opmerking dat de ETD29-kern is groter dan strikt noodzakelijk.

Als iemand weet hoe de formule of een soortgelijke (betere) formule kan worden afgeleid en/of inzicht weet te geven hoe de kerngrootte nauwkeuriger kan worden berekend, deel die kennis dan met ons alstublieft!

secundaire wikkeling is dan de wikkeling aan de buitenkant en het aantal windingen kan in een vroege testopstelling gemakkelijk worden gewijzigd. Deze procedure werd gebruikt om de trafo voor het eerste prototype te maken. In een tweede prototype bleek echter een transformator met de secundaire wikkeling aan de binnenzijde en beide primaire aan de buitenzijde betere eigenschappen te bezitten dan de eerste (zie [1]), zodat hier alleen deze tweede transformator wordt beschreven.

Bouw van de transformator

Om de transformator gemakkelijker te kunnen reproduceren, is gekozen voor de kleinste ETD-versie van de spoelvorm die een grotere kern heeft dan nodig is voor het uitgangsvermogen (60 W of zo, bij een theoretisch rendement van 100%).

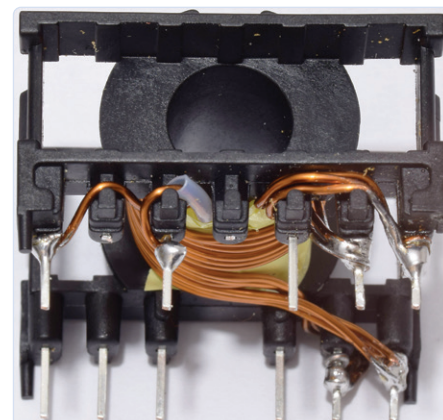
Twee pinnen van de spoelhouder worden afgeknipt (pin 8 en 10 volgens de nummering op de spoelhouder van TDK/Epcos) om de juiste stand van de transformator op de print te verzekeren. Kijk op de print-layout om er zeker van te zijn dat u de juiste pinnen afknipt. De primaire en secundaire aansluitpinnen zijn op de print goed gescheiden, evenals de uitgangen van de secundaire wikkeling op de print. Oorspronkelijk zitten er 13 pennen op een spoelvorm van het type ETD29, er is al ruimte tussen pin 3 en 4. Eén aansluitpunt van de secundaire wikkeling heeft twee mogelijke aansluitingen. Afhankelijk van het aantal windingen en de dikte van de gebruikte koperdraad, kan het aantal benodigde lagen meer dan één zijn en kan het uiteinde van de wikkeling ofwel dichter bij de tegenoverlig-

gende zijde liggen, ofwel aan dezelfde zijde als van waaruit is begonnen. Om deze reden zijn de pennen 4, 5, 6 en 9 op de print doorverbonden. Pen 7 is de andere aansluiting van de secundaire wikkeling. Begin de secundaire wikkeling altijd bij pen 7.

Pinnen 1 en 13 zijn de aansluitingen voor de eerste primaire wikkeling, pinnen 2 en 12 voor de tweede primaire wikkeling. Op de print zijn naast de transformator namen afgedrukt. P1/PC voor de eerste primaire wikkeling, P2/PC voor de tweede primaire wikkeling. PC staat voor de gemeenschappelijke aansluiting van de beide primaire wikkelingen. S1 en S2 zijn de aansluitingen voor de secundaire wikkeling. Voor de secundaire wikkeling, beginnend bij pin 7, worden 24 windingen om de spoelhouder gewikkeld (**figuur 2a**) en met tape geïsoleerd. Wikkel vervolgens de tweede laag met 13 windingen om de in totaal 37 secundaire windingen te voltooien (**figuur 2b**). De tweede verbinding is geïsoleerd met een stukje PTFE-kous, zoals te zien is in **figuur 2c**. Het zou beter zijn geweest om ook de eerste aansluiting van de secundaire wikkeling te isoleren (ontbreekt op de foto's van TR2). Vervolgens wordt de tweede secundaire laag geïsoleerd met tape. **Verhit de draden bij de pinnen van de spoelhouder niet te lang. Hierdoor kan het plastic van de spoelhouder smelten. Daarom moeten de draadeinden goed worden vertind voordat ze om de pennen worden gedraaid!**

Daarna komt de eerste winding van de eerste primaire wikkeling aan pin 1. Gebruik een scherp mes om de isolatie van elke draad te verwijderen en vertin dit uiteinde alvorens het

om een pin te wikkelen. Gebruik een tang om het draadeinde strak rond de pen te knippen voordat de twee windingen rond de spoelhouder worden gelegd. Maak de draad (iets meer dan) lang genoeg, om de tegenoverliggende pin te bereiken, maar sluit deze nog niet aan. Doe dit voor de volgende twee windingen van deze primaire wikkeling (drie draden parallel, zie **figuur 2d**). Verwijder vervolgens de isolatie van de drie uiteinden. Vertin eerst de uiteinden en knijp ze alle drie om de aansluitpin, zodat de wikkeling optimaal komt te liggen (zo vlak en gelijkmatig mogelijk verdeeld, **figuur 2e**). Herhaal deze procedure voor de tweede primaire wikkeling, te beginnen bij pin 2 (**figuur 2f**). **Figuur 3** toont de transformator met alle wikkelingen. Vergeet niet de kern te monteren!



