

Schakelende transceivervoeding (3)

In de eerste twee delen van deze serie is beschreven hoe een bestaande computervoeding kan worden omgebouwd tot een voeding die geschikt is een transceiver van de nodige energie te voorzien. Het is ook mogelijk zelf te bouwen met onderdelen die in de handel verkrijgbaar zijn. Een zelfbouwversie wordt in dit derde deel beschreven.

Zelfbouw schakelende voeding

We stellen aan de voeding de volgende eisen:

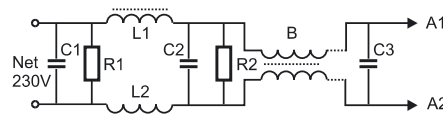
- Ingangswisselspanning 230 V \pm 10%, 50 Hz
- Uitgangsgelijkspanning 13,8 V
- Maximale uitgangsstroom 20 A, 25 A piek gedurende 10 ms
- Kortsluit- en overspanningsbeveiliging
- Absoluut geen radiostoring veroorzakend
- Te bouwen met in de handel verkrijgbare onderdelen

Zoals we eerder hebben gezien bestaat de schakelende voeding uit de volgende delen, zie ook figuur 1:

- Het ingangsnetworkfilter. Dit filter moet de storende hoogfrequente energie die in de voeding volop aanwezig is effectief onderdrukken zodat die niet op het 230 V net terecht komt.
- De netspanningsgelijkrichter die de 230 V wisselspanning omzet naar 300 V gelijkspanning.
- De spanningsomzetter die de 300 V gelijkspanning omzet naar 13,8 V gelijkspanning.
- Het uitgangfilter dat moet voorkomen dat de storende hoogfrequente energie via de uitgang de voeding verlaat.
- Het stuur- en beveiligingscircuit.
- De koeling bestaande uit een ventilator

De gehele voeding dient in een metalen kast te worden gebouwd om storing te voorkomen.

Ingangsnetworkfilter



Figuur 18 Ingangsnetworkfilter

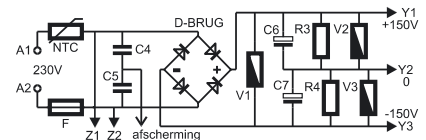
C1	0,22 μ F \pm 10%, 275 V wisselspanning
C2	0,33 μ F \pm 10%, 275 V wisselspanning
C3	0,1 μ F \pm 10%, 275 V wisselspanning
R1, R2	680 k Ω \pm 5%, 0,5 W
L1, L2	0,2 mH 55 windingen 0,7 mm \varnothing op poederijzer ringkern Do = 18 mm, Di = 9 mm, h = 7,1 mm bijvoorbeeld Amidon AM-068125
B	2 x 9,5 mH 2 x 40 windingen 1,0 mm \varnothing , beide wikkelingen elektrisch goed gescheiden (230 V) op ringkern Philips TX22/14/6.4-3E6
A1, A2	Naar gelijkrichter, 230 V, zie figuur 15

De weerstanden R1 en R2 dienen om eventuele restspanningen over de condensatoren weg te nemen als het apparaat uitgeschakeld is en om resonantieverschijnselen te onderdrukken. Opmerking: het is aan te bevelen C1 direct op de netspanningsaansluiting te monteren. Als C1 bijvoorbeeld op een print wordt gemonteerd die vrij ver van de plek zit waar de netspanning binnenkomt kunnen de verbindingsdraden stoorpulsen oppikken die vervolgens naar buiten komen.

Netspanningsgelijkrichter

De netspanningsgelijkrichter is in principe vrij klassiek. Wat opvalt is dat de uitgangscondensator bestaat uit twee in serie geschakelde condensatoren. Dit is nodig omdat de daarop volgende spanningsomzetter een spanningsbron van twee maal 150 V nodig heeft, zie figuur 20. Verder is de schakeling voorzien van de nodige beveiligingen zoals een smeltveiligheid, een serie NTC-weerstand om stroompieken bij het inschakelen op te vangen en VDR-weerstanden om spanningspieken die op het net kunnen voorkomen af te vlakken. Eventuele spanningspieken kunnen namelijk fatale gevolgen hebben.

