draadjes koppelen, hetzij direct hetzij via een koppellusje. Dit hangt af van de sterkte van ons zendersignaal en de afstand waarop we meten, gerekend vanaf de zendantenne. We stellen de universeelmeter in op een zo laag mogelijk stroombereik. Een en ander is bruikbaar om de zender af te regelen op maximale energie-overdracht aan de zendantenne, of om een idee te krijgen van het stralingsdiagram van de zendantenne. Let wel, dit is ook weer een hulpmiddel, exacte waarden mogen we er niet van verwachten.

4.2 Voedingsapparaten

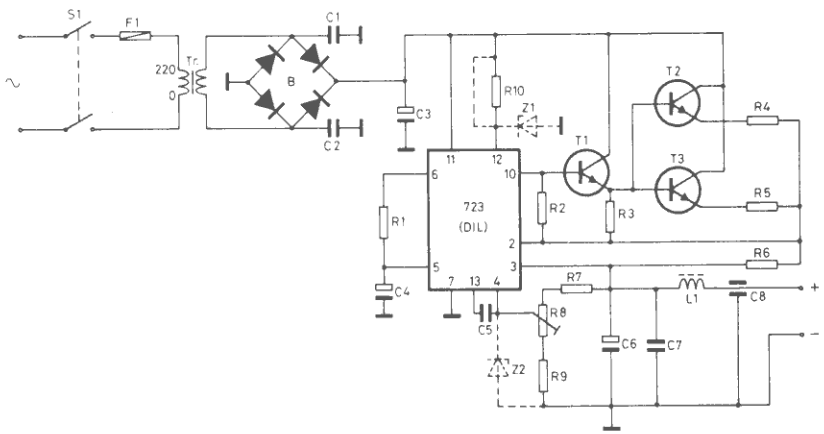
Elk stukje elektronica, of dit nu ingewikkeld of simpel is, werkt of dankt zijn werking aan de aanwezigheid van elektronen. In verreweg de meeste gevallen hebben we er genoeg aan te weten dat die elektronen getransporteerd worden langs geleiders en dat we dit 'elektrische stroom' noemen. Maar de manier waarop we die elektrische stroom opwekken, nou ja, je neemt gewoon een accu of je steekt de steker in de wandcontactdoos. . . . .
Nu kunnen we wel verder gaan theoretiseren over elektriciteit, maar dan is de kans groot dat er van een aardig zelfbouwproject niet veel terecht komt. Alles goed en wel, maar we moeten toch nog even stilstaan bij het belang van een goed gestabiliseerde voedingsspanning. Als we er niet voor zorgen dat er onder wisselende omstandigheden een gelijke voedingsspanning voorhanden is, zal dat aanleiding kunnen zijn voor problemen. Denk maar eens na. Trekt een willekeurig apparaat een constante stroom dan zal de voedingsspanning ook wel redelijk constant blijven zolang we die bekijken over een kort tijdsbestek. Gebruiken we echter een accu, dan zal na een aantal uren de inwendige weerstand gaan oplopen en daardoor zal de klemspanning gaan dalen. We zeggen dan: de accu raakt leeg. Bij een lagere voedingsspanning zal ons apparaat wellicht niet meer optimaal functioneren, we zullen eerst de accu moeten bijladen.
Gaan we de zaak op de keper beschouwen dan is het de inwendige weerstand van de voedingsbron die ons parten speelt. Nog erger wordt het als we te maken hebben met wisselende stroomafname. Klasse-B-versterkers trekken bij geringe sturing weinig stroom. Voeren we het ingangssignaal op dan loopt er een grote stroom. Is de inwendige weerstand van de voedingsbron te hoog dan zal bij een forse stroomafname de voedingsspanning in elkaar zakken. Het vermogen (spanning maal stroom) wordt dus ook minder en allerlei narigheid zoals vervorming kan het gevolg zijn. Bovendien is het gesjouw met accu's een vermoeiende bezigheid. . . . .
Daarom gaan we nu een drietal schakelingen de revue laten passeren. Omdat we tegenwoordig vrijwel uitsluitend met transistoren werken, beperken we ons tot laagspanningsvoedingen. Het eerste apparaat levert 12,6 V vast en kan bij die spanning maximaal 5 A afgeven. De schakeling is kortsluitvast en de stroom wordt op ongeveer 5,2 A begrensd.
Het tweede voedingsapparaat kan een spanning afgeven die 28 V bedraagt bij een maximum stroom van eveneens 5 A. Ook hier wordt bij kortsluiting de stroom op een waarde van ongeveer 5,2 A begrensd.

Bibliotheek
V.E.R.O.N.
Afd. Arnhem

Het derde en laatste voedingsapparaat is regelbaar, zowel de uitgangsspanning als de stroombegrenzing kunnen ingesteld worden, een en ander binnen zeer wijde grenzen.

4.2.1 12,6 volt-voeding, 5 ampère

De meeste kant-en-klare handelsapparaten die voor amateurgebruik geschikt zijn, hebben een voedingsspanning nodig van 12,6 V. Zowel zenders als ontvangers kunnen daarom ook in het gemotoriseerde 'koetswerk' kortweg auto genaamd, worden meegenomen en de bestuurder onderweg wat QSO-werk te doen geven op zijn rit. Eenmaal weer thuis kunnen we de 'set' zo weer uit de slede trekken en binnen weer opnieuw aansluiten, als we daar beschikken over een antenne en . . . een voedingsapparaat of accu. Zoals gezegd: een accu kan leegraken, het lichtnet geeft vierentwintig uur per dag energie, daar kunnen we doorgaans beter van op aan.
Wat we nu gaan doen is de lichtnetspanning (220 V - 50 Hz) omvormen naar een gelijkspanning van 12,6 V. Dat dit niet zomaar even met een 'weerstandje' kan, zal een ieder wel duidelijk zijn. Als we het schema bekijken dan zien we dat de netspanning via schakelaar S_1 en zekering F_1 de transformator bereikt.



Afb. 4.5: Gestabiliseerde voeding voor vaste spanningen

Met behulp van bruggelijkrichter B wordt de secundaire spanning gelijkgericht. Condensator C_3 vlakt de aldus ontstane pulserende gelijkspanning af. De kleine condensatoren C_1 en C_2 zitten over de trafo-aansluitingen naar massa en zorgen voor onderdrukking van eventuele hoogfrequentstoorsignalen die nog wel eens roet in het eten kunnen gooien. Nog even iets over de trafo. De secundaire moet een spanning leveren die minstens vier tot vijf volt hoger is dan de gewenste uitgangsspanning van ons voedingsapparaat.

Tabel 4.6: Componenten voor voedingsapparaat van afb. 4.5

	12,6 V	28 V
R_1	1 k 1/8 W	1 k 1/8 W
R_2	1k 1/8 W	1k5 1/8 W
R_3	100 Ω, 1/8 W	100 Ω, 1/8 W
R_4	0,1 Ω, 1 W	0,1 Ω, 1 W
R_5	0,1 Ω, 1 W	0,1 Ω, 1 W
R_6	0,12 Ω, 5 W	0,12 Ω, 5 W
R_7	2k2 1/8 W	5k6 1/8 W
R_8	1k instelpotmeter	1k instelpotmeter
R_9	3k3 1/8 W	1k8 1/8 W
R_{10}	draadbrug	470 Ω ¼ W
C_1	3,3 nF ker.	3,3 nF ker.
C_2	3,3 nF ker.	3,3 nF ker.
C_3	4700 μF/25 V	4700 μF/63 V
C_4	4,7 μF/10 V tantaal	4,7 μF/10 V tantaal
C_5	2,2 nF ker.	2,7 nF ker.
C_6	4,7 μF/25 V tantaal	4,7 μF/35 V tantaal
C_7	1 μF Siemens MKM	1 μF Siemens MKM
C_8	1 nF doorvoer	1 nF doorvoer
Z_1	—	zenerdiode 39 V, 1 W
Z_2	zenerdiode 7,5 V, 250 mW	zenerdiode 7,5 V, 250 mW
S_1	netschakelaar, dubbelpolig om	
F_1	zekering 1 A - traag	zekering 1,6 A - traag
Tr	voedingstransformator	(zie tekst)
T_1	BD 237 (TIP 29, TIP 31)	BD 237 (TIP 31, TIP 41)
T_2	2N3055	2N3772 (40411)
T_3	2N3055	2N3772 (40411)
B	B 40 C 5000 brugcel	B 80 C 5000 brugcel
L_1	'varkensneusje'	'varkensneusje'

In onbelaste toestand zal de spanning op de elco behoorlijk hoog zijn, (ongeveer 1,4 × de trafospanning) maar zodra de boel stroom moet leveren, zakt de elcospanning meestal vrij snel terug naar de 'trafowaarde'. Voor een goede werking van het stabilisatie-IC is ongeveer 4 V verschil nodig tussen ongestabiliseerde en gestabiliseerde spanning. Willen we onder alle omstandigheden aan deze minimum-eis voldoen dan is een trafospanning van 16 à 17 volt geen overbodige luxe. En dan moet die trafo deze spanning netjes kunnen oplepelen bij een stroom van maar liefst vijf ampère! Kies dus een exemplaar dat deze spanning en stroom kan leveren. Een hogere spanning is in principe geen bezwaar, maar we moeten het ook weer niet te gek maken. We zullen verderop zien wat voor consequenties dit heeft.

