# universele elektuurvoeding

Tot nu toe was het gebruikelijk dat bij elke schakeling een voedingsschema werd gegeven. Om de kostenfaktor te drukken waren ze meestal eenvoudig van opzet. Het staat buiten kijf dat de kwaliteit van de voeding vaak van essentiëel belang is voor een goede werking van de schakeling. Om van dit laatste verzekerd te zijn wordt voortaan bij elk apparaat dat een relatief grote stroom trekt, steeds hetzelfde tipe voeding toegepast. De opzet van deze voeding is zodanig, dat met een minimum aan financiele kosten, een maksimum aan kwaliteit wordt verkregen. Behalve als permanente voeding in elk willekeurig apparaat, zijn er ook legio andere toepassingsmogelijkheden, door een handig konnektoraansluitsisteem.

Tj. Venema

## Het blokschema

In figuur 1 is het blokschema van de voeding gegeven. Aan de niet-inverterende ingang van een verschilversterker wordt een referentiespanning aangeboden. De inverterende ingang krijgt zijn stuurspanning van de loper van potmeter $P_1$. Deze potmeter is galvanisch verbonden met de uitgang van de voeding. De uitgangsspanning van de verschilversterker komt via weerstand $R_1$ op de ingang van een buffertrap. Deze trap zorgt ervoor, dat de uitgang van de verschilversterker niet te veel wordt belast. De uitgang van de buffertrap is verbonden met een stuurtrap. De uitgang hiervan ligt aan de ingang van de eindtrap. Deze eindtrap is alleen nodig voor relatief grote vermogens. In de meeste gevallen kan deze eindtrap achterwege blijven. De stuurtrap fungeert dan als eindtrap.

Weerstand $R_2$ is in het uitgangssirkwie van de voeding opgenomen om de stroom te begrenzen. De spanningsval over deze weerstand, die afhankelijk is van de grootte van de uitgangsstroom, verzorgt de informatie voor het stroombegrenzingssirkwie. Als de spanning over $R_2$ een bepaalde waarde heeft overschreden, gaat het stroombegrenzingssirkwie de uitgang van de verschilversterker (achter weerstand $R_1$) belasten. Deze belasting is zó groot, dat de uitgangsspanning van de voeding automatisch daalt tot de waarde van de ingestelde maksimum stroom. Omdat de uitgangsspanningsinformatie wordt verkregen achter $R_2$, heeft deze weerstand geen invloed op de ingestelde uitgangsspanning. Het stroombegrenzingssirkwie werkt zo snel, dat de voeding onder elke omstandigheid kortsluitvast is.

In het blokschema van figuur 1 vervult de verschilversterker de funktie van regel- en korrigerendorgaan. De versterking hiervan is zo groot dat gesteld kan worden dat inverterende- en niet-inverterende ingang steeds hetzelfde spanningsnivo voeren. Dit houdt in, dat op de loper van potmeter $P_1$ een spanningsnivo staat, dat gelijk is aan de grootte van de referentiespanning. Als de uitgangsspanning van de voeding hoger wil worden zal ook, via potmeter $P_1$, de spanning op de inverterende ingang van de verschilversterker willen toenemen. Hierdoor neemt de spanning op de uitgang van deze versterker af. Via de buffer-, stuur- en eindtrap neemt dan ook de uitgangsspanning van de voeding af. Deze afname gaat door, tot de voedingsspanning zo ver is gedaald, dat de loper van potmeter $P_1$ weer op het referentiespanningsnivo staat.

Als de voedingsuitgangsspanning lager wordt dan de ingestelde waarde gebeurt het omgekeerde. In dat geval daalt de spanning op de inverterende ingang van de verschilversterker. Daardoor stijgt de spanning op de uitgang van deze versterker.

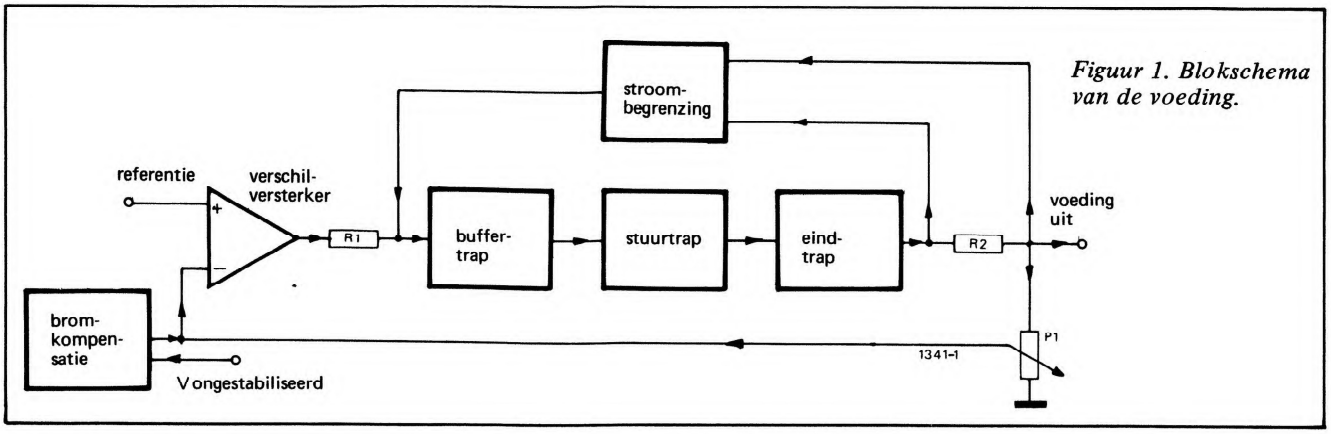
Aan de inverterende ingang van de verschilversterker is tevens een bromkompensatienetwerk verbonden. De kompensatie komt tot stand door de, op de voedingsuitgang aanwezige brom, in tegenfase toe te voeren aan de inverterende ingang van de verschilversterker.

## Het principeschema van de voeding

Figuur 2 geeft het principeschema van de voeding. IC-1 vormt de verschilversterker. Deze IC (een $\mu$A 709) wordt asimmetrisch gevoed. Een goede werking van dit tipe IC is, in de schakeling volgens figuur 2, gegarandeerd tussen 12 V en 36 V.

Zenerdiode $Z_1$ verzorgt de referentiespanning. Via weerstand $R_2$ komt deze spanning op de niet-inverterende ingang van het IC. Weerstand $R_{12}$ en kondensator $C_4$ zorgen voor de ingangsfrekwentiekompensatie van het IC. Kondensator $C_2$ heeft dezelfde funktie voor het uitgangssirkwie van het IC. De uitgangsspanning van het IC (punt 6) gaat via weerstand $R_4$ naar de basis van $T_1$. Transistor $T_1$ is de buffertrap tussen de IC uitgang en transistor $T_2$. $T_1$ en $T_2$ zijn geschakeld als emittervolger. Transistor $T_2$, die als stuurtransistor voor $T_3$ fungeert, kan in veel gevallen als eindtransistor worden benut. Als dit niet mogelijk is moet $T_3$ als eindtransistor worden opgenomen. In figuur 2 staan de aansluitpunten van $T_3$ gestippeld. Dit heeft betrekking op het feit, dat $T_3$ niet op de print wordt aangebracht, vanwege het benodigde (grote) koeloppervlak.

