

In de loop der jaren zijn in *Elektuur* al heel wat voedingen gepubliceerd, in alle soorten en maten. Dat is ook niet verwonderlijk als je bedenkt dat bij het experimenteren altijd wel een voeding nodig is. En aangezien de techniek niet stilstaat is het logisch dat *Elektuur* regelmatig nieuwe voedingen publiceert die aangepast zijn aan de nieuwste stand van de elektronica. Een goede labvoeding moet aan enkele eisen voldoen die we eerst eens op een rijtje zullen zetten:

- Een flink vermogen: enkele ampères bij een spanning van minstens 24 V.
- Onder alle omstandigheden stabiel.
- Kortsluitvast, ook over langere tijd.
- Stroombegrenzing kontinu instelbaar.
- Uitgangsspanning regelbaar van nul volt tot maximum.
- Uitgangsspanning en- stroom afleesbaar op meters.
- Sense-ingangen aanwezig (voor het compenseren van lange toevoerleidingen).

De laatste twee punten zijn niet noodzakelijk, maar wel heel gemakkelijk. De overige punten lijken misschien vrij een-

voudig te realiseren, maar om dat alles samen in één ontwerp te verenigen met een bescheiden aantal componenten is bepaald niet eenvoudig. Het hier voorgestelde ontwerp voldoet echter aan alle gestelde eisen en is opgezet met heel gewone "standaard"-onderdelen. De kwaliteiten van de labvoeding zijn zodanig dat deze zeker niet onder doet voor een industriële labvoeding. De schakeling is verder zo opgezet dat ze geschikt is voor een breed spannings- en stroombereik.

Bij deze voeding zijn we uitgegaan van een principe dat meestal in professionele voedingen wordt toegepast en bij hobbyisten waarschijnlijk niet bekend is. Reden in elk geval om aan dat principe eerst de nodige aandacht te besteden.

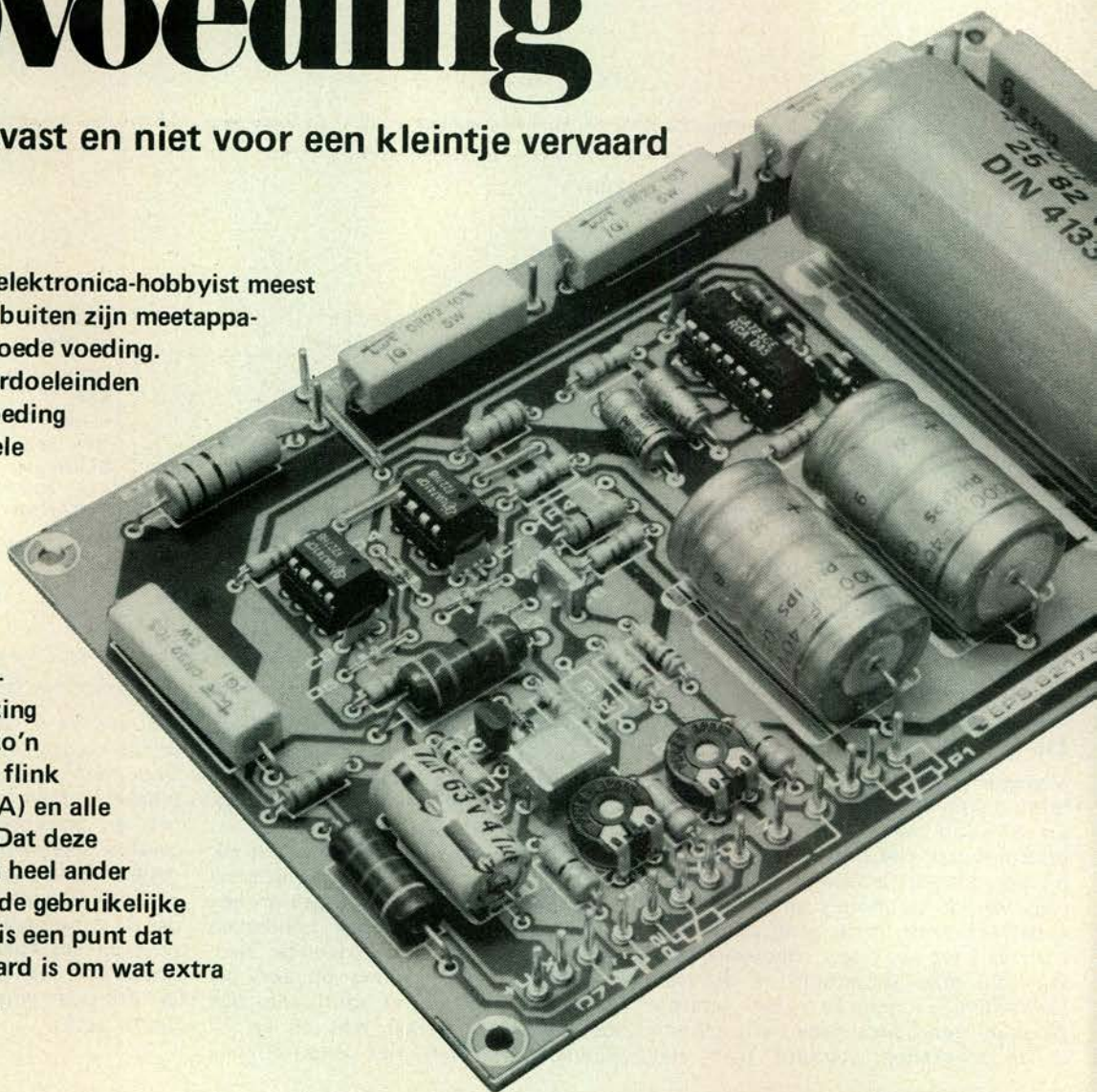
Het principe

Bij spanningsstabilisatie heeft men gewoonlijk de keus uit twee mogelijkheden: seriestabilisatie en parallelstabilisatie. Bij de eerste wordt een regeltransistor in serie met de belasting opgenomen en bij de tweede wordt de

