

Crescendo *Millennium Edition*

Remake van een fameuze versterker

Techniek: Ton Giesberts

Tekst: Sjef van Rooij

In december 1982 werd in *Elektuur* een voor die tijd revolutionaire MOSFET-versterker gepubliceerd, die zich tot op de dag van vandaag in een enthousiaste aanhang mag verheugen. Op veler verzoek hebben we dit ontwerp nu geactualiseerd, waarbij en passant ook de betrouwbaarheid en bedrijfszekerheid wezenlijk werden verbeterd. Het geproduceerde vermogen zal met 90 watt aan 8 ohm of 135 watt aan 4 ohm voor de meesten weinig te wensen overlaten.



Meetresultaten (voeding volgens figuur 3, ruststroom 200 mA)

- ingangsgoedigheid:	1 Veff	
- ingangsimpedantie:	45 k Ω	
- sinusvermogen (0,1 % THD):	90 W/8 Ω 137 W/4 Ω	
- vermogensbandbreedte (80 W/8 Ω):	1,5 Hz...300 kHz	
- slew rate:	60 V/ μ s (stijgtijd = 1 μ s)	
- signaal/ruis-verhouding:	104 dB (A-gewogen)	
	(t.o.v. 1 W/8 W)	96 dB (B = 22 kHz lin.)
- harmonische vervorming (bandbreedte 80 kHz)	bij 8 Ω :	
	bij 1 kHz:	0,002 % (1 W) 0,0017 % (40 W)
	bij 20 kHz:	0,028 % (40 W)
- intermodulatievervorming: (50 Hz : 7 kHz = 4 : 1)		0,0017 % (1 W) 0,004 % (40 W)
- dynamische IM-vervorming: (blok 3,15 kHz met sinus 15 kHz)		0,0026 % (1 W) 0,0014 % (40 W)
- dempingsfactor (bij 8 Ω):	460 (1 kHz)	
		330 (20 kHz)
- open-loop-parameters:		
versterking:	4000 x	
bandbreedte:	25 kHz	
uitgangsimpedantie:	0,5 Ω	
beveiliging		
DC:	+ 4,7 V/- 4,3 V	
overbelasting (0 V uit):	+ 5,8 A/-5,4 A	
inschakelvertraging:	8 à 10 sec.	
bias-compensatie:	\pm 4,5 μ A	

bij 4 Ω :

0,0026 % (1 W)
0,004 % (80 W)
0,04 % (80 W)
0,003 % (1 W)
0,007 % (80 W)
0,003 % (1 W)
0,0023 % (80 W)

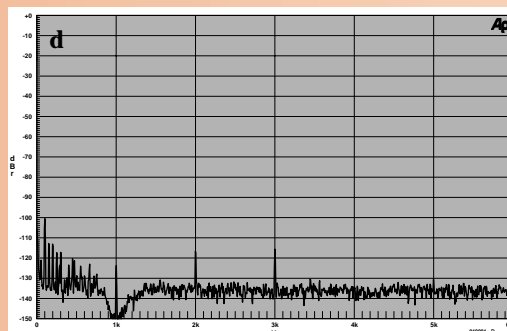
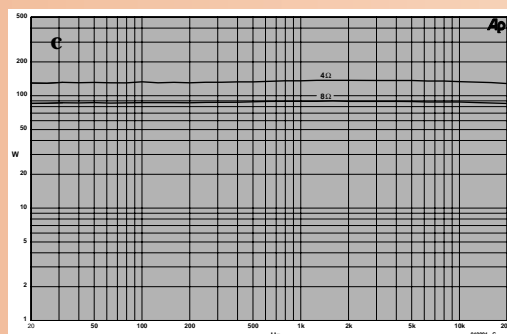
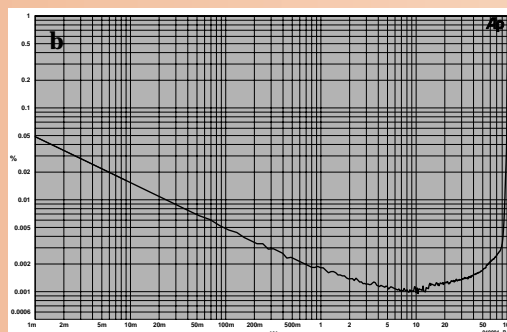
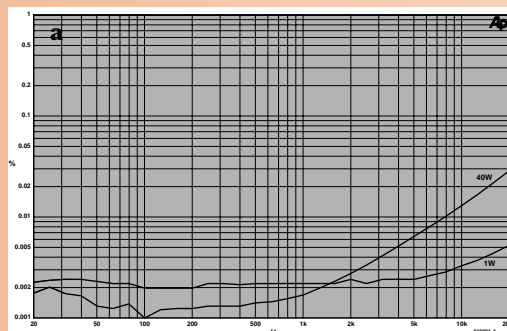
Al in één oogopslag is aan het aantal nullen achter de komma te zien dat dit een voorbeeldig meetrapport is. Wezenlijk betere cijfers zal men niet gauw tegenkomen. De vervorming is zeer laag, de dempingsfactor zeer goed en de slew-rate mag zelfs opvallend goed genoemd worden. Zoals u van ons gewend bent, hebben we ter aanvulling van de altijd wat 'dor' aandoende cijfers ook een aantal curven opgenomen met de Audio Precision analyzer.