De nummers die in figuur 2 in een cirkel staan getekend hebben betrekking op een korresponderend aansluitpunt op de nog nader te noemen print.




*Figuur 1. Blokschema van de voeding.*

Bij afwezigheid van $T_3$ moeten de omcirkelde punten 2 en 3 worden doorverbonden.

De voedingsuitgangstroom loopt door de weerstanden $R_7$, $R_8$ en $R_9$. Over deze weerstanden is de basis-emitteraansluiting van $T_4$ geschakeld. Transistor $T_4$ zorgt voor de stroombegrenzing. Als de spanning over $R_7$, $R_8$ en $R_9$ groter wordt dan ca. 0,7 V zal $T_4$ gaan geleiden. De kollektor van $T_4$ gaat dan stroom trekken uit het IC via weerstand $R_4$. Hierdoor ontstaat een spanningsval over $R_4$, die tot gevolg heeft dat de basisspanning van $T_1$ daalt. Via $T_1$, $T_2$ en $T_3$ daalt dan ook de voedingsuitgangsspanning. Als $R_8$ en $R_9$ uit figuur 2 waren weggelaten, zou de uitgangsstroom van de voeding zijn begrensd op 0,7 A. Deze stroom veroorzaakt over $R_7$ een spanningsval van 0,7 V. Daarbij gaat de stroombegrenzingstransistor $T_4$ werken.

In de getekende situatie in figuur 2 is de stroombegrenzing ingesteld op 2,1 A.

De voedingsuitgangsspanningsinformatie, die wordt gebruikt voor het sturen van de inverterende IC ingang, wordt verkregen uit de weerstandsdeling $R_{10}$, $P_1$ en $R_{11}$.

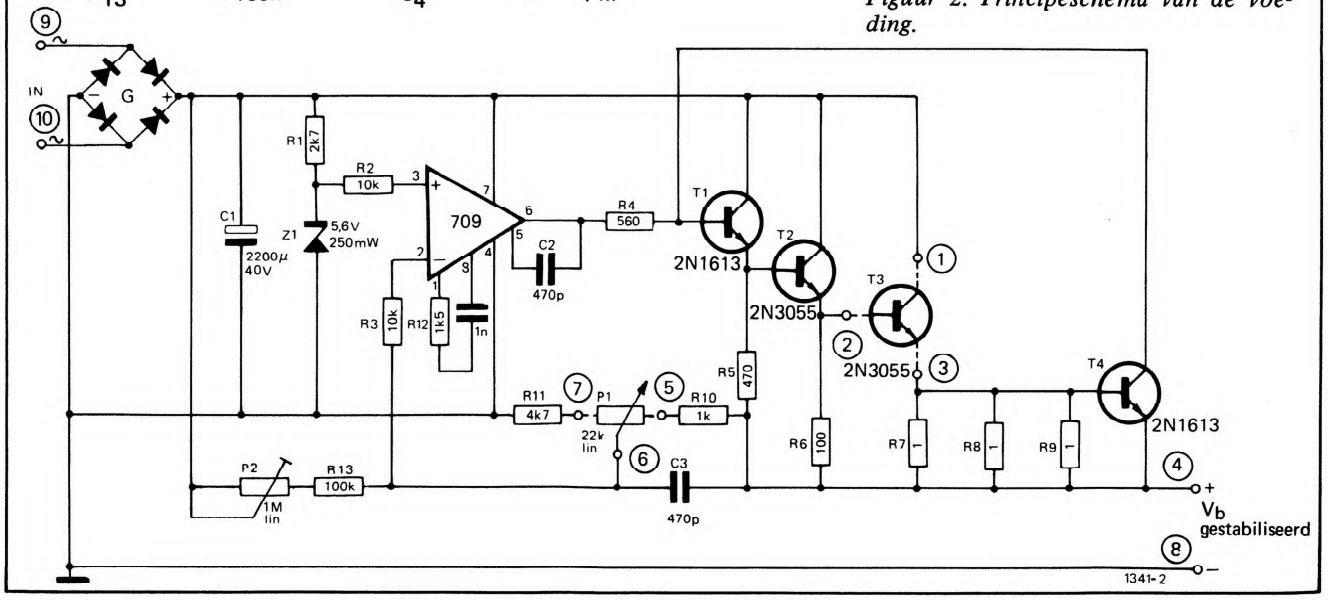
De bromkompensatie wordt vanaf de ongestabiliseerde spanning, via weerstand $R_{13}$ en potmeter $P_2$, op de loper van $P_1$ gestuurd. Via $R_3$ komt deze spanning op de ingang van het IC.

## Het instellen van de uitgangsspanning

De voedingsuitgangspanning kan nooit lager worden dan de waarde van zenerdiode $Z_1$. Omdat 6 V een redelijk minimum is, heeft $Z_1$ een waarde van 5,6 V. De in te stellen uitgangsspanning van de schakeling wordt bepaald door de keten $R_{11}$, $P_1$ en $R_{10}$, in samenwerking met $Z_1$. Zoals de genoemde komponenten zijn gedimensioneerd in figuur 2, is de uitgangsspanning instelbaar (met $P_1$) tussen ca. 5,7 V en 33 V.

| Weerstanden: | | Potmeters: | | Halfgeleiders: | |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | = 2k7 | $P_1$ | = instel 22k (zie tekst) | $T_1$,$T_4$ | = 2N1613, BD137 of BD139 |
| $R_2$,$R_3$ | = 10k | $P_2$ | = instel 1 meg. | $T_2$,$T_3$ | = 2N3055 of BD130(Y) |
| $R_4$ | = 560 Ω | | | $IC_1$ | = μA 709 (TO-5 behuizing of dual in line) |
| $R_5$ | = 470 Ω | | | G | = bruggelijkrichter B40C2200 (zie tekst) |
| $R_6$ | = 100 Ω | | | $Z_1$ | = zenerdiode 5,6 V, 250 mW (zie tekst) |
| $R_7$,$R_8$,$R_9$ | = zie tekst | Kondensatoren: | | | |
| $R_{10}$ | = 1k (zie tekst) | $C_1$ | = 2200 μF, 40 V (zie tekst) | | |
| $R_{11}$ | = 4k7 (zie tekst) | $C_2$ | = 470 pF | | |
| $R_{12}$ | = 1k5 | $C_3$ | = 470 pF | | |
| $R_{13}$ | = 100k | $C_4$ | = 1 nF | | |