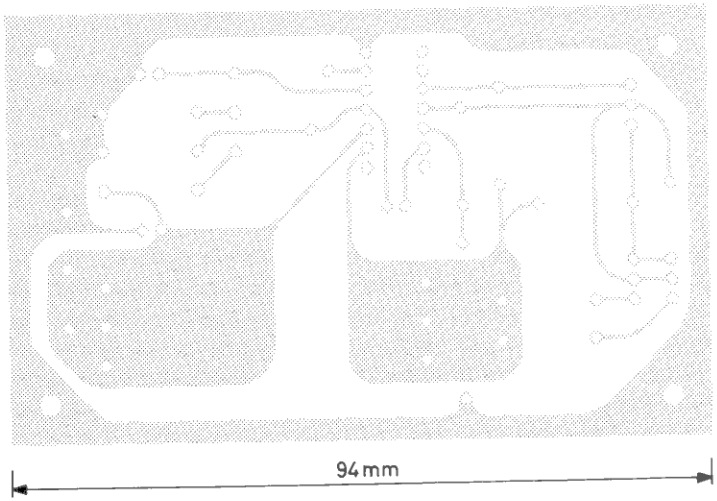
We waren intussen aangeland bij de elco. De spanning die daarop aanwezig is, wordt braaf verdeeld tussen de drie transistoren en het IC. Als we het IC zouden kunnen ontleden, vinden we daarin eigenlijk een aantal afdelingen. Eén deel maakt van de ongestabiliseerde voedingsspanning een zeer stabiele spanning van ongeveer 7 V. Deze spanning komt te voorschijn op punt 6 van het IC. Het tweede deel is in feite een verschilversterker, dat wil zeggen: een versterker met twee ingangen en één uitgang. De ingangen zitten aan punt 5 en punt 4, de uitgang van deze afdeling vinden we aan punt 10. De werking van de verschilversterker is nu zodanig dat de uitgang méér stroom gaat leveren als de spanning op punt 4 **lager** is dan die op punt 5.

Als we nu het totale schema weer bekijken, zien we dat punt 5 een vaste spanning krijgt toegevoerd welke via R_1 afkomstig is van punt 6. Dàt is één! En waar halen we de eventueel te lage spanning op punt 4 vandaan? Wel, die komt via de transistoren en weerstand R_6 op de spanningsdeler R_7-R_8-R_9, die op zijn beurt weer een deel daarvan aan punt 4 doorgeeft. We hadden reeds opgemerkt dat de uitgang (punt 10) méér stroom ging leveren als punt 4 'lager' was dan punt 5. Als er op de loper van R_8 minder spanning aanwezig is dan ongeveer 7 V, zal uitgang 10 meer stroom leveren aan de transistoren die als Darlington-emittervolger staan geschakeld. Deze transistoren zullen dus meer gaan geleiden en de spanning op de emitters, zal ook hoger worden. Deze stijging wordt via de spanningsdeler even vrolijk medegedeeld aan punt 4 van het IC en dit zal net zolang doorgaan tot ook hier 7 V aanwezig is.
De omgekeerde redenering gaat óók op. Als de uitgangsspanning te hoog is, zal punt 4 ook een hogere spanning voeren dan de gewenste 7 V. Uitgang 10 zal dan minder stroom gaan leveren waardoor de Darlington-configuratie minder kan geleiden en daarmee zakt de emitterspanning weer.
Als uiteindelijk resultaat zullen we een stabiele uitgangsspanning krijgen die met R_8 nauwkeurig op 12,6 V is af te regelen. De transistoren doen in feite dienst als 'stroomversterker'. Als ze goed gekoeld worden zal een doorlaatstroom van 5 A geen bezwaar opleveren. Mits . . . jazeker, aan alle goede zaken zit een 'maar'. Want waar blijft de rest van onze ongestabiliseerde voedingsspanning? Op de collectoren van de torren staat nog altijd een volt of zestien, zeventien . . .
Dat betekent feitelijk dat er tussen collector en emitter van de eindtransistoren nog zo'n slordige vier volt spanning staat en dàt, terwijl er vijf ampère door loopt. Als we even rekenen, dan hebben we daar zomaar twintig watt energie die ergens moet blijven. De transistoren zetten deze energie in warmte om en dat wordt afgevoerd door de koelvinnen die we aan de buitenkant van de kast hebben gemonteerd.
Nog even het koppie erbij houden, spanning maal stroom . . . jawel! Daar zit het addertje. Willen we de warmte-ontwikkeling binnen de perken houden dan mag de ongestabiliseerde spanning niet al te hoog worden. We zitten tenslotte met de eis van vijf ampère. En daarmee zijn we ook weer aangeland bij de transformator die via de brugcel de ongestabiliseerde voedingsspanning levert. Als we ons voedingsapparaat niet wensen te gebruiken om er eieren op te bakken, doen we er goed aan de trafospanning ergens tussen 16 V en 24 V te kiezen. Bij deze laatste waarde moeten de torren al ruim 55 W in warmte omzetten. En dat loopt nog verder op naarmate de spanning hoger wordt gekozen. Nu kunnen de twee eindtransistoren best een stootje hebben, maar koelvinnen zijn duurder naarmate ze groter zijn en voor transformatoren geldt helaas hetzelfde. Bovendien kunnen we de spanning niet al te hoog maken omdat de gebruikte transistoren aan een zekere dissipatiegrens zijn gebonden.
In transistorhandboeken vinden we voor vermogenstransistoren vaak een grafiek bij de gegevens, die een spannings-stroom-karakteristiek te zien geeft. Als we daar op verschillende punten de rekensom maken (spanning maal stroom is vermogen) zien we dat de vermogensdissipatie afneemt als we de collector-emitter-spanning opvoeren. Voor de hier gebruikte transistoren van het type 2N3055 geldt bijvoorbeeld een maximumwaarde van 115 W. Voeren we V_{CE} op tot bijvoorbeeld 48 V dan mag er niet meer dan 0,9 A doorlaatstroom door de transistor lopen, een vermogen van minder dan 44 W . . .
We zullen de theorie op dit punt maar niet al te diep omspitten. Het verschijnsel, dat bij hoge spanningen tussen collector en emitter de doorgangsstroom de neiging vertoont aan de 'rand' van de emitter te gaan lopen, is er de oorzaak van dat die emitterrand extra wordt verhit omdat de stroom niet 'eerlijk' over het gehele emitteroppervlak wordt verdeeld. Dààrom mag bij dit soort schakelingen de trafospanning niet te hoog worden gekozen.
We moeten, na dit theoretische zijsprongetje, weer terug naar de praktijk.
We hadden reeds opgemerkt dat het IC uit drie afdelingen bestond, twee daarvan zijn al aan de beurt geweest. De derde eenheid welke in het IC is ondergebracht is niets anders dan één transistor waarvan de drie aansluitingen op afzonderlijke pennen naar buiten zijn gevoerd (collector, basis en emitter op resp. 13, 2 en 3). Doordat de collector van deze transistor inwendig ook is doorverbonden met een stuurtransistor uit de verschilversterker is het mogelijk de uitgangsstroom van deze verschilversterker te beïnvloeden en wel op een zodanige wijze dat de eindtransistoren géén sturing meer krijgen als er tussen de punten 2 en 3 van het IC een spanning van ongeveer 0,6 V wordt aangesloten. Hoe komen we nu aan zo'n spanning? Heel eenvoudig; we zetten er een weerstand neer waar stroom doorheen loopt! En als we nu de uitgangsstroom, die het voedingsapparaat levert, er door laten lopen, werkt het dan ook? Jawel, met dat doel hebben we R_6 (0,12 Ω) in de schakeling opgenomen. Loopt daar een stroom van 5 A door dan staat er tussen de punten 2 en 3 van het IC een spanning van 0,6 V, precies wat we nodig hebben.
Zodra de stroom maar even boven de 5 A dreigt uit te komen, zal de spanning tussen de punten 2 en 3 hoger worden en uitgang 10 van het IC zal de eindtransistoren van minder stroom voorzien, waardoor ook de emitterstroom zakt en daarmede de uitgangsstroom. De grap is, dat er niets gebeurt bij stromen die kleiner zijn dan 5 A, de spanning blijft keurig op de ingestelde waarde: 12,6 V. Sluiten we nu bijvoorbeeld een weerstand van 2 Ω op de