Kees Heuvelman, PA0CJH, en Fred Plomp, PA3HGF

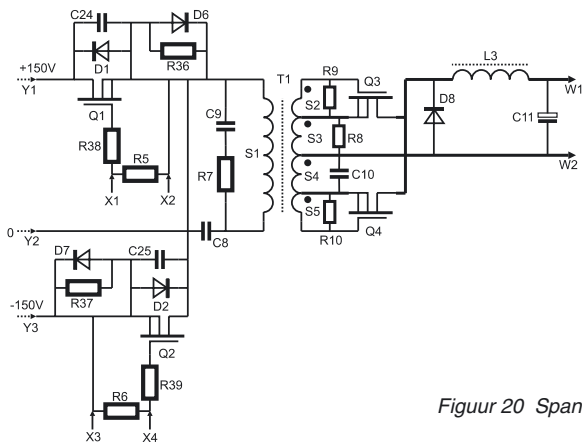


Figuur 19 Netspanningsgelijkrichter

C4, C5	4,7 nF, 400 V wisselspanning
C6, C7	470 μ F, 200 V
R3, R4	100 k Ω , 0,5 W
NTC	NTC, 5,0 Ω bij 25 $^{\circ}$ C
D-BRUG	Bruggelijkrichter 400 V, 4 A
V1	VDR, 07D471K
V2, V3	VDR, 07D241K
F	Smeltveiligheid 5 A
A1, A2	Van netfilter, 230 V, zie figuur 18
Y1, Y2, Y3	Naar spanningsomzetter, 2 x 150 V, zie figuur 20
Z1, Z2	Naar 230V/15V trafo T3, zie figuur 22

Spanningsomzetter

Zie figuur 20. Het principe van de spanningsomzetter is getekend in figuur 2. De schakelaars en diodes zoals die zijn getekend zijn in werkelijkheid MOSFETs. Als schakelaars worden de MOSFETs aan- en uitgeschakeld door de stuurschakeling. MOSFETs kunnen ook heel goed als diode worden geschakeld. Het grote voordeel van een MOSFET is dat de doorlaatweerstand heel laag is, lager dan van een gewone diode en zelfs lager dan die van een Schottkydiode. De prijs is vrij laag. Het nadeel van de MOSFET als diode, synchrone gelijkrichter genaamd, is dat daarvoor een speciale stuurschakeling nodig is en dat men voor dit circuit drie MOSFETs moet gebruiken terwijl met gewone dubbeldiodes slechts één IC nodig is. Doorlaatweerstand R_{on} is in verband met de warmte-ontwikkeling van groot belang. Een powerdiode geeft bij een doorlaatstroom van 25 A een spanningsval van ongeveer 1 V. Het gedissipeerd vermogen bedraagt dan dus 25 W. Een Schottkydiode heeft bij diezelfde stroom een spanningsval van ongeveer 0,7 V. Bij een stroom van 25 A is het verliesvermogen dan 18 W. De doorlaatweerstand R_{on} van een MOSFET als synchrone gelijkrichter bedraagt 0,018 Ω . Met een stroom van 25 A is het verliesvermogen dus $i^2 \times R_{on} = 25^2 \times 0,018 = 11$ W. Het verliesvermogen moet in de vorm van warmte worden afgevoerd. De MOSFETs zijn op koellichamen gemonteerd die al dan niet geforceerd worden gekoeld. Bij SSB en CW is geforceerde koeling niet nodig.



Figuur 20 Spanningsomzetter

C8	1 μ F, 250 V wisselspanning
C9	2,2 nF, 250 V
C10	10 nF
C11	2 x 2200 μ F parallel, 16 V
C24, C25	470 pF, 250 V
R5, R6, R9, R10, R11	1 k Ω
R7	100 Ω , 4 W
R8	10 Ω , 2 W
R36, R37	470 Ω
R38, R39	33 Ω
D1, D2, D6, D7	BYV27/200
D8	MBR3045
Q1, Q2	IRF730
Q3, Q4	IRFZ44N
T1	Zie tekst
L3	Zie tekst
W1, W2	Naar uitgangsfILTER, 13,8 V, zie figuur 21
X1 tm X4	Van stuurschakeling, T2, zie figuur 22
Y1, Y2, Y3	Van netspanningsgelijkrichter, 2 X 150 V, zie figuur 15