labvoeding

degelijk, rotsvast en niet voor een kleintje vervaard

Wat is het door de elektronica-hobbyist meest gebruikte apparaat buiten zijn meetapparatuur? Juist, een goede voeding. Voor experimenteerdoeleinden is niet alleen een voeding nodig die een stabiele spanning levert, maar ook een voeding die tegen een stootje kan, kortsluitvast is en liefst nog een instelbare stroombegrenzing heeft. Nou, hier is zo'n labvoeding met een flink vermogen (35 V, 3 A) en alle nodige "features". Dat deze voeding volgens een heel ander principe werkt dan de gebruikelijke *Elektuur*voedingen is een punt dat zeker de moeite waard is om wat extra aandacht te krijgen.



transistor parallel aan de belasting geschakeld. Gewoonlijk past men serie-stabilisatie toe, ook in dit geval. Maar dat is niets nieuws. Wel nieuw is het soort regeling dat hier wordt gebruikt. Laten we daartoe eerst eens kijken naar figuur 1a, waar een blokschema van een "normale" regeling is getekend. Bij deze regeling bestaat het hoofdbestanddeel uit een opamp met een vermogensuitgang. Die vermogensuitgang staat in serie met de belasting R_L . Op de niet-inverterende ingang van de opamp is een referentiespanning U_{ref} aangesloten. Een gedeelte van de uitgangsspanning wordt via potmeter P teruggevoerd naar de inverterende ingang van de opamp. De opamp zal de uitgangsspanning nu zo instellen dat het spanningsverschil tussen zijn twee ingangen nul is, dus zo dat de spanning aan de loper van P1 gelijk is aan de referentiespanning. Als de loper van de potmeter dus helemaal omhoog staat is de uitgangsspanning gelijk aan de referentiespanning. Staat de loper in het midden, dan is de uitgangsspanning twee maal zo groot als de referentiespanning, enzovoorts. Het nadeel van dit systeem is dat de stabilisatiefactor afhankelijk is van de stand van de potmeter. Afwijkingen in de uitgangsspanning worden namelijk eerst verzwakt voordat ze worden teruggevoerd naar de ingang van de opamp. Eventuele ruis van de referentiespanning wordt ook nog versterkt afhankelijk van de potmeterstand.

Verder kan men de uitgangsspanning niet lager instellen dan de referentiespanning en heeft de spanningsinstelling met de potmeter geen lineair verloop. Figuur 1b laat een serie-

stabilisatie van een afwijkende opzet zien. De opamp is hier als éénmaal-verserker geschakeld. Een potmeter is aangesloten op een referentiespanning, terwijl de loper van de potmeter is aangesloten op de niet-inverterende ingang. De uitgangsspanning is nu gelijk aan de spanning op de loper van de potmeter. Bij dit concept kan de uitgangsspanning worden gevarieerd van nul tot de referentiespanning (voor dat tot nul regelen is dan wel een negatieve hulpspanning nodig voor de voeding van de opamp). De stabilisatiefactor is bij elke instelling van de potmeter gelijk en de ruis van de referentiespanning wordt bij geen enkele potmeterstand versterkt, maar juist verzwakt

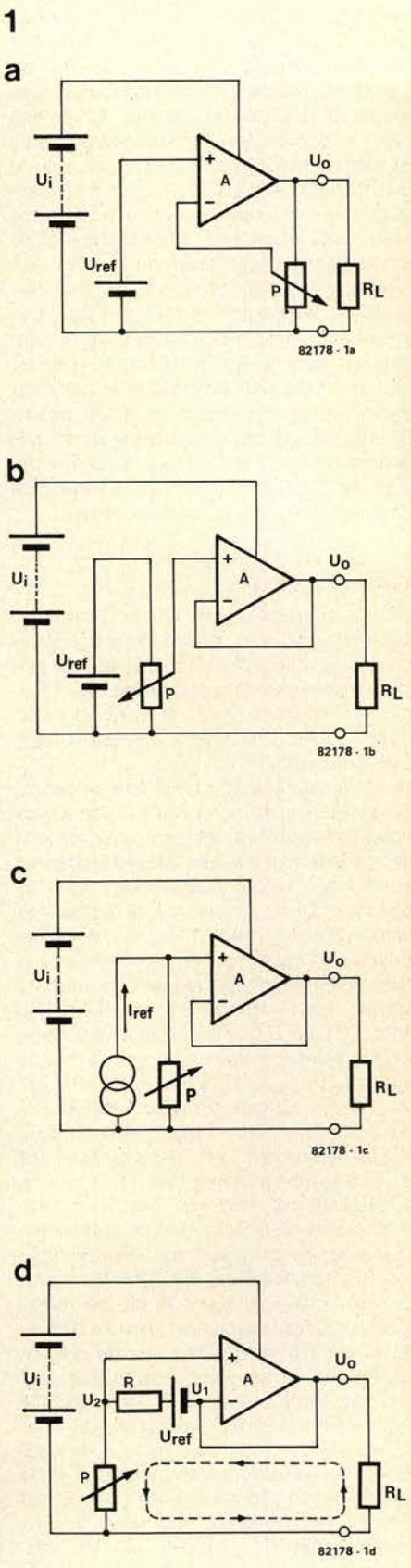
bij lagere uitgangsspanningen. De maximale uitgangsspanning is hier echter gelijk aan de referentiespanning.