*Figuur 2. Principeschema van de voeding.*



Uiteraard moet de ongestabiliseerde spanning dan wel groter zijn dan 33 V. In figuur 4 is het voedingsinstelnetwerk nogmaals getekend. Bij genoemde zenerdiode van 5,6 V zal op de loper van $P_1$ ook steeds 5,6 V staan. Als de voeding een vaste uitgangsspanning moet hebben, krijgt $P_1$ ten opzichte van $R_{10}$ en $R_{11}$ een relatief kleine waarde, die achteraf wordt vastgesteld. Voor berekeningen wordt $P_1$ eerst weggelaten. In dat geval kan gesteld worden, dat over $R_{11}$ 5,6 V valt. Voor $R_{11}$ mag elke weerstandswaarde tussen 5 k en 27 k worden genomen. Als bijvoorbeeld een voedingsspanning van 10 V gewenst is, moet de verschilspanning van de 5,6 V zenerspanning en de genoemde 10 V over weerstand $R_{10}$ vallen. Hierdoor is bij een aanname voor $R_{11}$, de waarde voor $R_{10}$ vastgelegd, omdat de spanningsvallen over genoemde weerstanden, evenredig zijn met hun weerstandswaarden.
Om een eksakte instelling van een bepaalde voedingsspanning mogelijk te maken moet $P_1$ weer worden ingelast. Een totale weerstandswaarde voor $P_1$ van ca. 10% van de som van $R_{10}$ en $R_{11}$, is ruimschoots voldoende om een eksakte voedingsspanning te kunnen instellen.

## Uitvoeringsmogelijkheden

Zoals reeds is verteld, kan de voeding worden uitgevoerd met of zonder transistor $T_3$. Dit laatste is afhankelijk van de vereiste maksimum stroom, en het vermogen. Tot een maksimum stroom van 4 A, en een vermogensdissipatie van 12 W van transistor $T_2$, kan $T_3$ achterwege blijven. De aansluiting van de voedingsuitgang wordt dan zoals in figuur 5 is weergegeven.
Het vermogen dat transistor $T_2$ dissipeert is te berekenen uit de kontinustroom die de voeding levert, en de spanning over $T_2$. Dit vermogen is:

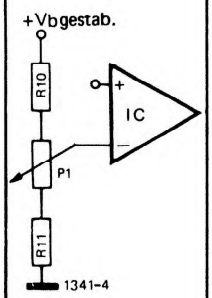
$$P_{T_2} = I_{vb} \times V_{ceT_2}.$$

In deze formule stelt $P_{T_2}$ het vermogen voor dat $T_2$ dissipeert, $I_{vb}$ de voedingsuitgangstroom en $V_{ceT_2}$ het verschil in de ongestabiliseerde spanning en de voedingsuitgangsspanning.
Bij stromen groter dan 4 A, en vermogens boven 12 W, moet $T_3$ worden ingelast. De voedingsuitgang wordt dan zoals is aangegeven in figuur 6.
Om de dissipatie van de eindtor zo klein mogelijk te houden is het wenselijk, de ongestabiliseerde spanning niet meer dan enige volts hoger te kiezen dan de gestabiliseerde spanning.
In tabel 1 staan de belangrijkste gegevens omtrent de voeding vermeld. In deze tabel staat ook dat de uitgangsspanningsvervorming, zonder bromkompensatie kleiner is dan 2 mV. In veel gevallen is dit ruimschoots voldoende, en kan de bromkompensatie achterwege blijven ($R_{13}$ en $P_2$ vervallen dan). Als de bromkompensatie wordt aangebracht is dit alleen effektief, als met $P_2$ op minimale brom wordt afgeregeld. Deze afregeling kan het beste visueel worden gedaan, met een skoop. Een andere metode is mogelijk op het gehoor met een versterker. De voedingsuitgang wordt dan op de voorversterker (MD-ingang) van een geluidsinstallatie aangesloten. Potmeter $P_2$ wordt dan zo ingesteld, dat uit de luidsprekers van de geluidsinstallatie een minimum aan brom komt.

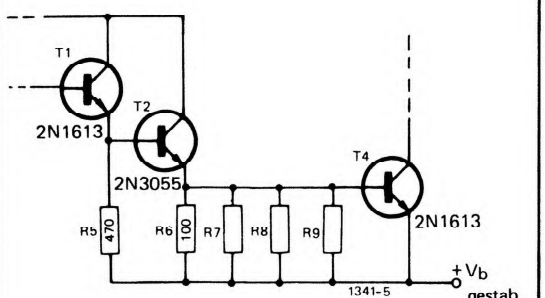
## De print

Figuur 7 geeft de print lay-out van de voeding. De print is met opzet enigszins ruim genomen (ca. 15 x 9 cm). Uit ervaringen is gebleken dat de oppervlakte van een voedingsgedeelte van een schakeling, een ondergeschikte rol speelt ten opzichte van de hoogte.
De ruimte voor de voedingskondensator ($C_1$) is zo groot dat nog gemakkelijk elko's van 5000 $\mu$F/40 V kunnen worden geplaatst. Ook de plaats van de bruggelijkrichter (G) is wat ruim genomen. Dit is gedaan om twee redenen. In de eerste plaats moet er, in verband met de warmte ontwikkeling van de bruggelijkrichter, ruimte zijn tussen deze gelijkrichter en de voedingselko. In de tweede plaats kan er ruimte nodig zijn om de bruggelijkrichter geforceerd te koelen. Meestal worden er bij een bruggelijkrichter twee stroomwaarden gegeven.
Bijvoorbeeld B40C2200/3200. De term "B40" heeft dan betrekking op de maksimaal te gelijkrichten spanning (40 V). De term "C2200" heeft betrekking op de maksimale kontinustroom door de gelijkrichtschakeling, zonder geforceerde koeling (2200 mA). De term "3200" geeft aan hoeveel stroom de bruggelijkrichter kontinu mag voeren, met geforceerde koeling. Deze koeling kan bestaan uit een aantal dunne metalen plaatjes, die op elkaar gestapeld, tegen de bruggelijkrichter worden gemonteerd. Om een goede koeling te krijgen worden dan deze plaatjes waaiervormig uitgebogen. Ook bestaat de mogelijkheid op de print een enkelvoudige metalen koelplaat aan te brengen, voor de bruggelijkrichter.
Op de print kunnen twee $\mu$A 709-uitvoeringen worden bevestigd: de TO-5 behuizing, of de veertien pens "dual in line" (DIL).
De plaats voor transistor $T_2$ is ruim gekozen, om er een koelvin onder te kunnen plaatsen.
Tabel 1 geeft informatie wanneer dit nodig is.
Figuur 8 geeft een afbeelding van de voedingsprint. Hierbij is $T_2$ voorzien van een koelvin.
Om konnektoraansluiting mogelijk te maken zijn alle aansluitpunten uitgevoerd naar één printzijde. De aansluitpunten zijn genummerd van 1 tot 10. Tabel 2 geeft de eksterne aansluitingen voor de voeding. De spanningsregelpotmeter kan ook buiten de print worden bevestigd. De aansluitingen hiervoor zijn de punten 5, 6 en 7. Als er geen eksterne transistor ($T_3$) wordt toegepast moeten de punten 2 en 3 worden doorverbonden. Als er een stroom, groter dan 4 A, door de voeding moet worden geleverd, moet naast $T_2$ een doorverbinding worden aangebracht. Deze doorverbinding is in figuur 7 gestippeld. Deze verbinding