maire wikkeling S1, zo symmetrisch mogelijk over S3. Vervolgens komt er weer een isolatielaag van polyethyleen en daaroverheen S4. Als S3 rechtsom is gewikkeld dan moet S4 linksom worden gewikkeld zodat de bovenkant van S4 en de onderkant van S3 (zie figuur 20) aan één kant zitten. De vier draden die hier bij elkaar komen moeten zo kort mogelijk aan elkaar worden gesoldeerd, dit om de spreidingszelfinductie zo klein mogelijk te laten zijn. Wickelingen S2 en S5 sturen MOSFETs Q3 en Q4. De plaats van die spoelen op de kern is niet kritisch. Wel moet worden gelet op de juiste doorverbinding met S2 resp. S4 (let op wikkelrichtingen, zie figuur 20).

Transformator T1 is een belangrijk onderdeel van de voeding. Als kern wordt bij PC-voedingen altijd een E-kern gebruikt, meestal met een kerndoorsnede van ongeveer 100 mm² en met een relatieve permeabiliteit van ongeveer 2000. Deze kernen zijn moeilijk verkrijgbaar. Daarom gebruiken we hier een ander type met dezelfde kerndoorsnede en van hetzelfde materiaal. Een dergelijke kern is voor fabrikanten vrij lastig te bewikkelen, voor amateurs is dat geen probleem. De toegepaste kern is een ferriet ringkern met een buitendiameter van 36 mm, type TN36/23/15-3C90 van de firma Ferroxcube, vroeger Philips. Het is van belang dat de koppeling tussen de primaire wikkeling en de secundaire wikkelingen zo sterk mogelijk is. Tabel 1 geeft de wikkelgegevens van de transformator.

S1	40 windingen	0,5 mm \varnothing
S2	4 windingen	0,5 mm \varnothing
S3	7 windingen	2 x 1 mm \varnothing parallel
S4	7 windingen	2 x 1 mm \varnothing parallel
S5	4 windingen	0,5 mm \varnothing

Tabel 1 Wikkelgegevens van transformator T1

De eerste laag is wikkeling S3. Deze bestaat uit 7 windingen van 2 draden naast elkaar gewikkeld 1 mm \varnothing koperdraad. Hier worden twee draden naast elkaar gebruikt om de koperverliezen zo laag mogelijk te houden. Daaroverheen wordt isolatie aangebracht. Zelfvulcaniserend polyethyleen van 0,5 mm dikte dat gebruikt wordt om kabelverbindingen (pluggen) waterdicht te maken voldoet uitstekend. Over deze isolatie komt nu de pri-

Forwardspoel L3 speelt een belangrijke rol in het omzetten van de pulsvormige stroom, geleverd door MOSFETs Q3 en Q4, in een gelijkstroom. Zie tekst bij figuur 2: principe single-ended push-pull converter. Over de spoel is een extra wikkeling gelegd om MOSFET Q5 te sturen. Schottkydiode D8 dient als flybackdiode omdat Q3 en Q4 hiervoor niet kunnen worden gebruikt, ze geleiden immers alleen als de puls spanning van de transformator aanwezig is.

De kern van L3 is een poederijzer ringkern. Hier moet poederijzer worden toegepast omdat dat materiaal een hoge inductie toelaat. Helaas is de permeabiliteit vergeleken met ferriet laag zodat het aantal windingen groot is.

Als kern kan een ringkern AM-106060 van de firma Amidon worden gebruikt. De spoel bestaat uit 27 windingen van 2 draden van 1 mm \varnothing koperdraad naast elkaar, ook weer om de koperverliezen binnen de perken te houden. In dit geval is de gemeten kopergelijkstroomweerstand 8 m Ω zodat bij 20 A het spanningsverlies 0,16 V bedraagt en de spoel dus 3,2 W dissipeert.