Het schema van figuur 1c laat hetzelfde principe zien als dat van 1b, alleen met dat verschil dat hier de referentiespanning is vervangen door een referentiestroom. De stroom door P veroorzaakt een spanning die ook aan de uitgang verschijnt. Dat heeft het voordeel dat we niet meer vastzitten aan de grootte van de referentiespanning, terwijl de goede eigenschappen verder behouden blijven.

Tenslotte komen we bij figuur 1d. Dit schema doet in feite precies hetzelfde als dat van 1c, alleen is hier de stroombron vervangen door een spanningsbron U_{ref} met een weerstand R. Dat is op zich niets bijzonders, maar wel bijzonder is de plaats waar deze in het schema zijn opgenomen. In principe kan men namelijk een stroombron nabootsen door een hoogohmige weerstand in serie met een spanningsbron te plaatsen. Maar zo'n stroombron werkt alleen maar goed als de belastingsweerstand (in dit geval de potmeter) vrij klein is ten opzichte van de weerstand R. In de praktijk is zo iets moeilijk te verwezenlijken, dus daarom is gezocht naar een andere oplossing. Zoals we al gezien hebben streeft de opamp altijd naar een spanningsverschil van nul volt tussen zijn ingangen. Hij doet dat door het regelen van de uitgangsspanning, aangezien de uitgang is doorverbonden met de inverterende ingang. Dat betekent dat de uitgangsspanning altijd gelijk is aan de spanning op de niet-inverterende ingang. De serieschakeling van referentiespanning en weerstand R is nu tussen de twee ingangen van de opamp geplaatst, waardoor het volgende gebeurt. De ingangen van de opamp zijn zeer hoogohmig, zodat deze praktisch geen stroom kunnen opnemen. De spanningsbron kan in dat geval alleen maar stroom leveren in de kring die in het schema met een gestippelde lijn is aangegeven. Aangezien $U_1 = U_2$ (daar zorgt de opamp voor) is de geleverde stroom altijd konstant, onafhankelijk van de instelling van P en de grootte van de belastingsweerstand. De geleverde stroom is U_{ref}/R . Door deze stroom ontstaat een spanning over de potmeter die door de opamp ook aan de uitgang wordt ingesteld, waarbij de referentiestroom door de belasting wordt gecompenseerd. Het resultaat: een schakeling die alle al vermelde voordelen bezit ten opzichte van de konventionele opzet. Doordat de spanning over de referentiestroombron konstant is (namelijk nul volt), kan de referentiestroombron op de beschreven wijze eenvoudig worden gemaakt met behulp van een referentiespanningsbron en een weerstand.

Het blokschema

In figuur 2 is een blokschema afgebeeld dat wat meer de opzet van de schakeling benadert. De vermogens-opamp bestaat nu uit een gewone opamp A1 met



Figuur 1. De tekeningen tonen verschillende mogelijkheden voor seriespanningsstabilisatie. Figuur 1a geeft de gewoonlijk toegepaste regeling. Figuur 1b toont een principieel andere opzet die in figuur 1c en 1d verder is uitgewerkt. De voeding voor de opamp is voor de duidelijkheid niet aangegeven.

daarachter geschakeld een vermogens-transistor T. De stroombron, bestaande uit U_{ref} en R, en de potmeter voor het instellen van de spanning (P1) zijn op dezelfde manier aangesloten als in figuur 1d is getekend. Verder is hier nog een stroombegrenzing toegevoegd die is opgebouwd rond opamp A2. In de emitterleiding van transistor T is een weerstand R_S opgenomen. De spanning over deze weerstand is evenredig met de door de voeding geleverde stroom. A2 vergelijkt de spanning over R_S met een met P2 ingestelde gelijkspanning. Die spanning wordt ook afgeleid uit de referentiespanning. Als de spanning over R_S groter wordt dan de ingestelde spanning trekt de opamp zoveel basisstroom van T weg dat de uitgangsstroom wordt begrensd op de met P2 ingestelde waarde. Een LED bij A2 geeft aan wanneer de stroombegrenzing in werking treedt.

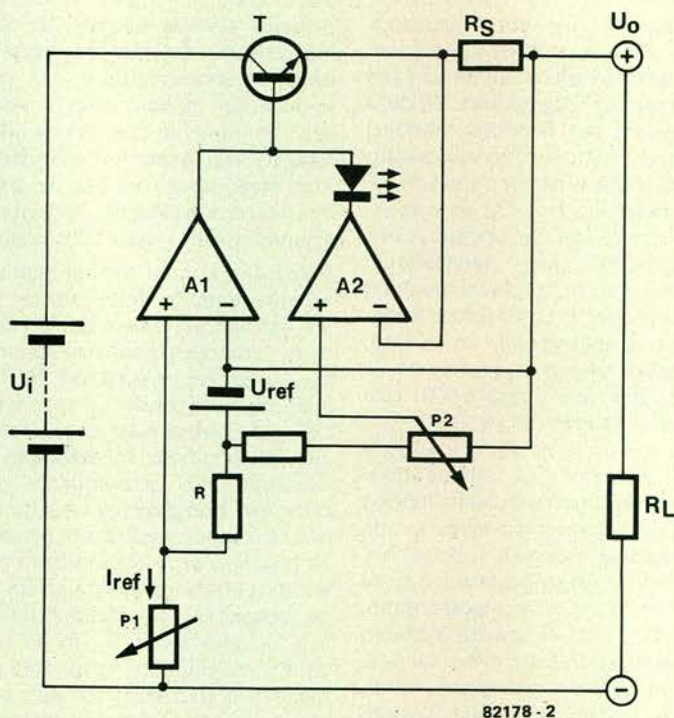
De schakeling

Na de theorie kunnen we nu eens naar het echte schema gaan kijken dat in figuur 3 is afgedrukt. Dat ziet er wel een stuk ingewikkelder uit dan het blokschema van daarnet, maar geen nood, met enige toelichting wordt de samenhang snel duidelijk.