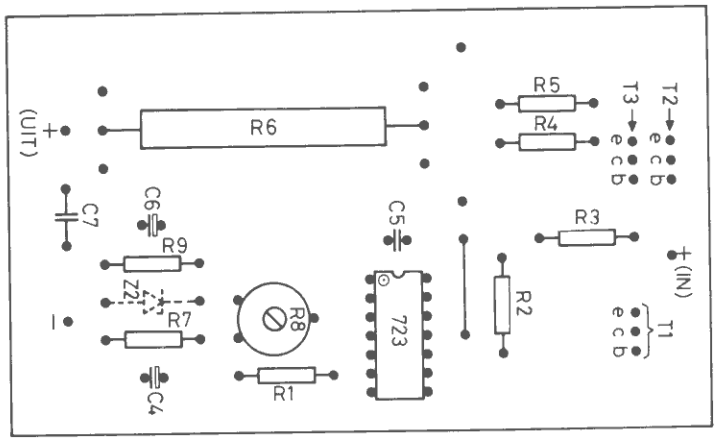
uitgang van het voedingsapparaat aan, dan zal de stroom oplopen tot ruim 6 A. Maar, wacht even . . . voor het zover is, moet de stroom groter worden dan 5 A en dat kàn niet. Wat gebeurt er dan wel? Het antwoord is eenvoudig: het enige dat mogelijk is, de spanning loopt terug. Een stroom van 5 A door een weerstand van 2 Ω, de spanning daalt tot 10 V en blijft daar steken. Méér dan 5 A kàn er niet lopen omdat het IC dan de zaak terugregelt.
En wat gebeurt er als we de uitgangsklemmen per ongeluk (of expres) kortsluiten? Ook dan is overschrijding van de maximale stroom onmogelijk, de uitgangsstroom **blijft** 5 A. Het enige verschil met de normale situatie is, dat in dit geval de volledige ongestabiliseerde spanning (min 0,6 V) over de eindtransistoren staat en die moeten daarop berekend zijn. Die twee transistoren moeten nu een groot vermogen in warmte omzetten. Koelen we de zaak afdoende dan mogen we ons voedingsapparaat met een gerust hart kortsluitvast noemen.

Hè-hè, even uitblazen, dat was even stevig aanstoeien met volts, ampères en ohms . . . . Maar als alles goed tot ons doorgedrongen is, weten we precies hoe dit voedingsapparaat werkt. Nog even aandacht voor wat details. Op een aantal plaatsen in de schakeling zijn extra elco's aangebracht. Deze dienen voor ontkoppeling en afvlakking. Zo houdt C_4 de referentiespanning van 7 V op punt 5 rimpelvrij. Dit heeft een extra goede bromonderdrukking tot gevolg. Bij vollast zit er slechts 2 mV-rimpel op de uitgangsspanning! De elco aan de uitgang, C_6, heeft een soortgelijke taak. Hiermee worden eventuele stoorspanningen die via de spanningsdeler punt 4 zouden kunnen bereiken, onderdrukt. Voor beide elco's kunnen het beste tantaaltypen worden gebruikt, ze nemen weinig plaats in en geven de beste resultaten. De uitgang is nog eens extra ontkoppeld voor hoogfrequent door middel van C_7, L_1 en C_8. De spoel is in dit geval een ferrietstaafje met gaatjes, een zgn. 'varkensneusje' waardoor een stuk draad is geregen. Samen met doorvoercondensator C_8 wordt dit smoorspoeltje met een zo kort mogelijke draad aan de plusklem van de voeding gemonteerd. Als we de uitgangszijde van de print dichtbij de aansluitklemmen monteren, kunnen déze verbinding en de min-aansluiting zeer kort worden gehouden. Een belangrijke voorwaarde voor een goede werking, omdat hoogfrequentrommel in het IC vreemde toestanden teweeg kan brengen. Daarom kan een 'dichte' metalen behuizing sterk aangeraden worden. Alleen koelvin en torren op de buitenkant, de rest goed afgeschermd 'binnenshuis'.
Nog niet genoemd zijn de weerstanden R_2, R_3, R_4 en R_5. Ze dienen slechts om de Darlington-schakeling op de juiste instelling te houden en om de stroom door de parallelgeschakelde eindtransistoren eerlijk te verdelen. Verder hebben ze geen invloed op de werking van het circuit.
Op de print blijven er twee gaatjes over tussen R_7 en R_9. Op deze plaats kan een zenerdiode van 7,5 V in de schakeling worden opgenomen. De kathodekant (het streepje) moet naar de instelpotmeter wijzen. Werken we veel met inductieve belastingen op ons voedingsapparaat zoals bijvoorbeeld relais, collectormotortjes of een printboormachientje, dan kunnen er nogal

forse spanningspieken op de uitgang ontstaan ten gevolge van de zelfinductie. Ingang 4 van het IC is wat dat betreft nogal fijn besnaard en de praktijk heeft uitgewezen dat extra bescherming geen kwaad kan. Het heeft in elk geval de levensduur van menig IC verlengd. Vooral als C_6 een 'gewone' elco is in plaats van een tantaaltype zal de onderdrukking van hoge schakelpieken onvoldoende zijn en is de kans groot dat de spanningsstabilisator er voorgoed de brui aan geeft. Onder het motto: een zener is goedkoper dan een IC . . . . Elk type zener van de genoemde spanning doet het goed, dus zet hem er maar in!



Afb. 4.7: Print lay-out gestabiliseerde voeding (. . . . . = raster "254")



Afb. 4.8: Componentenzijde 12,6 V-versie

En dan tenslotte de drie transistoren. Voor T_1 kunnen verschillende typen worden toegepast. We kunnen met voordeel daar een transistor inzetten zoals de TIP 29 of de TIP 31. Het is dan mogelijk om de transistor mèt een kleine koelvin direct op z'n pootjes in de print te monteren. Met een BD237 of iets dergelijks gaat het ook, alleen komt die een halve slag gedraaid in de print te zitten. Let in elk geval goed op de plaats van emitter en basis. Bij deze plastic torren zit de collector altijd in het midden. Het is natuurlijk ook mogelijk deze transistor samen met de eindtorren op de grote koelvin te monteren. Zo warm wordt hij echter niet en dan moeten er weer drie extra draadjes van de print naar buiten worden gevoerd wat de kans op hoogfrequentinstraling weer groter maakt.
Nog een paar laatste opmerkingen over deze voedingseenheid. De trafo moet, zoals gezegd, een stroom van minstens 5 A continu kunnen leveren bij een spanning van minimaal 16 à 17 V. Ook de brugcel moet voor dezelfde waarden zijn berekend. Het is zelfs verstandig om een beetje ruimte over te laten, omdat de inschakelstroomstoot waarmede de elco oplaadt een aantal malen groter is dan de aangegeven 5 A. Als de brugcel desondanks krap bemeten is, kunnen we hem het beste met een lik hitte-bestendige lijm op het blikpakket van de trafo vastzetten. Als die trafo op zijn beurt maar niet te heet wordt, heeft de brugcel voldoende koeling. Voor weerstand R_6 moet een type worden gekozen dat tenminste 3 W kan verdragen. Als de gewenste waarde niet of moeilijk verkrijgbaar is, kunnen we ook twee exemplaren van 0,22 Ω resp. 0,27 Ω parallel schakelen. Op de print is er met deze mogelijkheid rekening gehouden. Als alle pogingen om weerstanden van de aangegeven waarde te bemachtigen zouden falen, kunnen we onze toevlucht zoeken tot weerstandsdraad en daar zelf iets van fabriceren. Omdat dit draad in verschillende 'waarden' verkrijgbaar is, doen we er verstandig aan een zo laag mogelijke waarde te kiezen, bijvoorbeeld 2,5 Ω per meter. Omdat de maximale stroomdoorgang beperkt is tot ongeveer 1,3 A moeten we meerdere stukjes draad parallel schakelen. Vijf stukjes van 24 cm lengte die parallel staan, leveren de juiste waarde op. Als we ze aan de uiteinden omwikkelen met een stevig stukje montagedraad en dat geheel doorsolderen, kunnen we er een soort spoeltje van maken dat zo in de print kan worden geplaatst.
Als de koelvin (ongeïsoleerd) met de kast is doorverbonden, dienen we de eindtransistoren met mica- of teflonplaatjes erop te monteren. Boor de gaatjes waar de draden doorheen moeten zo dicht mogelijk bij de transistorpootjes; korte verbindingen zijn ook hier belangrijk.