Figuur 3. Aansluitingen van de voltooide transformator.



ONDERDELENLIJST

Weerstanden:

R1 = 47k
 R2 = 1k5
 R3 = 39k
 R4 = 1k
 R5,R6 = 22 Ω
 R7,R8 = 0,15 Ω , 1W
 (Multicomp Pro MCKNP01SJ015KA10)
 R9,R10 = 100 Ω , 1 W (
 Multicomp Pro MCKNP01SJ0101A10)
 R11 = 220k, 1 W, 350V
 P1 = instelpotmeter 100k, liggend

Condensatoren:

C1 = 150p, 50 V, steek 5 mm
 C2 = 4n7, 50 V, steek 5 mm
 C3,C4,C8 = 1 μ , 50 V, steek 5 mm
 C5,C6 = 220p, 100 V, steek 5 mm
 C7 = 220 μ , 25 V, 20 %, polymeer-aluminium,
 steek 3,5 mm, $\varnothing$ 8 mm, ESR 15m Ω
 A750KS227M1EAAE015 Kemet
 C9,C10 = 470n, 400 V, 5 %, polypropyleen,
 steek 15 mm (19x9 mm max.)

Spoelen/transformatoren:

TR1 = 2x kern ETD29, N97, spleetloos,
 B66358G0000X197 TDK/Epcos
 TR1 = spoelvorm, ETD29, B66359W1013T001,
 TDK/Epcos

TR1 = 2x clip, B66359S2000X000, TDK/Epcos
 L1 = 2,2 μ H, 10%, 5,6 ARMS, 21m Ω , steek 5 mm,
 $\varnothing$ 8,5 mm max., RLB0913-2R2K Bourns
 L2 = common-mode smoorspoel 500 μ H, 1 A,
 0,3 Ω , SU9V-10005 Kemet

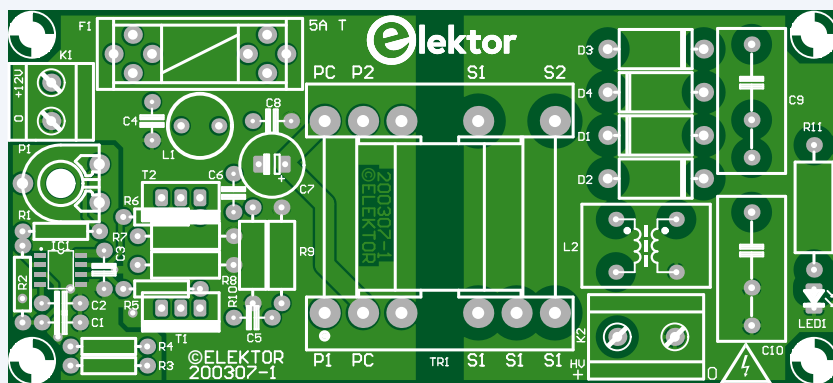
Halfgeleiders:

D1,D2,D3,D4 = STTH1R04QRL
 LED = LED groen, 3 mm
 T1,T2 = TK30A06N1, TO-220SIS
 IC1 = UCC28089D, SOIC-8

Overig:

K1 = printkroonsteen 2-polig, steek 5,08 mm
 K2 = printkroonsteen 2-polig, steek 7,68 mm
 F1 = glaszekering, 5x20 mm, 5 A traag met
 zekeringhouder 500V/10A en afdekkap
 TR1 = isolatietape, polyesterfilm,
 3M 1350 12 MM
 TR1 = koperdraad 0,71 mm voor alle
 wikkelingen, 49 windingen in totaal, 3 meter
 TR1 = PTFE-beschermkous,
 binnendiameter 1,02 mm min. ,
 Pro Power STFE 18 CLR, 10 cm

Print 200307-1 v1.1



Figuur 4. Print-layout.



Bouw van de DC/DC-converter

De Gerber- en boorbestanden voor de productie van de print (**figuur 4**) kunnen worden gedownload van [3]. Bestel de print bij uw favoriete leverancier. De print op de foto's van het prototype is versie 1.0, in versie 1.1 is een kleine correctie aangebracht in de vorm van de aanduidingen '+HV' en '0' naast printkroonsteen K2.