UitgangsfILTER

Zie figuur 21. Het uitgangsfILTER zorgt ervoor dat eventuele reststoorspanningen niet buiten het voedingsapparaat komen. Het is klassiek van opbouw en dient zo dicht mogelijk bij de uitgangsaansluiting te worden gemonteerd. In figuur 21 is het schema getekend. Het is een laagdoorlaatfilter dat bestaat uit een zelfinductie en twee condensatoren. L4 heeft een waarde van 14 μ H en bestaat uit een ferrietstaafje van 8 mm \varnothing , 30 mm lang waarop 20 windingen van 1 mm \varnothing koperdraad zijn gewikkeld. Het filter wordt zo dicht mogelijk bij de uitgangsklemmen gemonteerd. In het filter is een shuntweerstand R12 van 1,5 m Ω opgenomen om de uitgangsstroom te bepalen. Indien die stroom te hoog wordt, bijvoorbeeld bij kortsluiting, moet de voeding zichzelf uitschakelen. De shunt bestaat uit 4,5 windingen van 1,5 mm \varnothing koperdraad gewikkeld op een staafje van 6 mm \varnothing , totale draadlengte 130 mm. Omdat de draad op zich stijf genoeg is kan het staafje na het wikkelen natuurlijk worden weggelaten. De spanningsval die de shunt veroorzaakt is bij gebruik van een transceiver verwaarloosbaar.

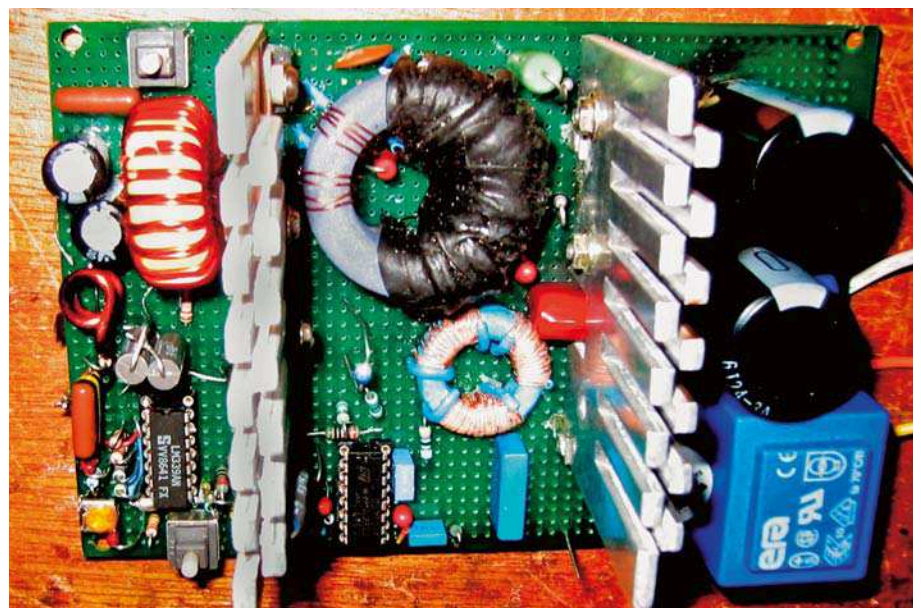
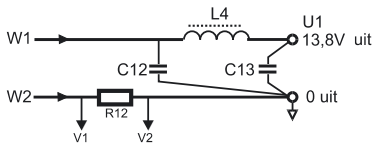


Foto 24 Schakeling op experimenteerprint: netfilter (fig. 18), netspanningsdiodebrug, L4, C12 en C13 van het uitgangsfILTER (fig. 21) zitten niet op de print. T3, C6 en C7 zitten rechts, T1 en T2 in het midden terwijl L3 en shunt R12 links zijn gemonteerd.