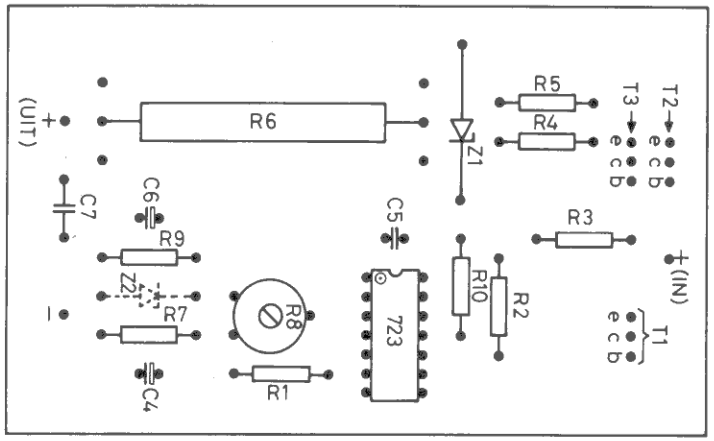
4.2.2 28 volt-voeding, 5 ampère

Vele amateurs, die zelf hun zenders bouwen, zullen trachten met een zo klein mogelijk bedrag aan 'spullen' een zo goed mogelijk resultaat te behalen. Vooral de liefhebbers van oude dumpapparatuur zitten nog wel eens met de handen in het haar, omdat er nogal wat artikelen in deze

categorie rondzwerven die 'vreemde' voedingsspanningen nodig hebben. Vliegtuigapparatuur bijvoorbeeld dient veelal met 28 V-gelijkspanning te worden gevoed, terwijl 115 V-wisselspanning met een frequentie van 400 Hz ook nog mogelijk is. Waar haal je zo'n laatste voedingsspanning in vredesnaam vandaan? De eerste waarde is veel eenvoudiger te realiseren. Bovendien zijn er tegenwoordig een groot aantal typen vermogenstransistoren voor hoge frequenties beschikbaar waarmee we zendereindtrappen kunnen uitrusten, die eveneens bedoeld zijn voor 28 V-werkspanning. Het aardige van dit soort torren is wel, dat het nuttig rendement aanzienlijk hoger ligt dan bij 12 V-typen. Tevens hebben ze meestal minder sturing nodig voor maximaal uitgangsvermogen. En zo zijn er nog wel meer voordelen. Een duidelijk nadeel is dat apparatuur, die met dit soort transistoren is uitgerust niet op de auto-accu kan worden aangesloten, maar voor 'thuis'-gebruik overtreffen de voordelen de nadelen zeer zeker. Je hebt er alleen een passende voeding bij nodig . . .

De 12,6 V-voeding, die we hiervoor hebben besproken, kan op een heel eenvoudige wijze worden aangepast om ons doel te bereiken. We kunnen dezelfde print en de meeste onderdelen zonder meer gebruiken. De enige grote verandering bestaat in hoofdzaak uit een wat forsere transformator, die nu op zijn minst 32 V bij 5 A moet kunnen leveren, terwijl de bruggelijkrichter en de afvlakelco ook moeten worden aangepast. De spanning op de elco kan in onbelaste toestand oplopen tot 44 V en dat heeft ook voor het IC consequenties. De maximale voedingsspanning van het IC mag 40 V bedragen, dus halen we het draadbrugje uit de print en zetten er een weerstand van 470 Ω voor in de plaats. Een zenerdiode van 39 V wordt eveneens gemonteerd. Verder moeten R_7 en R_9 andere waarden hebben. R_7 wordt 5,6 kΩ en R_9 geven we een waarde van 1,8 kΩ. Tot slot moet tantaalelco C_6 een werkspanning van minstens 35 V hebben. Verder verdient het aanbeveling de voeding niet langdurig kort te sluiten, daar anders gevaar bestaat voor de gezondheid van de beide eindtransistoren. Vergis je niet, ze moeten zo'n slordige 160 W in warmte omzetten en daar heb je nogal wat koelplaat voor nodig. Bovendien is de collector-emitterspanning rijkelijk hoog in kortgesloten toestand en wat er dan kan gebeuren is al eerder beschreven. Willen we de zaak toch 'fool-proof' maken, dan kunnen we beter een andere type voor deze vermogenstransistoren kiezen, bijvoorbeeld de 2N3772 of de 40411, die beide tot de categorie 'zware jongens' behoren. Ook is het mogelijk om met toevoeging van een extra weerstand van 0,1 Ω een derde eindtransistor van het type 2N3055 toe te voegen. Uitgebreide koeling is en blijft te allen tijde geboden.
Willen we werkelijk het onderste uit de kan, dan kunnen we met voordeel R_1 een waarde geven van 1,5 kΩ. We bereiken daarmee dat eventuele temperatuurinvloeden op de voedingsspanning tot een minimum worden beperkt. In de tabel van afb. 4.6 zijn de componenten en hun respectievelijke waarden opgenomen voor de diverse uitgangsspanningen.
De print-lay-out is te zien (op ware grootte) in afb. 4.7. Voor de 12 V-versie

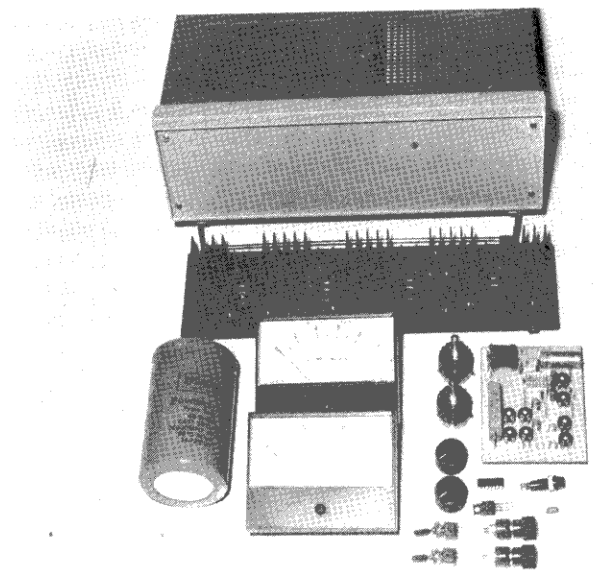
is in afb. 4.8 te zien hoe de print aan de onderdelenzijde is begroeid, terwijl afb. 4.9 de componentenopstelling weergeeft van de 28 V-versie.



Afb. 4.9: Componentenzijde 28 V-versie

4.2.3 Regelbare gestabiliseerde voeding, 0,7 - 30 V, 50 mA - 10 A

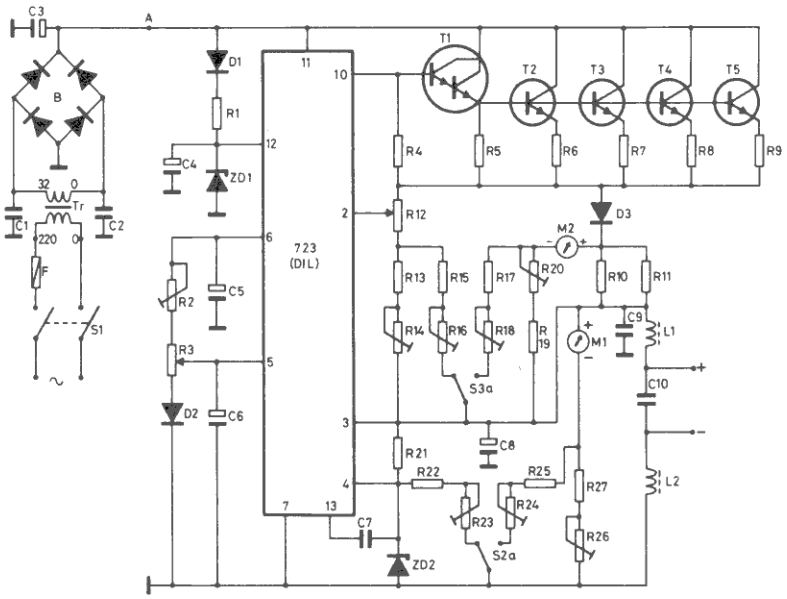
Voor de rasechte knutselaar is een regelbaar voedingsapparaat een onmisbaar hulpmiddel om zijn hobby te beoefenen. Allerlei schakelingen, van een simpel sounderapparaatje tot een ingewikkelde digitale toestand hebben tenslotte voedingsspanning nodig en om nu voor elk circuit een aparte voedingseenheid te bouwen . . . Nee, dan is een universeel apparaat waaruit je elke gewenste spanning kunt betrekken op den duur een veel betere oplossing. Toegegeven, er zit wel een flinke investering in, maar na verloop van enige tijd neemt zo'n regelbare voedingseenheid een even onmisbare plaats in tussen de spullen in de 'shack' als bijvoorbeeld de universeelmeter.
We gaan eerst een wensenlijstje samenstellen, een opsomming van eisen, waaraan zo'n voedingsapparaat in elk geval moet voldoen. Welke spanningen moeten er in het regelbereik vallen? Welke stroom mogen we afnemen? Als we kunnen beschikken over een spanning die regelbaar is van 0 . . . 30 V, kunnen we vrijwel elke schakeling met transistoren en IC's voeden. Omwille van de eenvoud is afgezien van een regelmogelijkheid tot 0 V. In verreweg de meeste gevallen zal een onderste grens van 0,7 V voldoende zijn.
Dan de stroom die het voedingsapparaat moet kunnen leveren. Een waarde van 10 A zou prachtig zijn, omdat we dan alle kanten uit kunnen: accu's re-activeren, vermogensschakelingen voeden enz. Tevens is een instelbare stroombegrenzing een wens die op het verlanglijstje staat, liefst vanaf zo'n 50 mA tot aan de maximale waarde toe. In elk geval moet de zaak kortsluitvast zijn.