Soldeer eerst IC1 op de print, de kleine SMD-chip (SO-8). Om ruimte te sparen zijn de 1W-vermogensweerstand (R7..R10) aan de primaire zijde kleine versies (weerstandslichaam 10 mm x 3,5 mm); als u nog enkele oudere exemplaren hebt of willekeurige types koopt passen ze misschien niet. Kijk in de BOM voor de referentie van de fabrikant van de weerstanden die we hebben gebruikt. C7 moet een polymeer aluminium type zijn, gebruik geen gewoon elektrolytisch exemplaar omdat dat hoogstwaarschijnlijk zal doorbranden! Het genoemde type (A750KS227M1EAAE015 van Kemet) kan een rimpelstroom van 4,42 A aan bij 100 kHz en heeft een zeer geringe serieweerstand van 15 m Ω (100 kHz/20 °C). De montage van de rest van de componenten is vrij eenvoudig. De weerstand voor de LED (R11) die de aanwezigheid van de hoogspanning (HV) aangeeft, moet ten minste een 350V-type zijn en mag een grotere 1W-weerstand zijn. Merk op dat de schakeling niet voldoet aan de Klasse-II-specificaties voor netgevoede apparatuur! Het ontwerp van de converter heeft grotere afstanden en ook de transformator (indien juist geconstrueerd) levert een uitstekend galvanisch geïsoleerde uitgangshoogspanning. Zet instelpot P1 in de middenstand voor een schakelfrequentie van 150 kHz.

Zorg er bij het gebruik van deze DC/DC-converter voor dat er zich geen elektrisch geleidende voorwerpen in de buurt van hoogspanning voerende componenten bevinden. Hoe groter de afstand hoe beter!

De uitgangsspanning kan worden gewijzigd door het aantal secundaire windingen aan te passen, maar ook door het aantal primaire windingen te veranderen, mits de juiste schakelfrequentie in acht wordt genomen. Veranderen van C1 (en R2) voor een andere oscillatorfrequentie zal de dode tijd veranderen! Kijk goed naar de formules in de datasheet van de UCC28089 alvorens waarden te wijzigen.



GERELATEERDE PRODUCTEN

- > **M. van der Veen, Vanderveen Trans Buizenversterkers , Elektor (e-boek)**
www.elektor.nl/vanderveen-trans-tube-amplifiers-e-book
- > **M. van der Veen, Ontwerpen van buizenversterkers, Elektor (e-boek)**
www.elektor.nl/ontwerpen-van-buizenversterkers-e-book

Een bijdrage van

Idee, ontwerp, tekst: **Ton Giesberts**

Redactie: **Luc Lemmens**

Vertaling: **Jelle Aarnoudse**

Illustraties: **Ton Giesberts,**

Patrick Wielders

Layout: **Giel Dols**

Vragen of opmerkingen?

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

Het ontwerpen van push-pull DC/DC-conver-
ters en – misschien nog in sterkere mate – de
berekening en constructie van de benodigde
'op maat gemaakte' transformator is behoor-
lijk gecompliceerd. Zoals eerder vermeld, is
meer achtergrondinformatie over dit onder-

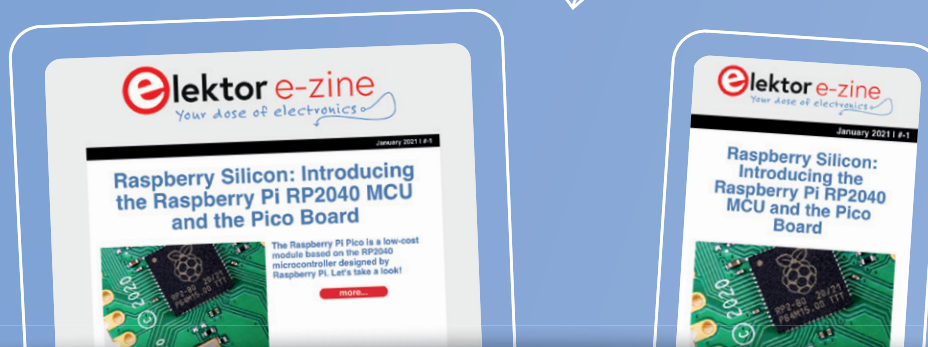
werp te vinden op [1], waar u ook vragen,
opmerkingen, suggesties en ervaringen met
deze converters of transformatorontwerp kunt
delen met andere lezers. ◀

200583-03

WEBLINKS

- [1] **Labs-pagina bij dit artikel:** www.elektormagazine.nl/labs/12v-200v-dc-dc-converter-for-valve-amplifiers
- [2] **Datasheet TDK-spoelvorm:** https://product.tdk.com/info/en/documents/data_sheet/80/db/fer/etd_29_16_10.pdf
- [3] **Downloads van dit project:** www.elektormagazine.nl/200583-03

elektor e-zine
Your dose of electronics



Elke week dat u zich niet inschrijft voor ons Elektor E-zine
mist u leuke elektronica-gerelateerde artikelen en projecten!

Dus, waarom nog langer wachten? Abonneer u vandaag
nog op www.elektor.nl/ezine en ontvang bovendien een
gratis Raspberry Pi projectboek!



elektor
design > share > sell