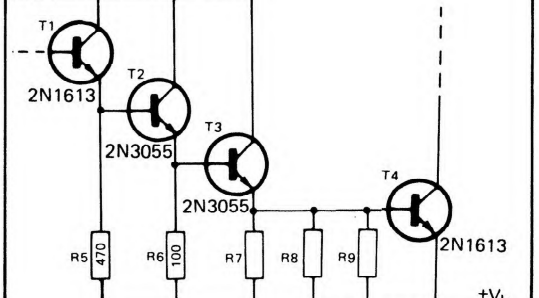
Figuur 4.

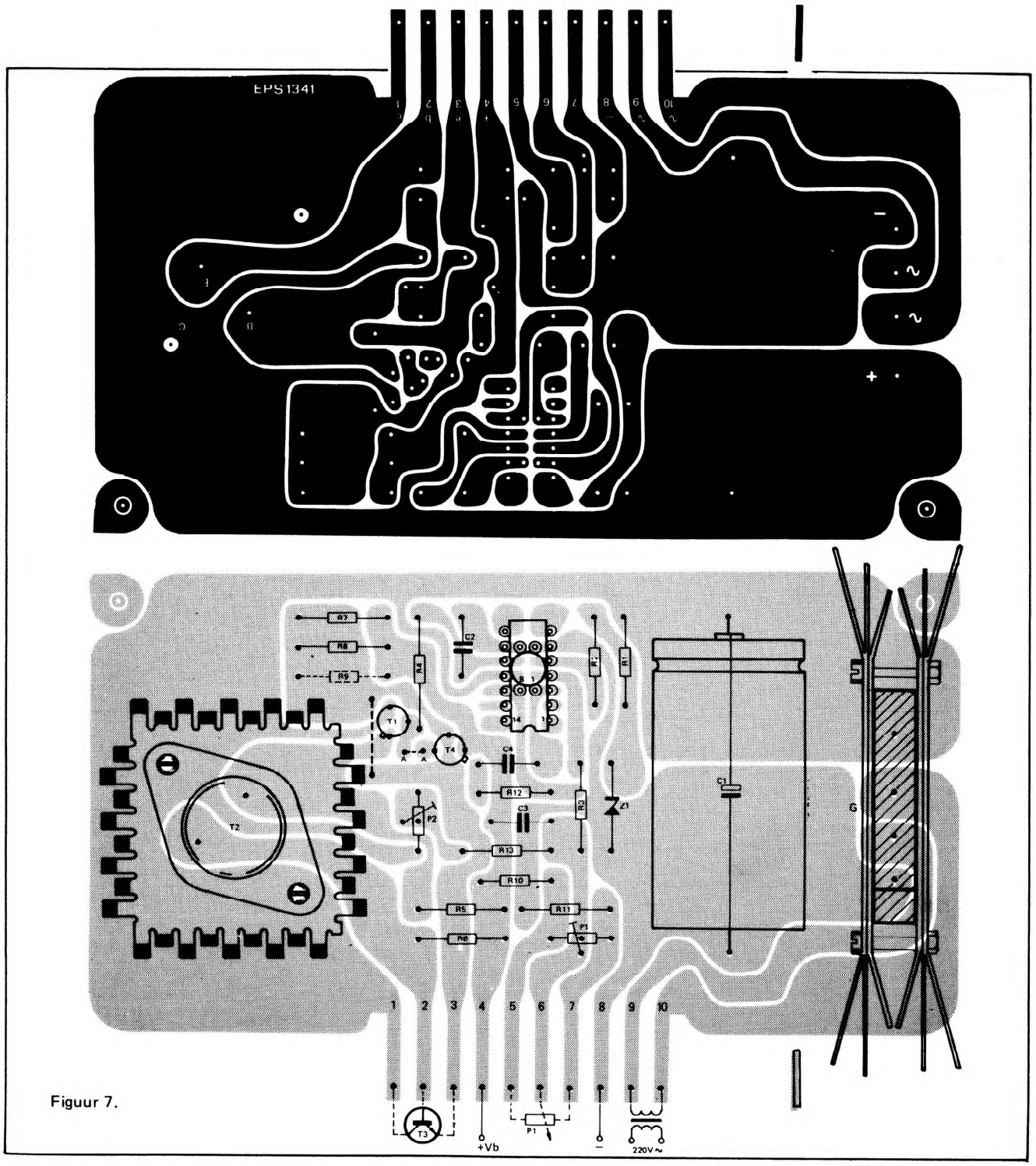



Figuur 5.




Figuur 6.






Figuur 7.

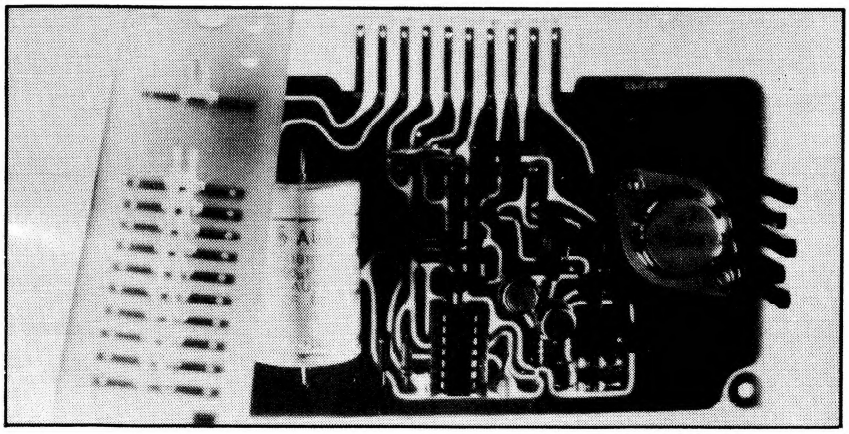
*Figuur 4. De terugkoppelweg, die de uitgangsspanning bepaald, in samenwerking met de referentiespanning.*

*Figuur 5. De voedingsuitgang zonder T3.*

*Figuur 6. De voedingsuitgang met T3.*

*Figuur 7. De voedingsprint.*

*Figuur 8. Een foto van de voedingsprint.*



is nodig om de grote stroom te kunnen verwerken over de printsporen. In dat geval wordt ook $T_3$ aangesloten.
De doorverbinding A-A op de print wordt gemaakt als er geen stroombegrenzingsindikatie wordt aangebracht. Hierover wordt verder in dit artikel nog gesproken.