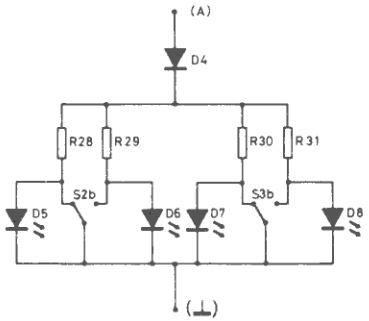
Afb. 4.10: Met deze spullen kunnen we een regelbare gestabiliseerde voeding maken. De transformator en de bruggelijkrichter ontbreken op de foto

Ziezo, we weten genoeg om aan de slag te kunnen gaan. We nemen nu nog als extra eis op dat de onderdelen goed verkrijgbaar moeten zijn. De schakeling van het voedingsapparaat is weer gegroepeerd rond de spanningsstabilisator μA 723. Met dit IC zijn al experimenterende een aantal 'foefjes' uitgehaald die tot gevolg hadden dat de schakeling sterk kon worden vereenvoudigd. Het uiteindelijke circuit is afgebeeld in het schema van afb. 4.11.
De opbouw is dusdanig dat we beschikken over twee elkaar overlappende spanningsbereiken, 0,7 . . . 6 V en 3,5 . . . 30 V welke gekozen kunnen worden met S_2a. Willen we een indicatie aanbrengen op de frontplaat die aangeeft welk bereik is ingeschakeld, dan dienen we een dubbelpolige omschakelaar toe te passen. Verderop zullen we de bedrading daarvan onder de loep nemen. De grap van de enkelpolige omschakeling zit hem in het feit, dat èn het uitgangsspanningsbereik wordt bepaald èn de meterschakeling rond M_1 wordt omgeschakeld.
Op soortgelijke wijze wordt met behulp van S_3a de stroombegrenzing in twee bereiken verdeeld en de stroommeter M_2 op het gewenste bereik ingeschakeld. De feitelijke stroombegrenzingsinstelling geschiedt met R_{12}. De bereiken lopen van 50 mA . . . 1 A en van 50 mA . . . 10 A. Zowel de twee spanningsbereiken als de bijbehorende metercircuits zijn elk afzonderlijk instelbaar. Hetzelfde geldt voor de stroombegrenzingsbereiken en de bijbehorende meterschakelingen. Op de print zijn daartoe een achttal instelpot-

meters aanwezig. De afregeling daarvan moet in een bepaalde volgorde plaatsvinden en vormt een verhaal apart. We zullen aan het slot van dit hoofdstuk bespreken hoe we dit het beste kunnen doen.
Eerst gaan we zien hoe de schakeling werkt. De reeds genoemde schakelaars staan getekend in de standen 30 V en 10 A. We veronderstellen dat de trafo met bruggelijkrichter en afvlakelco geen problemen opleveren. We dienen er voor te zorgen, dat de hoofdschakelaar S_1 een behoorlijke stroom kan verdragen, 3 A is beslist geen overbodige luxe. Op punt A komt in onbelaste toestand een spanning te staan van 41 . . . 44 V. De afvlakelco dient daarop te zijn berekend. We leggen de 'ruwe' gelijkspanning aan punt 11 van het IC, en via de stabilisatieschakeling D_1-R_1-ZD_1 en C_4, aan punt 12.



Afb. 4.11: Regelbare gestabiliseerde voeding met instelbare stroombegrenzing



Afb. 4.11: Indicatieschakeling (vervolg)

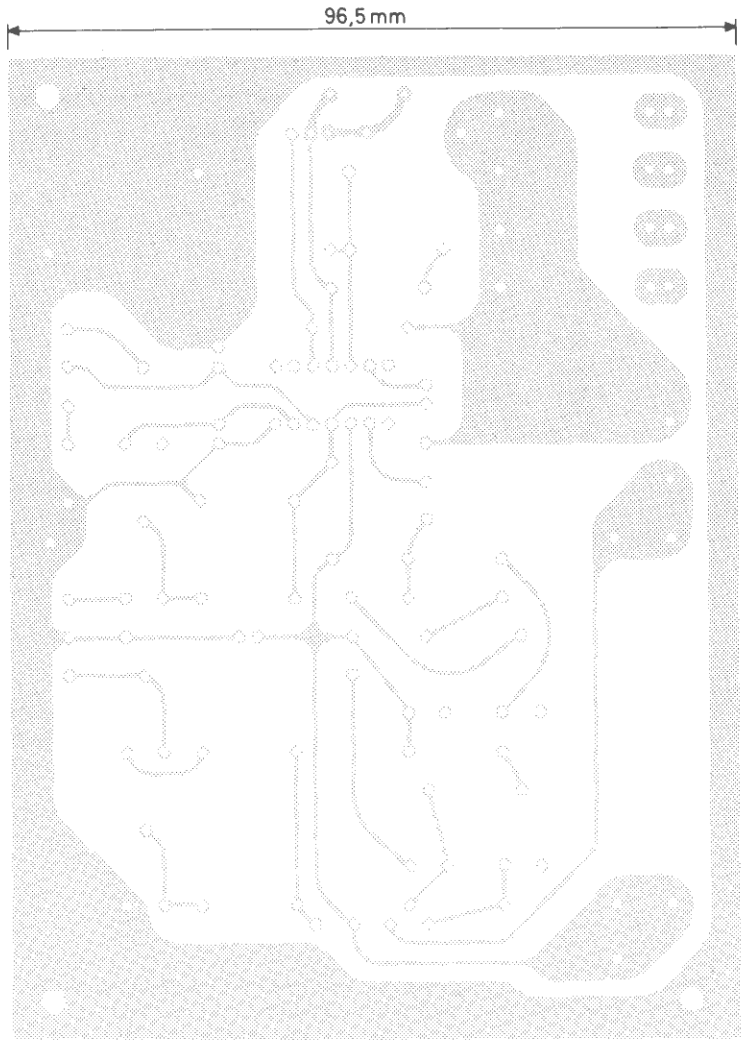
Op punt 6 is nu een referentiespanning van 7,15 V beschikbaar, die met C_5 nog eens extra wordt afgevlakt en van ruis wordt ontdaan. Deze referentiespanning wordt in een regelbare spanningsdeler gestuurd (R_2-R_3-D_2). Op deze wijze krijgt punt 5 van het IC een spanning aangeboden die met R_3 regelbaar is van 0,7 . . . 6 V. Uitgang 10 van de μA 723 stuurt de Darlington T_1 die op zijn beurt de vier eindtransistoren van stuurstroom voorziet. De uitgangsspanning die via de emitterweerstanden R_6 t/m R_9, diode D_3 en weerstanden R_{10} en R_{11} de uitgangsklemmen bereikt, wordt ook nog toegevoerd aan een spanningsdeler. In de getekende stand van schakelaar S_2a bestaat deze spanningsdeler uit R_{21}, R_{22} en R_{23}. Deze is zo gedimensioneerd dat de uitgangsspanning door vijf wordt gedeeld op het knooppunt

Stuklijst bij afb. 4.11

R_1	- 470 Ω, ½ W	C_1	- 3,3 nF ker.	T_1	- BD267A
R_2	- 2k - instelpotm.	C_2	- 3,3 nF ker.	T_2	- 2N3772
R_3	- 5k potm. lineair	C_3	- 20.000 μF/50 V	T_3	- 2N3772
R_4	- 560 Ω	C_4	- 1000 μF/40 V	T_4	- 2N3772
R_5	- 47 Ω	C_5	- 4,7 μF/10 V tantaal	T_5	- 2N3772
R_6	- 0,1 Ω, 1 W dr. gew.	C_6	- 4,7 μF/10 V tantaal		
R_7	- 0,1 Ω, 1 W dr. gew.	C_7	- 4,7 nF ker.	Tr	- transformator prim. 220 V sec. 32 V - 10 A
R_8	- 0,1 Ω, 1 W dr. gew.	C_8	- 10 μF/ 35 V tantaal	F	- zekering 3,15 A traag
R_9	- 0,1 Ω, 1 W dr. gew.	C_9	- 1 μF Siemens MKM	S_1	- mini-schakelaar dubbelpolig aan/uit
R_{10}	- 0,33 Ω, 10 W dr. gew.	C_{10}	- 22 nF ker.	S_2ab	- mini-schakelaar dubbelpolig om
R_{11}	- 0,33 Ω, 10 W dr. gew.			S_3ab	- mini-schakelaar dubbelpolig om
R_{12}	- 470 Ω potm. lineair	D_1	- 1N4007	B	- bruggelijkrichter B60C12000
R_{13}	- 910 Ω metaalfilm	D_2	- 1N4148	IC	- μA723 (DIL)
R_{14}	- 250 Ω instelpotm.	D_3	- Si-diode 12 A		Voor het prototype werd verder nog gebruik gemaakt van koelmateriaal, kast, knoppen en kleinmateriaal
R_{15}	- 150 Ω	D_4	- 1N4007		
R_{16}	- 100 Ω instelpotm	D_5	- LED		
R_{17}	- 390 Ω *	D_6	- LED		
R_{18}	- 100 Ω instelpotm. *	D_7	- LED		
R_{19}	- 1k2 *	D_8	- LED		
R_{20}	- 500 Ω instelpotm.	ZD1	- zenerdiode 39 V-1W		
R_{21}	- 5k-1% metaalfilm	ZD2	- zenerdiode 6,2 V-250mW		
R_{22}	- 820 Ω				
R_{23}	- 500 Ω instelpotm.	M1	- 1 mA paneelmeter		
R_{24}	- 1k instelpotm. *	M2	- 1 mA paneelmeter		
R_{25}	- 2,7k *				
R_{26}	- 10k instelpotm. *	L1	- varkensneusje		
R_{27}	- 22k *	L2	- varkensneusje		
R_{28}	- 3,3k, ½ W				
R_{29}	- 3,3k, ½ W				
R_{30}	- 3,3k, ½ W				
R_{31}	- 3,3k, ½ W				