In de schakeling zijn twee aparte, geheel gescheiden voedingen nodig: een zware voeding voor het leveren van het uitgangsvermogen en een kleinere voeding voor de referentiespanning en de opamps. De kleine voeding bestaat uit een trafootje met twee 12 V-wikkelingen (of twee aparte, *van de rest geheel gescheiden* wikkelingen op de grote trafo), een brugcel B1 en de afval-elko's C1 en C2. De referentiespanning wordt geleverd door een geïntegreerde spanningsregelaar 723 (IC1). Dit IC bevat een temperatuurgecompenseerde zenerdiode met eigen stroombron, buffer-versterker en uitgangstransistor met stroombegrenzing. Het IC is hier zo geschakeld dat het een referentiespanning levert van 7,15 V. Die referentiespanning gaat naar de weerstanden R4/R5, R15/R16 en R9 (R4/R5 komt overeen met weerstand R uit het blokschema). Het knooppunt van R4/R5 en P1 is via R6 verbonden met de niet-inverterende ingang van opamp IC2 (A1 uit het blokschema van figuur 2). De andere kant van de potmeter gaat naar de min-lijn van de uitgang van de voeding. De inverterende ingang van de opamp is via R8 aangesloten op de nul van de hulpvoeding (die weer is verbonden met de plus-lijn van de voedingsuitgang via weerstand R23). R6, R8, D2 en D3 zijn toegevoegd als beveiliging voor de ingangen van de opamp (als bijvoorbeeld een hoge spanning op de uitgangen van de voeding wordt gezet).

De stroom voor het sturen van het vermogensgedeelte wordt ook uit de referentiespanning betrokken. De basis van T2 is namelijk via R9 aangesloten op de 7,15 V-uitgangsspanning van IC1. IC2

2



Figuur 2. Het blokschema van de labvoeding. In feite gaat het om hetzelfde schema als dat uit figuur 1d, alleen is hier nog een stroombegrenzing toegevoegd.

regelt nu de uitgangsspanning door een gedeelte van de basisstroom voor T2 "weg te trekken" via D4. T2 stuurt een stel parallel geschakelde vermogenstransistoren van het type 2N3055 (T3, T4 en T5). Het aantal parallel geschakelde transistoren kan worden aangepast aan de maximale stroom die de voeding moet kunnen leveren. De getoonde opzet geldt voor een 3 A-voeding. Bij elke transistor is een weerstand in de emitterlijn opgenomen om een goede stroomverdeling tussen de transistoren te bewerkstelligen. Daarna volgt weerstand R21, waarna we weer bij de uitgang van de voeding zijn.

Die weerstand R21 dient voor het meten van de uitgangsstroom (R_S uit figuur 2). De spanningsval over R21 wordt door opamp IC3 vergeleken met een met P2 ingestelde gelijkspanning. De gelijkspanning wordt via R15/R16 afgeleid van de referentiespanning. De uitgang van IC3 hangt evenals die van IC2 via een diode aan de basis van T2. Als de uitgangsstroom groter wordt dan de met P2 ingestelde waarde trekt de 741 zijn uitgang zo veel omlaag (en daarmee basisstroom voor T2 weg) dat de door de eindtrap geleverde stroom begrensd wordt tot de ingestelde waarde. De schakeling die rond T1 is opgezet zorgt er voor dat de LED D7 oplicht als de stroombegrenzing in werking treedt.