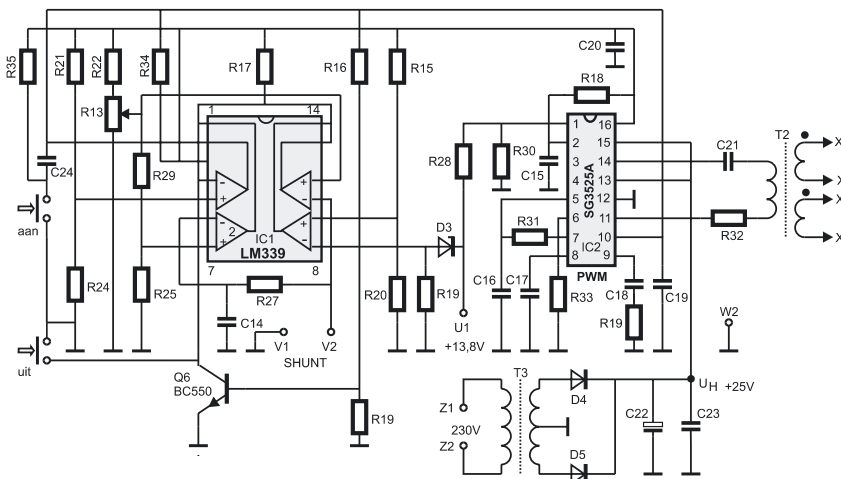


Figuur 21 Uitgangsfiler

R12	1,5 mΩ, shuntweerstand, zie tekst
C12, C13	4,7 nF
L4	12 μH, zie tekst
W1, W2	Spanning afkomstig uit spanningsomzetter, figuur 20
V1, V2	Stroom-meetspanning naar stuur- en regelschakeling, figuur 22
U1	Uitgangsspanning, naar stuur- en regelschakeling, figuur 22

Stuur- en regelschakeling

Stuklijst



Figuur 22 Stuur- en regelschakeling

R13	330 Ω, instel	C14	100 nF
R15, R20	10 kΩ, 1%	C15	220 nF
R16, R17, R18, R19	10 kΩ	C16	2,2 nF, polystyreen
R21	22 kΩ, 1%	C17	10 μF, 25 V
R22	26,7 kΩ, 1%	C18	47 nF
R24, R25	18 kΩ	C19	2,2 nF
R27, R35	100 kΩ	C20	10 nF
R34	1 kΩ	C21	2,2 μF, bipolar
R28	1,69 kΩ, 1%	C22	470 μF, 40 V
R29	4,7 kΩ	C23	100 nF, zie tekst
R30	1 kΩ, 1%	C24	220 nF
R31, R32	47 Ω	D3	Zenerdiode, BZD23C12, zie tekst
R33	5,6 kΩ, 1%	D4, D5	1N4001
IC1	LM339A	T2	Zie tekst
IC2	SG3525A	T3	230V 2 X 15 V, 0,5 VA
Q6	BC550		

De Pulse Width Modulator (PWM), type SG3525, stuurt de gehele schakelende voeding. De PWM levert via transformator T2 de pulsen voor de schakel-MOSFETs Q1 en Q2 (zie figuur 20). De uitgangsspanning van de voeding, 13,8 V, die via U1 en spanningsdeler R28 en R30 wordt toegevoerd aan punt 1 van IC1 wordt vergeleken met een referentiespanning op punt 2. Deze referentiespanning van 5,1 V wordt door de PWM opgewekt en is op punt 16 beschikbaar. Deze spanning wordt ook gebruikt voor de beveiligingsschakeling rond IC1. Condensator C17 dient voor de softstart van de voeding: als de voeding

wordt ingeschakeld zal de PWM de schakel-pulsen langzaam opbouwen zodat de schakeling niet in één klap energie kan leveren waardoor sommige onderdelen te zwaar belast zouden worden. Op punt 10 van IC2 kan de PWM ingeschakeld (0 V) of uitgeschakeld worden (+1 V). Voor verdere details van de PWM verwijs ik naar de literatuur. IC2 wordt gevoed op punt 13 en 15 door een hulpspanning UH, circa 20 V, die klassiek verkregen wordt door T3, D4, D5 en C22. Ontkoppelcondensator C23 is dicht bij IC1 gemonteerd op de punten 12 en 13. De spoelen van T2 zijn gewikkeld op een ferrietring met een doorsnede van 23 mm van materiaal 3F3, type TN23/14/7-3F3 (Ferroxcube). De primaire spoel telt 16 windingen van 0,5 mm Ø koperdraad terwijl de twee secundaire spoelen elk 16 windingen tellen, ook van 0,5 mm Ø draad. De wikkelingen liggen naast elkaar op de ferrietring zonder extra isolatie. Wel