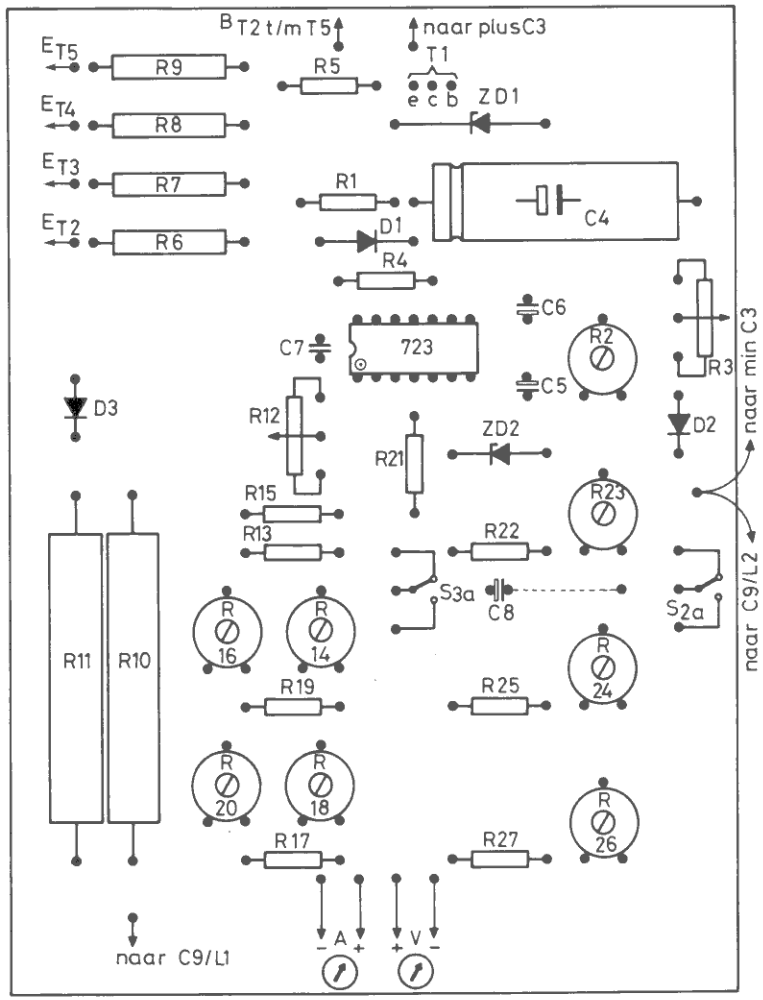
Tenzij anders aangegeven zijn alle weerstanden kooltypen 1/8 watt (tolerantie 5%)
* weerstandswaarden hangen af van de gebruikte paneelmeters (zie tekst)

van R_{21} en R_{22}. Dit deel wordt aan punt 4 van het IC gelegd. De meter die aangeeft welke uitgangsspanning beschikbaar is, wordt ingesteld met de voorschakelweerstanden R_{26} en R_{27}.
Nog even herhalen: de punten 4 en 5 zijn de ingangen van de verschilversterker die in het IC zit. Om een stabiele uitgangsspanning te verkrijgen dienen beide ingangen dezelfde spanning te hebben. Met de deelfactor in het achterhoofd zal duidelijk worden dat de uitgangsspanning vijf maal zo hoog zal zijn als de met R_3 ingestelde referentiespanning. We kunnen regelen van 3,5 tot 30 V. Over de werking van zenerdiode ZD_2, die hier een waarde van



Afb. 4.12: Print lay-out (. . . . . = raster"254")

6,2 V heeft, is al het een en ander gezegd in de bespreking van de 12,6 V-voeding. Bovendien is de zener hier van noodzakelijke aard, omdat de zaak omschakelbaar is. Zetten we schakelaar S_2a in de stand '6 V', dan is het mogelijk dat de volle uitgangsspanning van bijvoorbeeld 30 V via R_{21} op punt 4 van het IC terecht komt en dat zal hoogstwaarschijnlijk resulteren in een bijdrage aan de afvalbak . . . De zener zorgt ervoor dat de spanning niet hoger kan worden dan 6,2 V tijdens het omschakelen. Zodra elco C_8 zover leeg is dat de spanning beneden deze waarde is gedaald, spert de zener weer en doet alsof hij niet aanwezig is.



Afb. 4.13: Componentenzijde

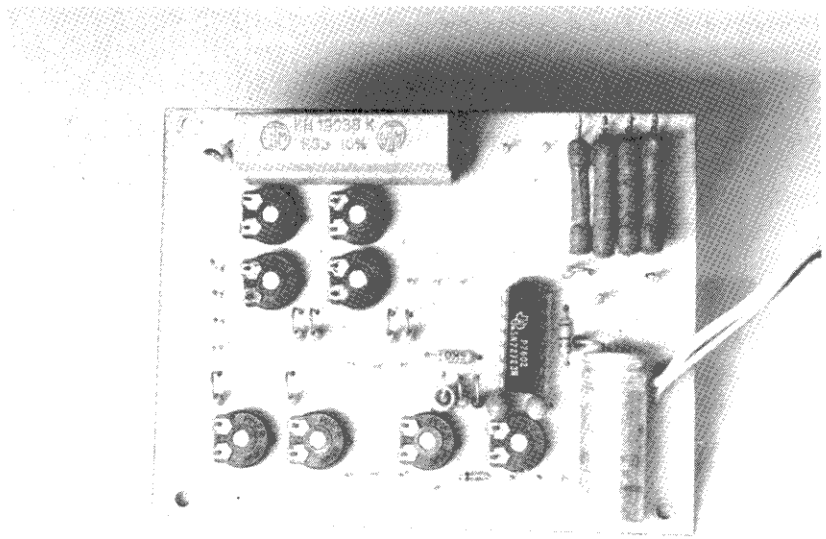
Wat gebeurt er nu als we de schakelaar in de stand '6 V' zetten? De uitgangsspanning bereikt via R_{21} in zijn geheel ingang 4 van het IC. De werking is nu zodanig dat de uitgangsspanning gelijk is aan de met R_3 ingestelde waarde.
Aan de meterschakeling R_{26}-R_{27} wordt nu de combinatie R_{24}-R_{25} parallel geschakeld. Het totaal aan voorschakelweerstanden heeft nu een dusdanige waarde dat de meter een volle-schaalwaarde van 6 V heeft. De uitgangsspanning wordt, vóór deze aan de klemmen wordt toegevoerd, nog eens voor HF-instraling ontkoppeld door middel van C_9-L_1-L_2-C_{10}. Deze componenten dienen op zo kort mogelijke afstand van de aansluitklemmen te worden gemonteerd.