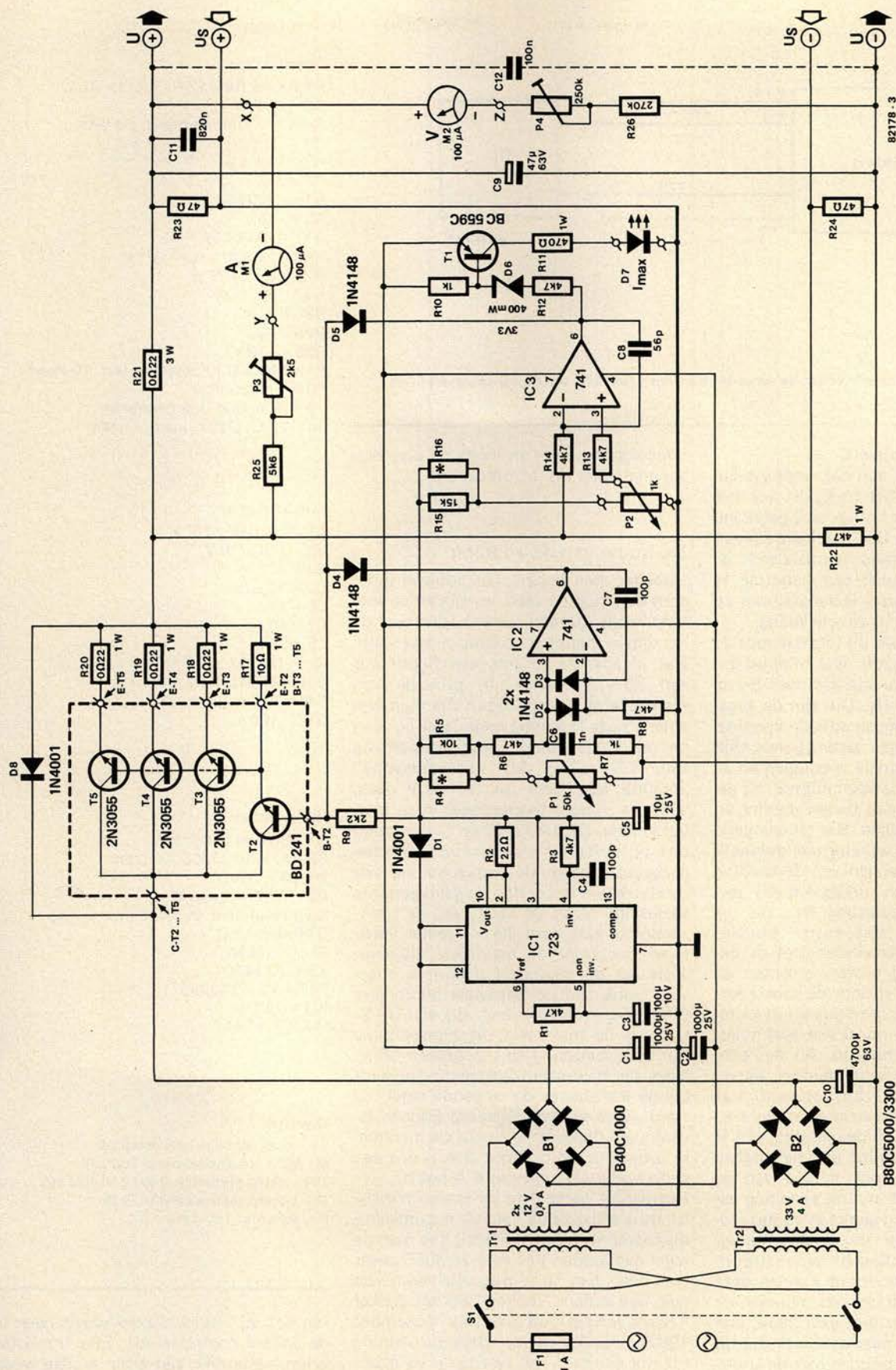
De eindtrap zelf betreft zijn voeding uit een aparte trafo met bruggelijkrichter en elko. Op de uitgang zijn via enkele weerstanden en instelpotjes twee meters aan-

gesloten voor het meten van de uitgangsspanning en de uitgangsstroom. Globaal is het hele schema nu behandeld. Er blijven echter nog enkele punten waar het een en ander over verteld moet worden. Ten eerste is daar elko C3. Gewoonlijk zit op die plaats een elko uitsluitend voor het verminderen van de ruis van de zenerdiode in het IC. De elko heeft hier nog een functie: hij zorgt voor een zogenaamde "soft start up". Na het inschakelen van de voeding hebben de 741's namelijk enige tijd nodig om zich goed in te stellen. Dat zou betekenen dat gedurende die tijd T2 via R9 helemaal wordt opengestuurd en de volle voedingspanning op de uitgang verschijnt. Door die grote elko komt de referentiespanning nu heel langzaam op, zodat er geen gekke dingen kunnen gebeuren bij het inschakelen.

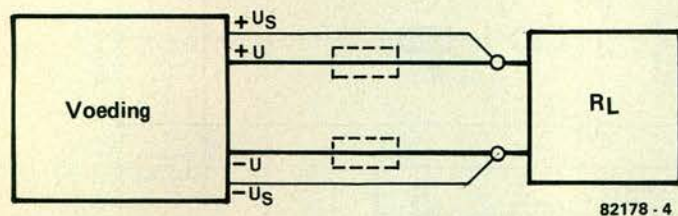
Vervolgens de dioden D1 en D8. Die zorgen er voor dat niets in de voeding stuk kan gaan als men bijvoorbeeld een externe spanning op de voeding aansluit als de voeding zelf is uitgeschakeld (bijvoorbeeld als de voeding als akkulader wordt "misbruikt").

De twee dioden D4 en D5 in de uitgangen van IC2 en IC3 fungeren als een soort diskrete of-poort. Op die manier kan IC2 de uitgangsspanning zelf regelen of IC3 de stroom begrenzen of beide kunnen hun taak tegelijk verrichten.

De combinatie R7/C6 is toegevoegd om het regelsysteem sneller te laten reageren op veranderingen in de uitgangsspanning. C7 en C8 zorgen er voor dat de



Figuur 3. Het schema van de voeding: vrij uitgebreid, maar allemaal wel "gewone" onderdelen. De referentiespanning wordt geleverd door een 723-spanningsregelaar.



Figuur 4. Op deze manier worden de sense-aansluitingen gebruikt om de spanningsval in de kabels te compenseren.

schakeling niet oscilleert.

Voor de stabiliteit van het regelsysteem van de voeding is het nodig dat het hele regelsysteem zoals in figuur 2 getekend enigszins belast is. Dat betekent dat een (kleine) lastweerstand noodzakelijk is. Om de voeding toch een belasting te laten "zien" als niets is aangesloten op de uitgang zit R22 in de schakeling.