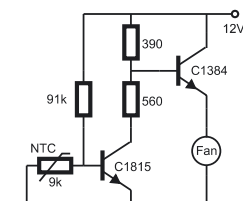
spanning van 12 V zorgt ervoor dat de spanning op punt 8 1,8 V wordt. Deze spanning wordt vergeleken met een spanning op punt 9 die 2,55 V is en die verkregen wordt uit de referentiespanning van 5,1 V uit IC2. Als de spanning op punt 8 echter groter wordt dan 2,55 V, en dat gebeurt als de uitgangsspanning stijgt boven $12 + 2,55 = 14,55$ V, dan zal de uitgang van de comparator linksonder (punt 14 van IC1) naar 0 V zakken. Deze spanning wordt logisch geïnverteerd door de comparator linksboven waarvan de uitgang (punt 2) naar Vcc (5,1 V) stijgt. Deze positieve spanning wordt naar de PWM op punt 10 van IC2 gevoerd die daarop onmiddellijk de puls-spanning afschakelt zodat de voeding geen spanning meer levert. Iets dergelijks gebeurt bij een te grote stroom: de uitgangsstroom wordt gemeten met een shunt en de shuntspanning wordt toegevoerd aan twee comparators. De comparator rechtsboven komt in actie als de stroom hoger wordt dan 25 A, de comparator linksonder komt vertraagd in actie (door R27 en C14) bij een maximale stroom van 20 A. Deze vertraging is prettig omdat de beveiliging niet meteen in actie komt als de stroom kortstondig wordt overschreden, iets dat bij SSB wel eens voor wil komen. De maximale stroom wordt met R13 ingesteld. Omdat de shuntspanning V1...V2 klein is (circa 30 mV) is het van belang dat de verbindingen vanaf de shunt zo dicht mogelijk aan weerstanden R25 resp. R27 worden aangesloten. Als de uitgangsspanning weer zakt of als de kortsluiting is opgeheven blijft punt 2 hoog doordat de schakeling vergrendeld blijft omdat punt 10 van IC2 hoog blijft door de terugkoppeling via Q6. De vergrendeling kan worden opgeheven door 'aan' in te drukken waardoor punt 10 van IC2 even laag wordt en de regelaar dus even aangeschakeld wordt. Is de uitgangsspanning gezakt of de kortsluiting opgeheven dan blijft de regelaar aan omdat de vergrendeling door Q6 dan is opgeheven. Opgemerkt moet worden dat de regelaar in dit geval ook met een softstart wordt aangeschakeld. Door indrukken van schakelaar 'uit' wordt via IC1 punt 10 van IC2 hoog en wordt de voeding dus ook uitgeschakeld.

Koeling

De MOSFETs zijn gemonteerd op aluminium koellichamen (zie hoofdstuk: opbouw). Bij SSB is geen geforceerde koeling nodig. Bij continue volle belasting van de voeding dient een ventilator de geproduceerde warmte af te voeren. Als ventilator is een 12 V type met afmetingen $100 \times 100 \times 25$ mm geschikt. De

moet er op worden gelet dat de primaire wikkeling voldoende ver van de secundaire wikkelingen ligt: de secundaire wikkelingen zijn immers verbonden met de netspanning. Een afstand van 5 mm is voldoende.

Het circuit rond IC1 zorgt voor de beveiliging van de voeding. IC1 is een LM339, die bevat vier comparators. Het beveiligingscircuit waakt tegen te hoge uitgangsspanning en te hoge uitgangsstroom zoals bij kortsluiting van de voeding. De uitgangsspanning van de voeding (13,8 V) wordt via zenerdiode D3 toegevoerd aan punt 8 van IC1. De zener-



Figuur 23 Koelsysteem

ventilator gaat alleen aan als de temperatuur van de koellichamen van Q3, Q4 en diode D8 te hoog wordt. Het schema van de stuurschakeling is getekend in figuur 23.

Opbouw

De gelijkrichter is, met uitzondering van diodebrug, spanningsomzetter en stuur- en regelschakeling, gemonteerd op een printplaat van 100 x 145 mm. De foto laat de opbouw van het geheel zien. Het ingangsnetfilter met diodebrug en het uitgangsfILTER zijn op aparte printjes dichtbij de netspanningsaansluiting resp. de uitgangsklemmen gemonteerd. De gehele voeding zit in een metalen kastje van 150 x 140 x 60 mm.

MOSFETs Q1 en Q2 zijn gemonteerd op een koellichaam van 75 mm breed en 60 mm

hoog. MOSFETs Q3, Q4 en diode D8 zitten op een koellichaam van 80 mm breed en 60 mm hoog.