Dan gaan we nu de stroombegrenzing eens onder het vergrootglas nemen. Alles draait om de serieschakeling D_3-R_{10}-R_{11}. Als we het schema goed bekijken, zien we dat deze combinatie doorlopen wordt door de totale uitgangsstroom plus de stroom die aan de voltmeterschakeling wordt geleverd plus nog de stroom die door spanningsdeler R_{21}-R_{22}-R_{23} wordt opgenomen in de stand '6 V'. Nu zijn deze laatste twee slechts een fractie van de totale stroom. We mogen ze met een gerust hart buiten beschouwing laten. De uitgangsstroom dus . . . . Laten we eens aannemen dat er 2 A wordt afgenomen, en dat schakelaar S_3a in de getekende stand staat. Voor het gemak zetten we in gedachten R_{12} in de bovenste stand, dus met de loper tegen de lijn met emitterweerstanden aan.
Zodra er nu stroom wordt afgenomen, moet deze vanaf de emitterlijn de diode en de parallelgeschakelde weerstanden passeren. De diode zorgt voor een vaste spanningsval van 0,7 V, de weerstanden tellen daarbij een stroomsterkte-afhankelijke spanning op. Bij 2 A is dat ongeveer 300 mV. Er zal dus een totale spanning van ruwweg 1 V ontstaan over de serieschakeling van potmeter R_{12} en de combinatie R_{13}-R_{14}-R_{15}-R_{16}. Deze spanning is méér dan genoeg om de stroombegrenzing van het IC in werking te laten treden. Tussen punt 2 en punt 3 van het IC is immers maar 0,7 V nodig om dit te laten geschieden. Draaien we R_{12} nu zover naar beneden dat tussen de loper en punt 3 van de μA 723 iets minder dan 0,7 V staat, dan zal de schakeling keurig zijn werk verrichten en 2 A afleveren. Als we 10 A willen afnemen met de potmeter in de 'onderste stand' zal over de combinatie R_{13}-R_{14}-R_{15}-R_{16} weer 0,7 V moeten staan, de resterende 1,5 V wordt door R_{12} zelf weggewerkt. Met enig rekenwerk en de wet van Ohm in het achterhoofd is de waarde van de weerstandcombinatie te bepalen.
Hoe meten we nu de uitgangsstroom? Héél eenvoudig: door de spanningsval te meten over R_{10}-R_{11}. De afgenomen stroom doorloopt deze weerstanden en meter M_2 vormt met R_{19} en R_{20} een voltmeterschakeling die de spanning over de parallelgeschakelde weerstanden meet. Dat er, behalve de uitgangsstroom, ook nog een paar mA extra naar de meterschakeling van M_1 en de spanningsdeler R_{21}-R_{22}-R_{23} loopt, is nauwelijks van invloed.
Nu zetten we schakelaar S_3a in de stand '1 A'. Het gevolg daarvan is dat de stroombegrenzingspotmeter een hoogohmige serieweerstand krijgt. Alleen

R_{13} en R_{14} staan nu nog ingeschakeld en daarmee wordt het regelbereik van R_{12} aanzienlijk beperkt. Tevens worden door het omzetten van S_3a twee weerstanden, R_{17} en R_{18} parallel gezet aan de combinatie R_{19}-R_{20}. Hetgeen resulteert in een gevoeligheid van 150 mV volle schaaluitslag van meter M_2. Als we een stroom van 1 A afnemen, zal er over de beide 'meet'-weerstanden R_{10} en R_{11} eenzelfde spanning ontstaan. We behoeven slechts de schaalverdeling aan te passen.
In het prototype werd gebruik gemaakt van vrij dure meetinstrumenten. Voor de voltmeter werd een type toegepast met een schaalverdeling tot 30 V met een onderverdeling van 1 V per schaalstreepje. De voorschakelweerstand werd eruit gesloopt (27 kΩ), de inwendige weerstand van de draaispoel bedroeg 3000 Ω en het systeem had 1 mA nodig voor volle schaalaanwijzing. Na enig rekenwerk kon dus worden vastgesteld welke waarden dienen te worden toegepast voor de weerstanden R_{24} t/m R_{27}. Dat was dat . . . . Tenslotte werd de schaal uitgebreid met een verdeling van 0 . . . 6 V, een en ander met behulp van de bekende 'wrijf-lettertjes'. De stroommeter was oorspronkelijk een 1 mA-type met een inwendige weerstand van 100 Ω. Voor de genoemde 10 A-aanwijzing was een volle-schaalwaarde van 1,5 V nodig, de waarde van R_{19}-R_{20} was snel uitgerekend. Bij een doorgangsstroom van 1 A werd de zaak via parallelschakeling van R_{17}-R_{18} op 150 mV volle schaal afgeregeld. Ook hier werd weer gebruik gemaakt van wrijfletters en -cijfers om de schaal aan te passen.

Net als bij de twee voedingsapparaten die we hiervoor hebben besproken, vormen de weerstanden rondom de eindtransistoren alleen maar een instelcircuit. R_6 t/m R_9 verdelen de stroom evenredig over de vier 'dikke' torren. Dan moeten we nog even aandacht besteden aan het indicatiecircuit dat aangeeft welk stroom- of spanningsbereik staat ingeschakeld. De schakeling, zoals die getekend is, kan zowel op de trafowikkeling worden aangesloten, als van punt A naar massa.
Omdat we een extra diode, D_4 in het schema, hebben opgenomen, kan de zaak op gelijk- of wisselspanning worden aangesloten. Het is maar nèt wat we het gemakkelijkst vinden. In het proto-type werden miniatuur-tumblers toegepast voor de omschakeling, kortsluiting van de niet gebruikte LED's was de eenvoudigste oplossing. Omdat de gebruikte trafo in dit geval over een aantal aftakkingen op de secundaire beschikte, werd de zaak op twee 'taps', waar 6 V tussen stond, aangesloten. De voorschakelweerstanden in serie met de LED's konden daardoor laagohmig en van het subminiatuurtype zijn. De aangegeven waarden voor R_{28} t/m R_{31} gelden voor de eerder vermelde aansluitmogelijkheden.
Tot besluit zal de voeding afgeregeld moeten worden. Hoe we dat doen, gaan we nu bespreken. Eerst een waarschuwing vooraf. Zorg voor een rustig plekje, en neem er de tijd voor. Als we alles hebben aangesloten en nog eens gecontroleerd op soldeer-'spetters' en juiste verbindingen kunnen we beginnen. Allereerst gaan we weer iets loshalen! Jawel, we onderbreken de verbinding tussen de 'ruwe' gelijkspanning en de rest van ons apparaat bij

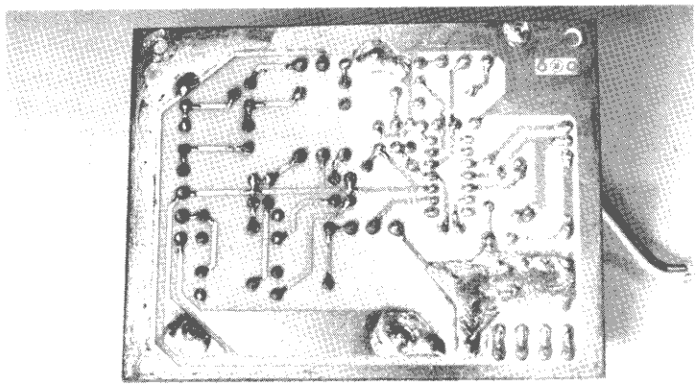
punt 'A'. We zetten daar zolang een zekering van een paar honderd milliampère tussen, een weerstandje van 10 Ω, ½ W mag ook. Nog éven geduld; eerst draaien we alle instelpotmeters op de print linksom. De twee 'hoofd'-potmeters zetten we op half en de bereik-schakelaars op 6 V resp. 1 A. We laten de uitgangsklemmen **open**. Nu halen we de universeelmeter te voorschijn en sluiten de minklem van de voeding aan op het zwarte meetsnoer. De rode meetpen houden we 'in de aanslag'. Nu is het grote moment gekomen, de netspanning kan worden ingeschakeld . . . We houden goed in de gaten wat de voltmeter op ons voedingsapparaat gaat doen, hij mag wèl uitslaan, maar niet tot in de rechterhoek. Is dàt in orde dan kunnen we beginnen. We starten met instelpotmeter R_2. De rode meetpen van de universeelmeter prikken we op de verbinding tussen R_2 en R_3. We regelen R_2 zover op dat de universeelmeter 6 V aanwijst. Draaien we nu voorzichtig aan R_3 dan mag de universeelmeteraanwijzing niet veranderen. De voltmeter op het voedingsapparaat moet wel reageren. We zetten de rode meetpen nu op de plusklem van de voeding en kijken welke spanning daar aanwezig is.
Als alles in orde is, moeten we de uitgangsspanning met behulp van R_3 kunnen variëren tussen 0,7 V en 6 V. We kiezen nu met de universeelmeter nog steeds op de uitgangsklemmen een hoger spanningsbereik, bijvoorbeeld 50 V. Dan zetten we S_2a in de stand '30 V'. We bekommeren ons nu nog niet om de aanwijzing van meter M_1, dat komt straks wel in orde. Als de schakelaar omgezet is, zal de uitgangsspanning oplopen. Met behulp van R_{23} wordt de uitgangsspanning bijgeregeld tot precies 30 V bij geheel rechtsom gedraaide R_3. Zodra dit is gebeurd, kunnen we met R_{26} de meteraanwijzing vam M_1 op volle schaal brengen. Vervolgens schakelen we weer terug naar het '6 V'-bereik en stellen R_{24} in op volle schaaluitslag van M_1. Daarmee is de instelprocedure van de spanningsafdeling voltooid. We kunnen de zekering (of het weerstandje) bij punt A verwijderen en de doorverbinding herstellen. Nog even controleren of de universeelmeter dezelfde aanwijzing geeft als meter M_1 op de voeding, bij verschillende standen van S_2a en R_3; maar dat zal wel kloppen. Nu komt de stroombegrenzing en de instelling daarvan aan de beurt.
Eerst draaien we R_{12} geheel linksom. Schakelaar S_3a in de stand '1 A' en schakelaar S_2a in de stand '6 V'. We stellen de spanning op de uitgangsklemmen in op ongeveer 4 V. We nemen de rode meetpen van de universeelmeter los van de uitgang. Tussen de plusklem van de voeding en de meetpen die we zo-even hebben losgemaakt, wordt een weerstand van 39 Ω geplaatst. Een half-watt-type of zwaarder zal het best doen. Voor we de voeding weer inschakelen, dienen we de universeelmeter wel op het 'stroom'-bereik gezet te hebben, bijvoorbeeld 100 of 300 mA. Als de zaak is aangesloten zal er stroom door de weerstand lopen. De universeelmeter zal deze stroom aanwijzen en ook de stroommeter op het voedingsapparaat, M_2, zal een zekere uitslag vertonen. Vermoedelijk zal de spanningsmeter iets terugvallen en op ongeveer 2 V blijven hangen. Dàt is een teken dat de stroombegrenzing in werking treedt en dat we met een gerust hart aan de verdere afregeling kunnen beginnen.