Tenslotte komen we bij iets dat voor de meeste Elektuurlezers wel vreemd zal zijn: de twee extra aansluitingen bij de uitgang, $+U_s$ en $-U_s$. Dit zijn de zogenaamde sense-ingangen van de voeding. Zulke sense-ingangen zitten gewoonlijk alleen op professionele voedingen en ze zijn bedoeld om de spanningsval bij gebruik van lange kabels tussen voeding en belasting op te vangen. Het tekeningetje van figuur 4 zal de werking wel duidelijk maken. De U -uitgangen van de voeding worden (liefst met dikke kabels) verbonden met de belasting R_L . De U_s -ingangen worden met aparte (dunne) kabels eveneens verbonden met de belasting. Vooral bij grotere stromen en langere kabels kan er door de kabelweerstand en overgangswaarden in klemmen en kontakten nogal wat spanningsval in de kabels ontstaan. Als de heen- en teruggaande voedingsleiding samen een weerstand van bijvoorbeeld 1Ω hebben en er loopt een stroom van 1 A , dan is de spanning bij de belasting al 1 V lager dan de spanning aan de uitgang van de voeding. Door middel van de sense-kabels wordt nu de spanning direct bij de belasting gemeten en deze informatie gaat naar de regeling terug. Aangezien er praktisch geen stroom door de sense-lijnen loopt kunnen deze rustig van dunne draad zijn. Wil men de sense-ingangen eens niet gebruiken, dan worden (moeten!) deze aansluitingen bij de voeding doorverbonden met de U -uitgangen (dus $+U_s$ met $+U$ en $-U_s$ met $-U$). Mocht men een keertje vergeten de sense-ingangen ergens op aan te sluiten, dan is er nog niets aan de hand: via de weerstanden R23 en R24 krijgen de sense-lijnen dan toch signaal van de

voedingsuitgangen en loopt de uitgangsspanning niet op tot maximum.

De bouw van de voeding

Voordat men begint met bouwen moet men eerst weten welk vermogen de voeding moet kunnen leveren, dus wat de maximale spanning en stroom moet zijn. Het afgebeelde schema van figuur 3 is een $35 \text{ V}/3 \text{ A}$ -versie. In principe kan men elke spanning kiezen die men wil, zolang deze spanning maar lager ligt dan de maximale kollektor-emitterspanning van T2...T5. Bij een "gewone" 2N3055 kan men dus tot 60 V gaan, voor de meeste toepassingen meer dan voldoende. De elko's C9 en C10 moeten ook op de betreffende spanning worden aangepast (neem de werkspanning van de elko's wat hoger dan de gelijkgerichte spanning). Voor de keuze van de trafo-spanning kan men de volgende vuistregel hanteren: de maximale uitgangsspanning bij maximale stroom is ongeveer gelijk aan de nominale secundaire effectieve trafospanning. Bij een 33 V -trafo is de maximale uitgangsspanning bij volle belasting dus ongeveer 35 V . Voor de maximale uitgangsstroom geldt bij de trafokeuze de volgende regel: de trafo moet een wisselstroom kunnen leveren van ongeveer $\sqrt{2}$ maal de maximale uitgangsstroom. Voor 3 A is dus een trafo nodig die ongeveer 4 A levert.

Het aantal parallel te schakelen transistoren is afhankelijk van het maximaal te dissiperen vermogen. Hierbij kan men de regel aanhouden dat elke 2N3055 zeker niet meer dan 50 W mag dissiperen (zie ook het kader "koeling" bij het artikel "zwarte jongen" uit Elektuur september 1982). Aangezien de uitgangsspanning tot nul geregeld kan worden is de maximale dissipatie in de eindtorren ongeveer gelijk aan de gelijkgerichte spanning maal de maximale stroom. Voor een $35 \text{ V}/1 \text{ A}$ -voeding kan men dus volstaan met één 2N3055. Men kan het aantal parallel geschakelde transistoren opvoe-

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1, R3, R6, R8, R12, R13, R14 = $4 \text{ k}\Omega$
 R2 = 22Ω
 R4, R16 = trimweerstand, zie tekst
 R5 = $10 \text{ k}\Omega$
 R7, R10 = $1 \text{ k}\Omega$
 R9 = $2 \text{ k}\Omega$
 R11 = $470 \Omega/1 \text{ W}$
 R15 = $15 \text{ k}\Omega$
 R17 = $10 \Omega/1 \text{ W}$
 R18, R19, R20 = $0,22 \Omega/1 \text{ W}$
 R21 = $0,22 \Omega/3 \text{ W}$
 R22 = $4 \text{ k}\Omega/1 \text{ W}$
 R23, R24 = 47Ω
 R25 = $5 \text{ k}\Omega$
 R26 = $270 \text{ k}\Omega$
 P1 = 50 k (47 k) potmeter (evt. 10-slagen)
 P2 = 1 k potmeter
 P3 = $2 \text{ k}\Omega$ ($2 \text{ k}\Omega$) instelpotmeter
 P4 = 250 k (220 k) instelpotmeter

Kondensatoren:

C1, C2 = $1000 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
 C3 = $100 \mu\text{F}/10 \text{ V}$
 C4 = 100 pF
 C5 = $10 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
 C6 = 1 nF
 C7 = 100 pF
 C8 = 56 pF
 C9 = $47 \mu\text{F}/63 \text{ V}$
 C10 = $4700 \mu\text{F}/63 \text{ V}$
 C11 = 820 nF
 C12 = 100 nF

Halfgeleiders:

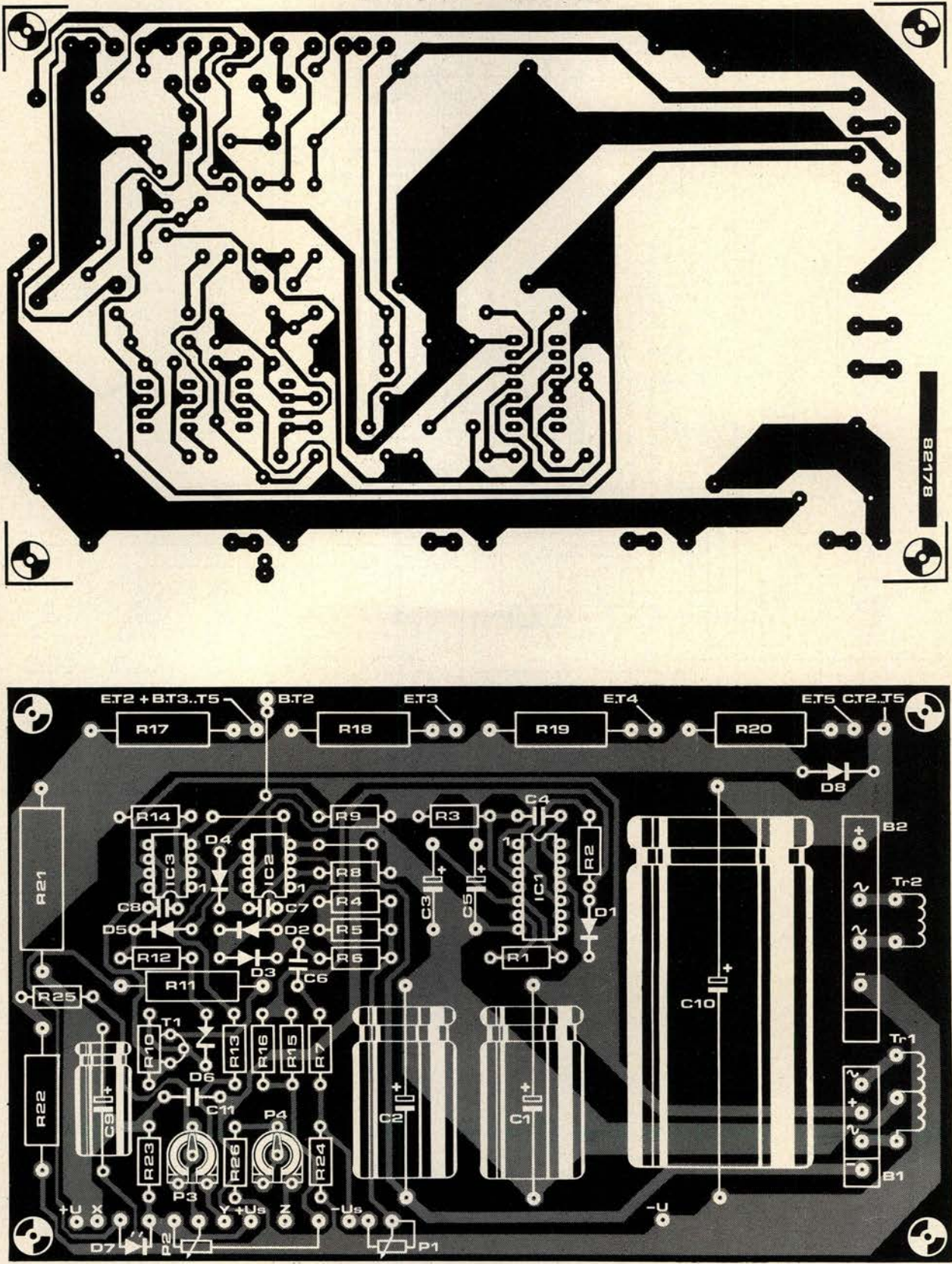
B1 = brugcel B40C1000
 B2 = brugcel B80C5000/3300
 D1, D8 = 1N4001
 D2...D5 = 1N4148
 D6 = zenerdiode $3 \text{ V}/400 \text{ mW}$
 D7 = rode LED
 T1 = BC 559C
 T2 = BD 241
 T3, T4, T5 = 2N3055
 IC1 = 723
 IC2, IC3 = 741

Diversen:

S1 = dubbelpolige netschakelaar
 M1, M2 = draaispoelmeter $100 \mu\text{A}$
 Tr1 = trafo secundair $2 \times 12 \text{ V}/400 \text{ mA}$
 Tr2 = trafo secundair $33 \text{ V}/4 \text{ A}$
 F =zekering 1 A traag