## De konnektor

Als de voeding permanent in een bepaald apparaat wordt gebruikt, kan een konnektor uiteraard achterwege blijven. In dat geval kunnen er aan de aansluitstroken gewoon draden worden gesoldeerd. Toch kan het erg handig zijn de voedingsprint, met behulp van een konnektor, uitwisselbaar te maken. Hiervoor is een konnektorprint ontwikkeld.
Figuur 9 geeft de print lay-out van deze konnektor. Op de print zijn elf koperbaantjes geëtst. Tien daarvan dienen voor de kontaktvorkjes, die verbinding moeten maken met de (tien) aansluitpunten van de voedingsprint. Op het elfde koperbaantje, dat geheel apart zit komt ook een kontaktvorkje te zitten dat dient als zoekerpen.
Voor de kontaktvorkjes wordt gebruik gemaakt van tipe PK-3 van Gully n.v. (montafleks). Deze vorkjes zijn in de handel verkrijgbaar in zakjes van honderd stuks (prijs ca. f 6, –).
Figuur 10 geeft een afbeelding van een kompleet uitgevoerde konnektorprint. De zoekerpen zit aan de kant van kontakt 10. De bedoeling van deze zoekerpen is, te voorkomen dat de konnektor verkeerd om op de print wordt aangesloten. Om dit te voorkomen wordt het kontaktvorkje van de zoekerpen dichtgebogen. De beide vorkhelften worden vervolgens aan elkaar gesoldeerd. Daarna wordt op de voedingsprint een zaagsnede gemaakt aan de konnektorzijde, op de plaats waar de zoekerpen tegen de print aanstuit. Deze plaats is op de voedingsprint aangegeven met een afzonderlijk koperbaantje. Figuur 12 geeft een afbeelding van de voedingsprint, verbonden met de konnektor. Deze insteekverbinding is zo stevig, dat bij vaste opstelling van de konnektor, de voedingsprint niet hoeft te worden gesteund. De print mag zowel horizontaal als vertikaal worden opgesteld.

*Figuur 9. De konnektorprint.*

*Figuur 10. Een foto van de konnektorprint.*

*Figuur 11. De stroombegrenzingswaarde als funktie van de vervangingsweerstand voor $R_7$, $R_8$ en $R_9$.*

*Tabel 1. Specifikaties van de voeding.*

*Tabel 2. Konnektoraansluitpunt van de voeding.*

*Tabel 3. Weerstandswaarden voor $R_{10}$ en $R_{11}$ bij een vaste uitgangsspanning (De potmeter $P_1$ kan eventueel worden weggelaten).*

*Tabel 4. Enige richtwaarden voor de bruggelijkrichter en de voedingselko, bij een bepaalde maksimale uitgangsstroom. (De spanning en stroom moeten uiteraard door de voedingstrafo zijn te leveren).*

Tabel 1.

ingangsspanningsbereik: 12 V tot 35 V
uitgangsspanningsvervorming zonder belasting: kleiner dan 100 µV.
uitgangsspanningsvervorming met maksimale belasting, zonder kompensatie: 2 mV.
uitgangsspanningsvervorming met maksimale belasting, met kompensatie: kleiner dan 500 µV.
spanningsstabilisatiefaktor: groter dan 1000x.
maksimale uitgangsstroom zonder eksterne transistor: 4 A.
maksimale uitgangsstroom met eksterne transistor: 15 A.
maksimale vermogensdissipatie, zonder eksterne transistor en zonder geforceerde koeling: 3,5 W.
maksimale vermogensdissipatie, zonder eksterne transistor met koelvin op $T_2$: 12 W.
maksimale vermogensdissipatie, met eksterne transistor (gekoeld: 100 W.
stroombegrenzing: volledig instelbaar (kortsluitvast).
spanningsvariatie op de uitgang bij maksimale stroomverandering: kleiner dan 4 mV.

Tabel 2.

| aansluitpunt | verbinding naar: |
|---|---|
| 1. | kollektor $T_3$ |
| 2. | basis $T_3$ |
| 3. | emitter $T_3$ |
| 4. | voedingsuitgang (+) |
| 5. | eksterne regelpotmeter (uiteinde) |
| 6. | eksterne regelpotmeter (loper) |
| 7. | eksterne regelpotmeter (uiteinde) |
| 8. | voedingsuitgang (-) |
| 9. | voedingstrafo |
| 10. | voedingstrafo |

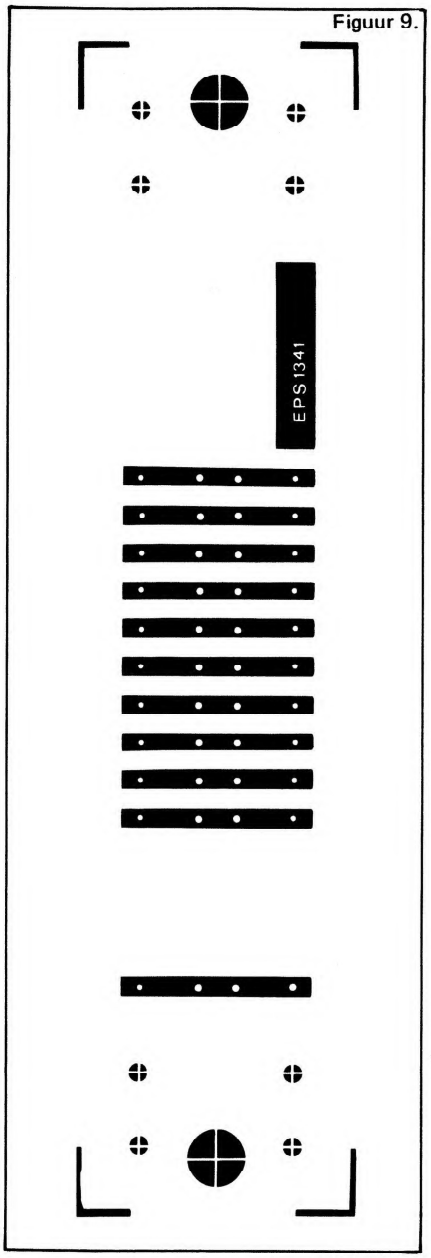
Tabel 3.

| vaste voedingsspanning | trafo-spanning | $R_{10}$ | $R_{11}$ | $P_1$ |
|---|---|---|---|---|
| 6 V | 12 V | 1k5 | 22k | 2k5 |
| 7,5 V | 12 V | 8k2 | 22k | 2k5 |
| 9 V | 12 V | 12k | 22k | 5k |
| 12 V | 12 V | 22k | 18k | 5k |
| 15 V | 18 V | 22k | 39k | 5k |
| 18 V | 18 V | 10k | 22k | 5k |
| 24 V | 24 V | 8k2 | 27k | 5k |
| alle waarden gelden voor $Z_1$ = 5,6 V. | | | | |