Afb. 4.14: De print van het prototype

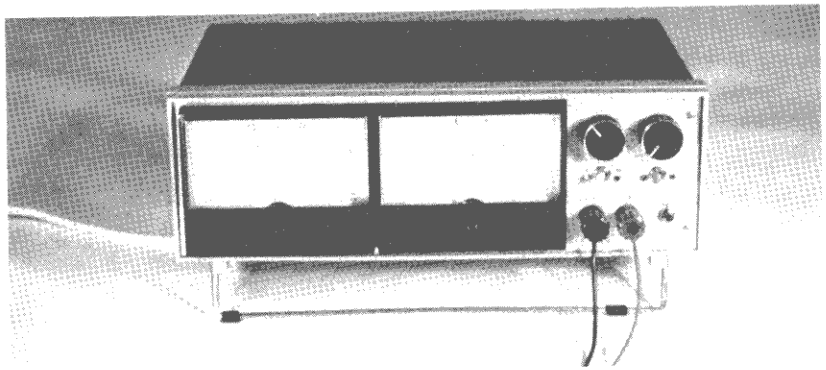
We sluiten nu de universeelmeter, die op het **hoogste** stroombereik wordt ingesteld, direct aan op de uitgangsklemmen. We zien dat de stroommeter op de voeding weer even ver uitslaat als dat het geval was met de 39 Ω weerstand in serie. De spanningsmeter zal vrijwel geheel naar nul terugvallen. De universeelmeter zal uitslaan tot enkele tientallen milli-ampères en nu kunnen we **voorzichtig** gaan draaien aan R_{12}. Zowel de universeelmeter als de stroommeter op de voeding zullen langzaam oplopen. Het hangt van de gebruikte universeelmeter af hoe hoog we kunnen komen. De meeste redelijke meters halen wel 1 A. Halen we dit met onze meter niet, dan moeten we voorlopig maar zo hoog mogelijk gaan en dan stoppen. Na enige tijd moeten we controleren hoe het gesteld is met de temperatuur van de koelvinnen. Die mag beslist niet te hoog worden: hand-warm, ongeveer 35 . . . 40°C, dan is de boel in orde. Bij een lagere stroom dan de vermelde 1 A zal de koelvin met de vier eindtransistoren evenredig minder opwarmen. We draaien nu R_{12} terug naar de minimumstand en zetten de schakelaar om in de stand '10 A'. Vergeleken met de andere stand van deze schakelaar mag er geen merkbaar verschil in de minimumstroom optreden die wordt aangewezen door de universeelmeter, wèl zal de stroommeter M_2 terugvallen. Nu gaan we R_{12} weer opdraaien tot de maximale waarde die de universeelmeter kan aangeven. De instelling van R_{12} zal beduidend minder 'hoog' zijn dan dat eerder het geval was. Nu kunnen we met behulp van R_{20} de meteraflezing van M_2 in overeenstemming brengen met die van de universeelmeter. Het zal duidelijk zijn, dat de nauwkeurigheid van M_2 nauw

samenhangt met de maximale waarde van onze universeelmeter. Kunnen we bijvoorbeeld tot 10 A gaan, dan is de aanwijzing over het gehele bereik aanzienlijk nauwkeuriger dan dat we ergens in het begin van de meterschaal moeten 'gelijk-zetten'.
Hebben we R_{20} eenmaal zo goed mogelijk ingesteld dan kunnen we weer terug naar het 1 A-bereik. Schakelaar S_3a wordt omgezet nadat we er eerst voor hebben gezorgd, dat R_{12} is teruggedraaid. We draaien nu R_{12} weer op tot we in de buurt van 1 A-uitgangsstroom zitten en brengen met instelpotmeter R_{18} de schaalaanwijzing van M_2 in overeenstemming met die van de universeelmeter.
De aanwijzing van beide meters op de voedingseenheid is nu in overeenstemming met de werkelijke waarden. Er resteren nu nog twee regelpunten. Het voedingsapparaat is bruikbaar, alleen halen we nog niet de maximale stroom die mogelijk is. Daartoe moeten we R_{14} en R_{16} nog bijregelen. We doen dit als volgt. Eerst halen we de universeelmeter los en draaien R_3 en R_{12} op minimum. We zetten S_2a in de stand '6 V' en S_3a in de stand '1 A'. Vervolgens sluiten we de uitgang kort met een draadbrugje. Nu draaien we R_{12} naar de maximale stand (rechtsom), de wijzer van M_2 zal bij ongeveer 700 mA blijven steken. Daarna regelen we R_{14} op tot M_2 precies 1 A aanwijst. We kunnen desnoods even met de universeelmeter controleren of de zaak nog steeds klopt. Als we de vorige afregeling nauwgezet hebben uitgevoerd zal dat wel meevallen. Vervolgens draaien we R_{12} terug en schakelen over naar het 10 A-bereik. Met het draadbrugje over de uitgangsklemmen handhaven we de kortsluiting en draaien R_{12} weer rechtsom. Ook nu zal de wijzer van M_2 niet het einde van de schaal halen, maar dat kunnen we wèl bereiken door R_{16} bij te regelen.
Aangenomen dat er zich geen moeilijkheden hebben voorgedaan, is ons voedingsapparaat nu geheel voor gebruik gereed. Toch is het nuttig om nog een paar opmerkingen de revue te laten passeren. De in de tabel bij het schema aangegeven waarden van de componenten gelden allemaal voor het



Afb. 4.15: De print met onderdelen van het protoype

proto-type, ze zijn vrijwel allemaal experimenteel vastgesteld. De 'meet'-weerstanden met bijbehorende instelpotmeters zijn berekend op het gebruik van paneelmeters van het gebruikte type. Andere meters met afwijkende eigenschappen zullen een aanpassing vergen voor wat betreft de waarden van de meet-weerstanden. Als we bereid zijn de wet van Ohm weer eens op te poetsen, zullen de rekenpartijen die daarvan het gevolg zijn voor niemand een onneembare hindernis vormen.
We moeten nog even stilstaan bij diode D_3. Dit moet een fors type zijn, dat tenminste 15 A moeiteloos kan verwerken. In het proto-type werd een exemplaar toegepast in metalen huis met schroefbevestiging dat samen met T_1 op een aparte koelplaat in de kast werd gemonteerd. Nu is de ellende met dit soort 'knollen', dat bij kleine stromen de stapspanning over de diode een paar milli-volt lager ligt dan de gewenste 0,7 V. Het gevolg daarvan is dat de stroombegrenzing in de onderste regionen niet geheel stabiel op de gewenste instelling blijft staan en dat beïnvloeding door temperatuurschommeling optreedt. Wanneer de voedingseenheid bijvoorbeeld gedurende lange tijd een forse stroom heeft moeten leveren, en daardoor 'heet' is, zal de stroombegrenzing niet onmiddellijk tot de minimumwaarde kunnen worden teruggeregeld. Véél scheelt het overigens niet, een experiment met een PTC-weerstand van 150 Ω in serie met R_{13}-R_{14} leverde enige verbetering op, maar onderdrukte het verschijnsel niet voldoende. Bovendien bleek de instelling van grote stromen veel lastiger te worden. Even geduld oefenen en de voeding laten afkoelen lijkt in dit geval de eenvoudigste oplossing.
Nog een tip: gebruik voor R_{21}, R_{22}, R_{25} en R_{27} als het even kan metaalfilmweerstanden, dit zal de nauwkeurigheid ten goede komen. Tenslotte dienen we de leidingen die 'stroom' voeren kort en dik te houden, de print geïsoleerd op te stellen en de massaverbindingen van print, elco en dergelijke te laten samenkomen bij de minklem van de uitgang. Daar wordt ook de kast mee doorverbonden. Op de foto van afb. 4.16 zien we hoe de kant-en-klare voedingseenheid er uit kan zien.



Afb. 4.16: De voeding is klaar, zit in de kast en kan worden gebruikt voor allerlei doeleinden