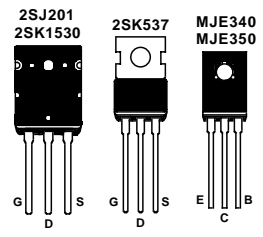
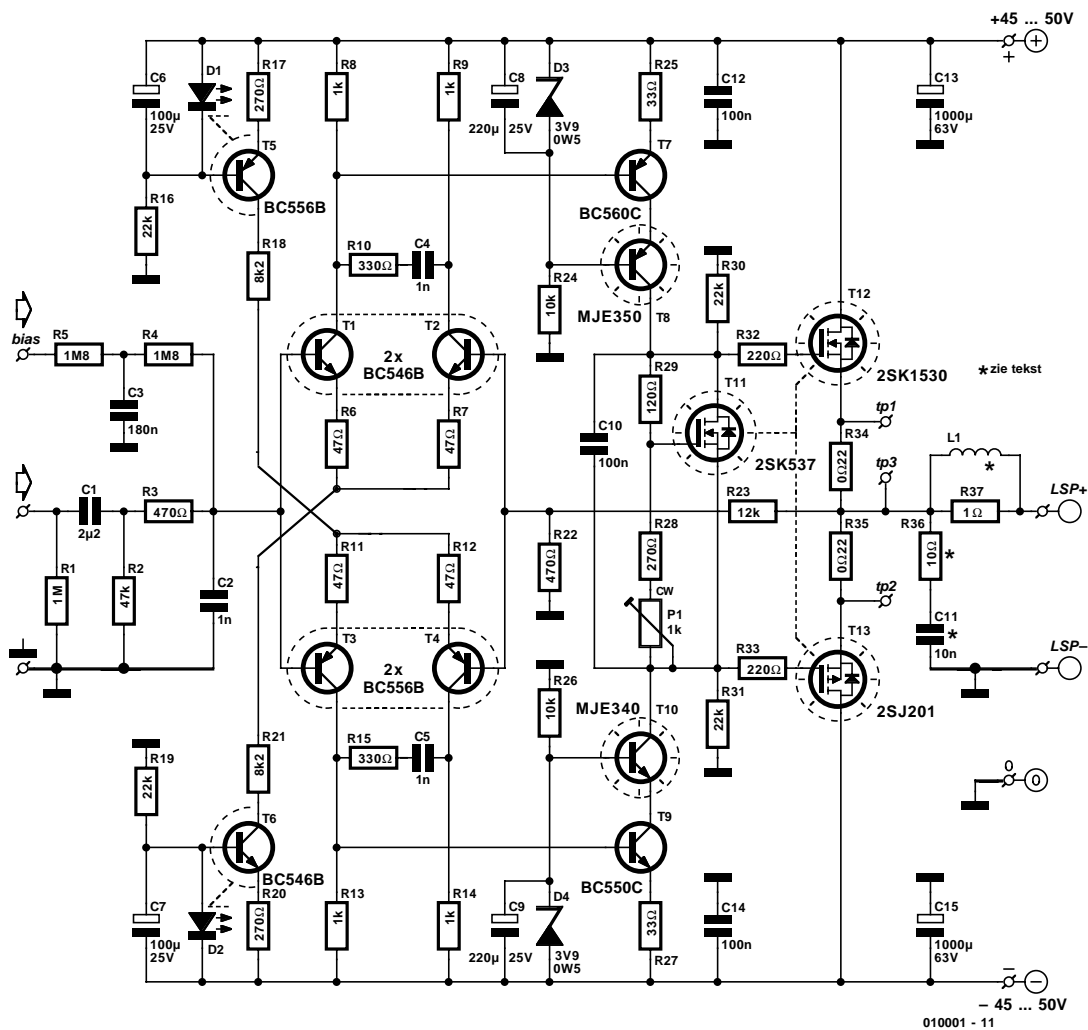
Figuur a laat de harmonische vervorming (THD+N) zien van 20 Hz tot 20 kHz aan 8 W, gemeten met een bandbreedte van 80 kHz. Bij 1 W is de vervormingstoename bij 20 kHz minimaal, maar bij half vermogen (40 W komt overeen met 70 % van de maximale uitsturing) maakt de niet-lineaire ingangscapaciteit van de MOSFET's zich kenbaar.