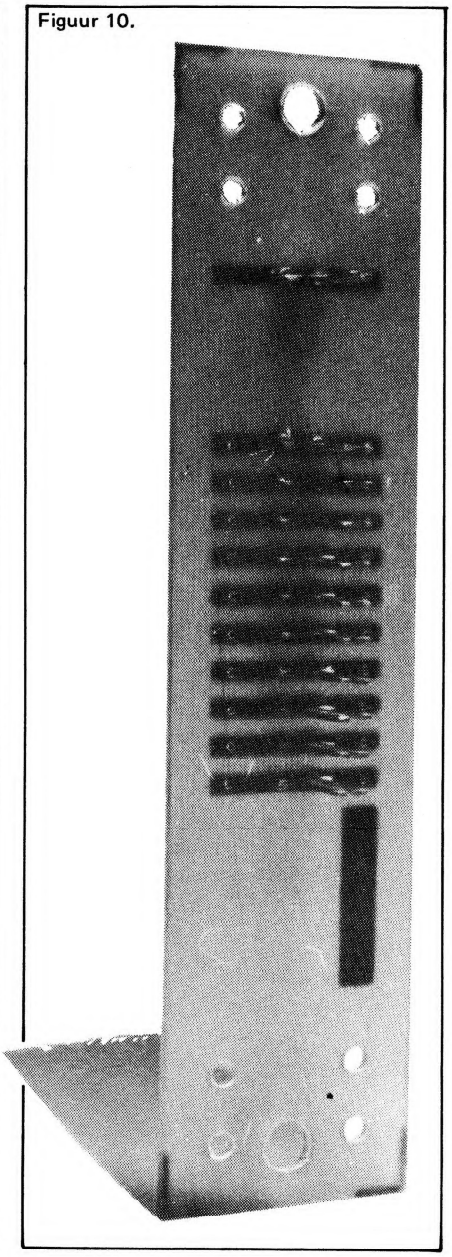
Tabel 4.

| maksimale belastingsstroom | uitgangsspanning 6 V tot 15 V | | 15 V tot 20 V | | 20 V tot 25 V | | 25 V tot 35 V | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | brugcel | $C_1$ | brugcel | $C_1$ | brugcel | $C_1$ | brugcel | $C_1$ |
| 100 mA | B40C1000 | 500 µF/25 V | B40C1000 | 500 µF/35 V | B40C1000 | 500 µF/35 V | B80C400 | 500 µF/63 V |
| 500 mA | B40C1000 | 1000 µF/25 V | B40C1000 | 1000 µF/35 V | B40C1000 | 1000 µF/35 V | B80C1000 | 1000 µF/63 V |
| 1000 mA | B40C2200 | 2000 µF/25 V | B40C2200 | 2000 µF/35 V | B40C2200 | 2000 µF/35 V | B80C2200 | 2000 µF/63 V |
| 2000 mA | B40C2200 | 4000 µF/25 V | B40C2200 | 4000 µF/35 V | B40C2200 | 4000 µF/35 V | B80C2200 | 4000 µF/63 V |
| 5000 mA | B40C5000 | 10mF/25 V | B40C5000 | 10mF/35 V | B40C5000 | 10mF/35 V | B80C5000 | 10mF/63 V |

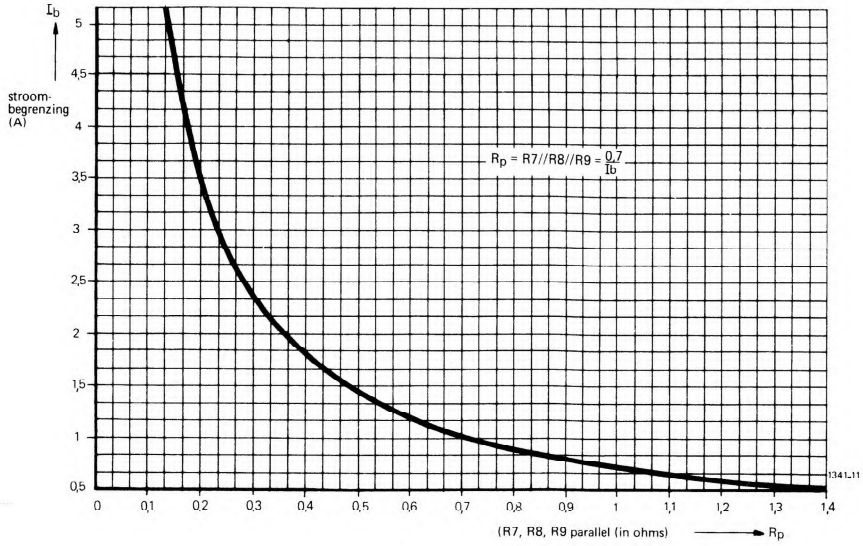
Figuur 9.




Figuur 10.



Figuur 11.




Op de konnektorprint zijn diverse ekstra gaten aangebracht, om een universeel karakter te kunnen handhaven. De grote zijgaten kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt voor het doorvoeren van een draadboom. Verder bestaat er een mogelijkheid aan weerskanten van de konnektorprint een kabelklemmetje aan te brengen, om de draadboom van trek te ontlasten.
Omdat er een kleine afstand is tussen de konnektor en de voedingsprint, kan de kabelboom zowel aan de voor- als achterzijde van de konnektor worden gelegd.

## Instelmogelijkheden

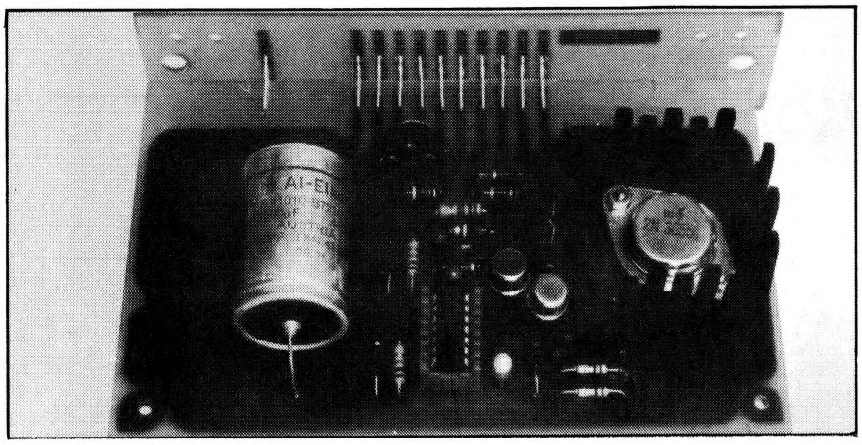
Tabel 3 geeft vaste weerstandswaarden voor $R_{10}$ en $R_{11}$ bij verschillende standaard voedingsspanningen. Indien de voedingsspanning niet zo nauwkeurig behoefd te zijn (10% tolerantie) mag potmeter $P_1$ worden weggelaten. Op de plaats van de potmeter op de print, moet dan een doorverbinding worden aangebracht, van beide potmeteruiteinden naar de loper.
Afhankelijk van de vereiste uitgangsspanning van de voeding worden de trafo, bruggelijkrichter en voedingselko gekozen. Tabel 4 geeft enige richtwaarden voor de bruggelijkrichter en voedingselko, bij een bepaalde maksimum stroom, en een voedingsspanningsgebied. De stroom moet uiteraard wel door de trafo zijn te leveren.
De trafospanning kan het beste gelijk worden gekozen aan de maksimaal te leveren voedingsspanning. Enige volts meer vormt geen bezwaar, en kan vaak gunstig zijn.
De stroombegrenzing is afhankelijk van de totale weerstandswaarde van de parallelschakeling van $R_7$, $R_8$ en $R_9$.
In plaats van drie weerstanden parallel voor de stroombegrenzing, kan ook één weerstand worden genomen. Het parallel schakelen van weerstanden kan soms gemakkelijk zijn, om een nauwkeurige waarde te krijgen. De totaal weerstand van $R_7$, $R_8$ en $R_9$ parallel is eenvoudig te berekenen.
Deze weerstand is:

$$R_V = 0{,}7/I_m.$$

In deze formule stelt $R_V$ de totaal weerstand van $R_7$, $R_8$ en $R_9$ (parallel) voor, in ohms. $I_m$ is de vereiste stroombegrenzingswaarde in ampéres.
In figuur 11 is de stroombegrenzingswaarde gegeven als funktie van de totaal weerstand voor $R_7$, $R_8$ en $R_9$.

## Veranderingen

Om een universeel karakter van de voeding te kunnen handhaven, worden de printen voorzien van een tekstopdruk. Deze tekst is alleen bedoeld om aan te geven waar de verschillende komponenten worden geplaatst. Dit



*Figuur 12. De konnektor verbonden met de voedingsprint.*

*Figuur 13. Stroombegrenzingsindikatie is mogelijk met een mikro- of milliamperemeter.*

*Figuur 14. Aansluitmogelijkheid voor een uitgangsspanning en -stroommeter.*

heeft als voordeel dat bij elk apparaat, waarbij voortaan de voeding wordt toegepast, niet steeds de print lay-out hoeft te worden gegeven.
De meeste komponenten zijn niet aan verandering van waarde onderhevig. Alleen de weerstanden $R_7$ t/m $R_{11}$, kondensator $C_1$, bruggelijkrichter G en potmeter $P_1$ worden, afhankelijk van de vereiste voedingseigenschappen, gekozen.
In een bizondere toepassing voor de voeding kan het ook voorkomen dat de zenerdiode een lagere spanningswaarde krijgt. Als de voeding voor meerdere doeleinden wordt gebruikt, is het ekonomisch voor de bruggelijkrichter en de voedingskondensator een zo groot mogelijke waarde te kiezen. De bruggelijkrichter (G) wordt dan bijvoorbeeld tipe B40C5000, en de voedingskondensator ($C_1$) krijgt een waarde van 5000 $\mu$F/40 V.

## Een zelfstandige voeding

Behalve als permanente voeding voor een bepaald apparaat, zijn er ook toepassingsmogelijkheden, waarbij de voeding zelfstandig is. In dat geval is het wenselijk dat de voedingsspanning regelbaar is.
Hiertoe moet voor $R_{10}$ en $R_{11}$ de weerstandswaarde worden aangehouden, die in figuur 2 vermeld staat. Potmeter $P_1$ (= 22 k) kan dan naar buiten worden uitgevoerd, zodat de voedingsspanning regelbaar is buiten de kast. Om de voeding zoveel mogelijk overal bij te kunnen gebruiken moet de voedingstrafo 24 V/5 A sekundair kunnen leveren. Voor de bruggelijkrichter wordt een waarde van 40 V/5 A genomen. Kondensator $C_1$ krijgt een waarde van 10 mF/40 V.
Om de uitgangsstroom bij 5 A te begrenzen krijgen de weerstanden $R_7$, $R_8$ en $R_9$ een gezamelijke waarde van 0,14 $\Omega$ (3,5 watt).
Het is ook mogelijk de stroombegrenzing omschakelbaar te maken. In dat geval worden de weerstanden $R_7$, $R_8$ en $R_9$ niet op de print aangebracht.

## Het berekenen van de uitgangsimpedantie

Van de voeding volgens figuur 2 kan het volgende worden gesteld:
de dinamische uitgangsweerstand is:

$$r_o = \frac{\Delta\, V\text{uit}}{\Delta\, I\text{ uit}} = \frac{v_u}{i_u} \qquad (1)$$

Bij maksimaal ingestelde uitgangsspanning $V_u$ is $r_o$ maksimaal; hierbij geeft de verandering "$v_u$" uit formule (1) een spanningsverandering op punt 2 van het IC:

$$v_{ic.in} = v_u \times \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{P_1} + R_{10}} \qquad (2)$$

Voor kleine signalen kan de IC versterking "open" worden ondersteld; de IC uitgangsspanningsverandering (op punt 6) ten gevolge van $v_u$ is dan:

$$v_{ic.uit} = \frac{v_u \times R_{11} \times A}{R_{11} + R_{P_1} + R_{10}} \qquad (3)$$

In formule (3) stelt A de IC versterking voor.
De emitterimpedantie van transistor $T_1$ is:

$$r_{eT_1} = \frac{R_5 \times [(h_{fe_{T_2}} \times R_V) + h_{ic_{T_2}}]}{R_5 + [(h_{fe_{T_2}} \times R_V) + h_{ic_{T_2}}]} \approx 320\ \Omega \qquad (4)$$

In formule (4) stelt $R_V$ de vervangingsweerstand voor van $R_6$, $R_7$, $R_8$ en $R_9$ uit figuur 2.
De waarde voor $r_{eT_1}$ uit formule (4) geeft op de basis van $T_1$ een rejektie van:

$$r_{bT_1} = h_{fc_{T_1}} \approx 16\text{ k} \qquad (5)$$

Hieruit volgt dat $r_{bT_1} \gg R_4$; zodat:

$$v_{ic.uit} \approx v_{bcT_1} \qquad (6)$$

($v_{bcT_1}$ is de basiswisselspanning van $T_1$).
Van $T_1$ kan worden gesteld dat:

$$i_{eT_1} = h_{fc_{T_1}} \times i_{bT_1} \quad \text{(a)},$$

en

$$h_{ic_{T_1}} = \frac{v_{bcT_1}}{i_{bT_1}} \quad \text{(b)}.$$

Uit (a) en (b) volgt:

$$i_{eT_1} = h_{fc_{T_1}} \times \frac{v_{bcT_1}}{h_{ic_{T_1}}} \qquad (7)$$

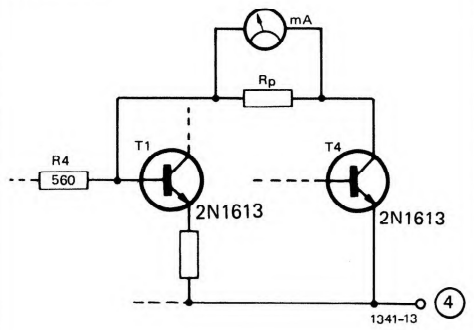
Uit (3), (6) en (7) volgt:

$$i_{eT_1} = \frac{h_{fc_{T_1}} \times v_u \times R_{11} \times A}{(R_{11} + R_{P_1} + R_{10}) \times h_{ic_{T_1}}} \qquad (8)$$