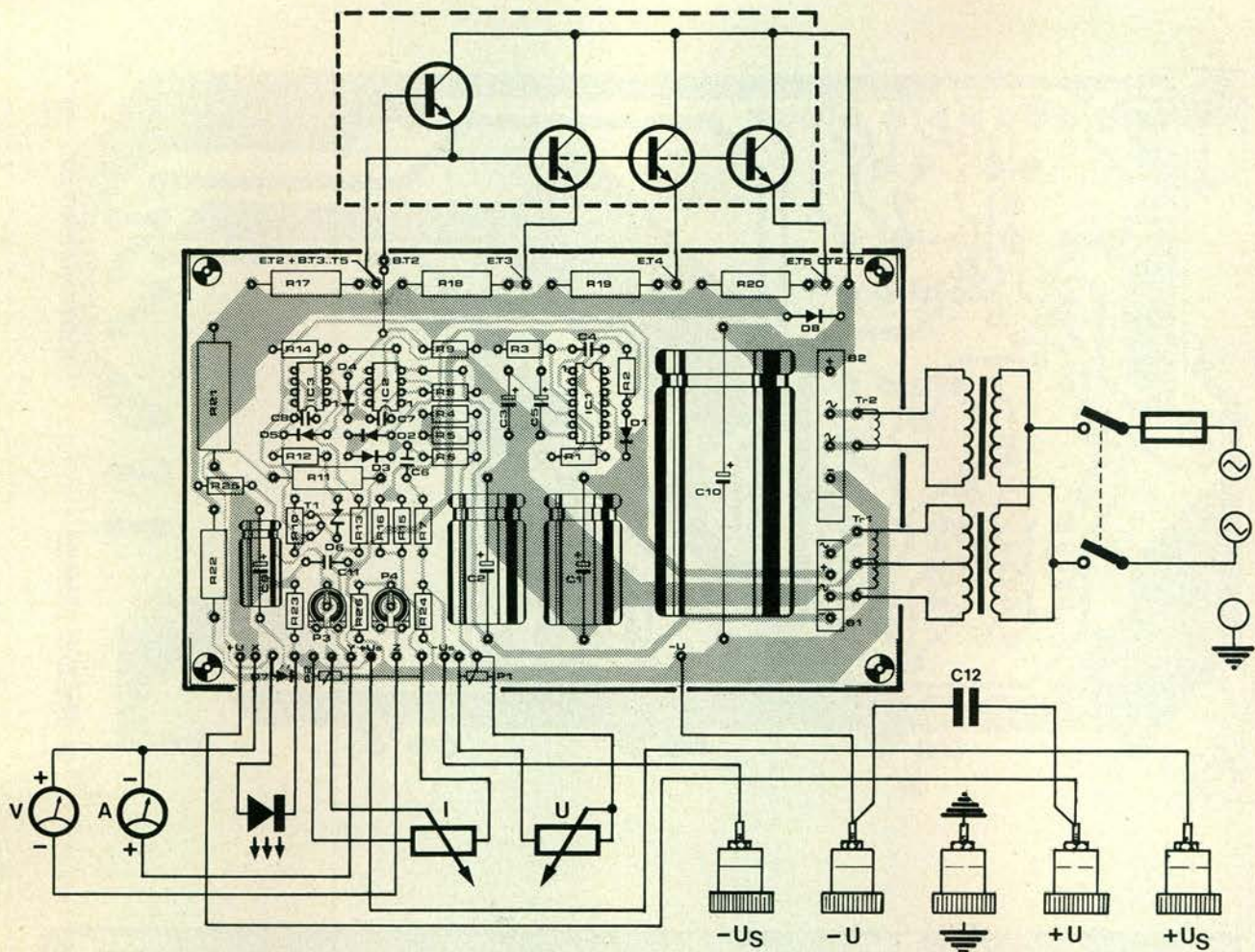
ren tot vijf stuks zonder wijzigingen in de andere componenten. Elke transistor krijgt natuurlijk zijn eigen emitterweerstand.

Na de berekeningen kan men beginnen met bouwen. In figuur 5 is de print voor de labvoeding afgebeeld. Op deze print worden alle componenten gemonteerd met uitzondering van de transistoren



Figuur 5. Lay-out en componentenopstelling van de print voor de labvoeding.

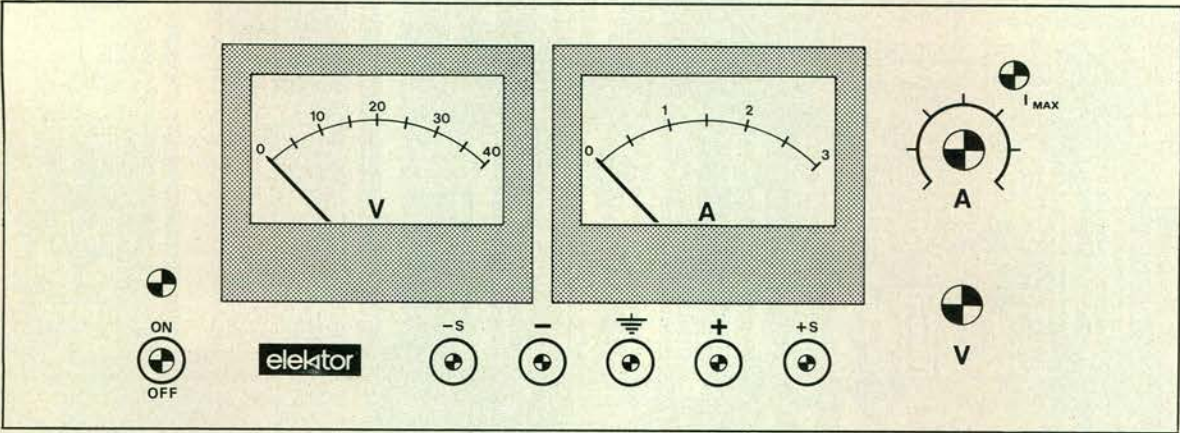
6



82178 - 6

Figuur 6. Het bedradingsschema voor de labvoeding.

7



82178 7

Figuur 7. De frontplaat voor de labvoeding. De frontplaat is gemaakt van een dikke, krasbestendige, zelfklevende kunststoffolie en kan via de EPS besteld worden. U kunt hem zelf op maat maken voor kasten met een hoogte van 10 tot 11 cm en een breedte van 25 tot 30 cm.