Figuur b toont de vervorming van een 1-kHz-sigitaal aan 8 W als functie van de uitsturing in watt, gemeten met een bandbreedte van 22 kHz. Met de kleinere bandbreedte wordt het gedrag van de versterker beter zichtbaar. Tot 10 W wordt de THD+N hoofdzakelijk bepaald door de voedingsrimpel en ruis. Vanaf 10 W is er een lichte vervormingstoename te zien en pas bij 90 W zitten we op het niveau van 0,1%.

Figuur c geeft het maximale uitgangsvermogen aan 4 W en 8 W weer voor frequenties van 20 Hz tot 20 kHz bij een vervorming van 0,1 % (bandbreedte is 80 kHz). Beide curven zijn vrijwel recht te noemen.

Figuur d geeft tenslotte een Fourier-analyse van een 1-kHz-sigitaal (1 W aan 8 W, grondtoon is onderdrukt). De THD is bij deze uitsturing duidelijk lager dan de voedingsrimpel, waarvan de frequentiecomponenten onder de 100 dB liggen. De 2^e en 3^e harmonische liggen met resp. -118 dB en -115 dB op een te verwaarlozen niveau.





Figuur 1. In het schema vallen de verschillen met de oorspronkelijke versie in eerste instantie nauwelijks op.

Er zijn maar heel weinig schakelingen waar meer dan tien jaar na dato nog altijd zo veel belangstelling voor bestaat als voor de Crescendo-eindversterker van 1982. Door zijn geheel symmetrische opzet, was dat indertijd ook best een opvallende verschijning, maar de ongebruikelijk grote populariteit zal ongetwijfeld meer te maken hebben met het feit dat in de eindtrap power-MOSFET's waren toegepast. Daar zijn nu eenmaal fervente liefhebbers van. Zelfs degenen die bij buizenversterkers zweren en afkerig zijn van alles wat halfgeleider heet, hebben vaak een zwak voor MOSFET's en zijn bereid daar een uitzondering voor te maken.

Nu waren het tragisch genoeg juist de MOSFET's waar de meeste problemen mee waren bij genoemde versterker. De originele typen zijn al lang niet meer te krijgen en geschikte vervangers zijn schaars. Maar er waren meer perikelen. Ook de stabiliteit van de versterker bleek soms aanleiding te geven tot opmerkingen, terwijl het ontbreken van een beveiliging door de gebruikers ook als een sterk gemis werd gevoeld.