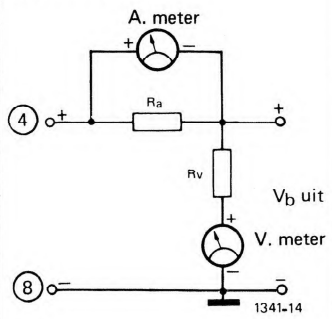
Door de emitterstroom van $T_1$ ontstaat een spanningsvariatie ($V_{eT_1}$) op de emitter van $T_1$, die het produkt is van formule (4) en (8):

$$v_{eT_1} = \frac{h_{fc_{T_1}} \times v_u \times R_{11} \times A \times r_{eT_1}}{(R_{11} + R_{P_1} + R_{10}) \times h_{ic_{T_1}}} \qquad (9)$$

Figuur 13.




Figuur 14.




De spanning op de emitter van $T_1$ is de basisstuurspanning van $T_2$, ofwel:

$$v_{eT_1} = v_{bcT_2}.$$

Formule (7) kan worden gebruikt voor het bepalen van de emitterstroom van $T_2$ met h-parameters:

$$i_{eT_2} = \frac{v_{bcT_2}}{h_{ic\,T_2}} \times h_{fcT_2}$$

ofwel:

$$i_{eT_2} = V_{eT_1} \times \frac{h_{fcT_2}}{h_{ic\,T_2}} \qquad (10)$$

Zonder de eksterne transistor $T_3$ is $i_{eT_2}$ de uitgangsstroom $i_u$.
Uit formule (9) en (10) volgt dan:

$$i_{eT_2} = i_u = \frac{h_{fcT_1} \times v_u \times R_{11} \times A \times r_{eT_1} \times h_{fcT_2}}{(R_{11}+R_{P_1}+R_{10}) \times h_{icT_1} \times h_{icT_2}} \qquad (11)$$

Omwerking van formule (11) geeft:

$$\frac{v_u}{i_u} = r_o = \frac{(R_{11}+R_{P_1}+R_{10}) \times h_{icT_1} \times h_{icT_2}}{h_{fcT_1} \times R_{11} \times A \times r_{eT_1} \times h_{fcT_2}} \qquad (12)$$

$$r_o \approx \frac{(4{,}7\times10^3+22\times10^3+1\times10^3)\times10^3\times10^3}{50\times4{,}7\times10^3\times6\times10^4\times320\times20} \approx 3\times10^{-4}\ \Omega. \quad (13)$$

De ingevulde waarden in formule (13) gelden bij fo = 1 kHz, en minimale versterkingskondities van de halfgeleiders.
De dinamische uitgangsweerstand van de voeding wordt nog kleiner als transistor $T_3$ wordt aangesloten.
De spanningsstabilisatiefaktor is definieerbaar als:

$$\frac{v_{in}/i_{in}}{v_{uit}/i_{uit}} = \frac{r_i}{r_o}.$$

Voor wat betreft de $r_i$ speelt de voedingskondensator $C_1$ de grootste rol. Als $C_1$ een waarde van 2000 $\mu$F heeft, geldt voor een frekwentie van 100 Hz een $r_i$ van:

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \approx 0{,}72\ \Omega.$$

Hierbij is de spanningsstabilisatie ongeveer 2400x.

Met een omschakelaar wordt dan de begrenzingsweerstand tussen de konnektorpunten 3 en 4 (op de print) ingesteld. Zo wordt voor een stroombegrenzing bij 100 mA deze weerstand 0,7/0,1 = 7 Ω. Voor een begrenzing bij 1 A wordt dat 0,7/1 = 0,7 Ω.
De aktiviteit van de stroombegrenzing is zichtbaar te maken met een mA-meter. Deze meter kan worden opgenomen in de leiding tussen de kollektor van $T_4$, en de basis van $T_1$. Op de print uit figuur 7 is dit verbinding A-A. De hoeveelheid stroom in de genoemde leiding is afhankelijk van de mate van overbelasting. De maksimale stroom die de mA-meter moet kunnen verwerken is 64 mA. Als voor de stroombegrenzingsindikatie een stroommeter van 1 mA-volle schaal wordt gebruikt, moet over de meter een shuntweerstand $R_p$ worden geplaatst, die de overige 63 mA verwerkt (zie figuur 13). Deze weerstand kan worden berekend door de mA-meterspanning (bij volle schaal) te delen door de genoemde 63 mA.
Bij een zelfstandige voeding is een permanent aangesloten spanningsmeter geen overbodige luukse. Voor deze meter kan het makkelijkst een mA-meter worden gebruikt. Deze wordt aangesloten op de voedingsuitgang, met een voorschakelweerstand $R_v$, zoals is aangegeven in figuur 14. Als bijvoorbeeld de maksimum uitgangsspanning van de voeding 30 V is, en de mA-meter is 1 mA volle schaal, dan wordt weerstand $R_v$:

$$\frac{V_{b.maks}}{I\ meter.maks} = \frac{30}{1\times10^{-3}} = 30\ k$$

In dat geval is de mA-meter geschakeld voor 30 V indikatie bij volle schaal. Door verschillende waarden voor $R_v$ te berekenen is het mogelijk, met behulp van een omschakelaar, het voltmeterbereik om te schakelen. Zo wordt voor een 10 V volle schaal indikatie bij dezelfde 1 mA-meter, de voorschakelweerstand $R_v$:

$$R_v = \frac{10}{1\times10^{-3}} = 10\ k.$$

Behalve een spanningsmeter, is in de voedingsuitgang ook een permanente stroommeter erg handig. Om ook deze meter voor meerdere, omschakelbare bereiken te kunnen gebruiken, is het wenselijk een relatief gevoelig tipe, van bv. 1 mA volle schaal te gebruiken. Voor het meten van stromen groter dan 1 mA wordt een shuntweerstand parallel geschakeld aan de meter. Deze weerstand, $R_a$ in figuur 14, moet het verschil in stroom verwerken, tussen de één mA van de meter, en de te meten volle schaal stroom. Derhalve is de weerstandswaarde voor deze $R_a$, het quotient van de meterspanning bij volle schaal, en de genoemde verschilstroom. ■