Ingebruikstelling

De ingebruikstelling is analoog aan de ingebruikstelling van de ombouwschakeling in deel 2. **Denk eraan dat we te maken hebben met gevaarlijke spanningen!** We controleren eerst of de stuurschakeling werkt. Daartoe sluiten we de netspanning op de netspanningsgelijkrichter niet aan maar zetten we eerst spanning op de stuurschakeling via transformator T3. Na inschakelen met 'aan' moet de PWM spanningen afgeven die overeenkomen met die van foto 1 in deel 2. vervolgens sluiten we de netspanning aan op de netspanningsgelijkrichter. Het mooiste is om

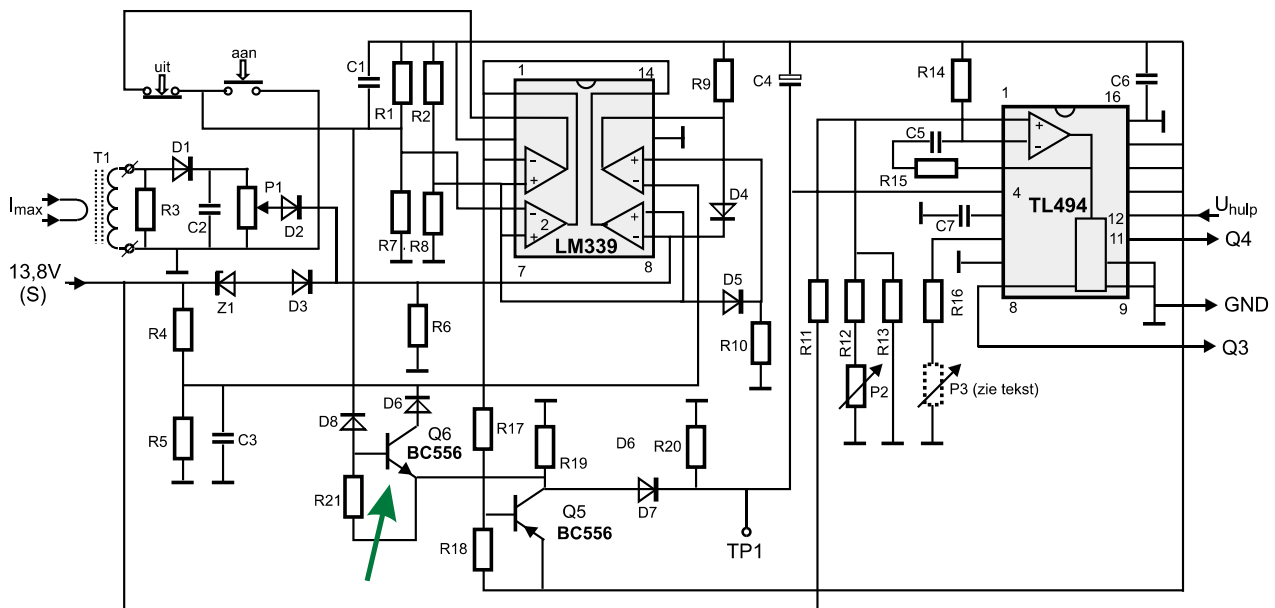
dat te doen via een scheidingstransformator en met een regelbare spanning (variac). De spanningsvormen op de uitgang van transformator T1 moeten dan overeenkomen met die van foto 3 van deel 2. De variabele belasting die in deel 2 is beschreven is ook hier een nuttig apparaat. De printplaat en de belangrijkste onderdelen zijn t.z.t. via museum Jan Corver leverbaar.

Literatuur

Switched Mode Power Supplies, design and construction. H.W. Whittington et al., Research Study Press Ltd, England.



Errata schakelende transceivervoeding (II)



In deel 2 van deze serie, geplaatst in december 2003, dienen bij figuur 13 enkele dingen te worden gewijzigd:

R4 56 kΩ
R5 4,7 kΩ

Daarnaast zijn in figuur 13 de onderdelen R21, D8 en Q6 toegevoegd. Zie hier de aangepaste figuur 13:

In de tekst op pagina 543, rechterkolom halverwege, moet gelezen worden: "Ingang 1 is via de deler R11/R13 met de uitgangsspanning verbonden".

Figuur 13 gewijzigd Bovenstaande wijziging geeft een betere werking van de kortsluitbeveiliging. De drie onderdelen links onder op de print (zie figuur 14) een plaatsje vinden.

Stuklijst:

D8 1N4148
R21 18 Ω
Q6 BC556