Daarom besloten we ter ere van ons jubileum het ontwerp nog eens op de helling te zetten. De bedoeling daarbij was om het versterkerontwerp zodanig te actualiseren dat de punten van kritiek werden verholpen, bij behoud van de goede eigenschappen van het oorspronkelijke ontwerp.

Daar zijn we al met al aardig in geslaagd. Bovendien lukte het om met één nieuw MOSFET-paartje zo'n royaal uitgangsvermogen te realiseren dat het overbodig werd om de nieuwe Crescendo net als de oude versie op te splitsen in een 'grote' en 'kleine' uitvoering.

Identieke opzet

Omdat we bewust geprobeerd hebben het oude versterkerontwerp zo veel mogelijk in zijn waarde te laten, zijn de schematische verschillen tussen de oude en de nieuwe versie minimaal gebleven. Dus ook nu gaat het weer om een ontwerp bestaande uit een dubbele verschilversterker met stroombronnen aan de ingang, een cascode-stuurtrap en een MOSFET-eindtrap. In 1982 mocht dat als

een tamelijk sophisticated opzet gelden, op het ogenblik denken we hierbij eigenlijk eerder aan een omschrijving als 'minimal design'. Met dat laatste is trouwens niets mis, want het is op zich geen verkeerd streven om bij een versterker te pogen de signaalweg zo kort mogelijk te houden - maar dit even terzijde.

Het behoud van de oorspronkelijke opzet maakt dat zij die het in **figuur 1** afgedrukte nieuwe schema gaan vergelijken met de oude versie van mei '84 in eerste instantie echt naar de verschillen zullen moeten zoeken. Die verschillen zijn er natuurlijk wel degelijk en voordat we overgaan tot een meer gedetailleerde schemabespreking, lijkt het ons zinvol de belangrijkste modificaties even op een rij te zetten.

De meest prominente verandering wordt uiteraard gevormd door het nieuwe MOSFET-paar aan de uitgang. De 2SK1530 en 2SJ201 van Toshiba zijn goed verkrijgbaar en bezitten bovendien een zodanig hogere vermogensdissipatie dat het lukte om met één enkel paartje het vermogen van de oude 'Mini-Crescendo' bijna een factor twee op te krikken van 50

tot 90 watt aan 8 ohm.

Dat grotere vermogen bracht wel met zich mee dat de stroominstelling van de diverse trappen moest worden aangepast en er andere transistoren in de cascade-trappen moesten worden gebruikt, zoals we nog zullen zien.

In de vorm van R10/C4, R15/C5 en R30/R31 zijn voorts wat maatregelen genomen om de stabiliteit van de versterker te optimaliseren. Een heel belangrijk punt is tenslotte dat de versterker door middel van een extra print is voorzien van een degelijke beveiliging alsmede een automatische offset-compensatie.

De meest wezenlijke zaken zijn daarmee zo'n beetje alle genoemd.

Schemadetails

Na dit globale overzicht wordt het tijd om de schakeling wat gedetailleerder te gaan bekijken. Daarbij zullen we maar gewoon bij de ingang beginnen.

Het ingangsfILTER heeft de min of meer gebruikelijke opzet. R2 (met parallel daaraan R1) bepaalt de ingangsimpedantie en vormt in combinatie met C1

een hoogdoorlaatfilter om frequenties onder ca. 1,5 Hz te weren. C1 is voorts nodig om de DC-instelling van de ingangstrap niet te verstoren. R3 en C2 vormen samen een op ruim 300 kHz afgestemd laagdoorlaatfilter dat TIM-vertorming tegengaat en eventuele HF-storingen elimineert.

De dubbele verschilversterker T1...T4 is in verband met het grotere uitgangsvermogen op een ca. drie maal hogere stroom ingesteld dan voorheen. De voor de instelling verantwoordelijke stroombronnen T5 en T6 gebruiken nu een LED (D1 en D2) als referentie, omdat dit in minder ruis resulteert dan een zener. Omwille van de thermische stabiliteit van de DC-instelling worden daarbij D1/T5 en D2/T6 thermisch gekoppeld, evenals de paartjes T1/T2 en T3/T4.

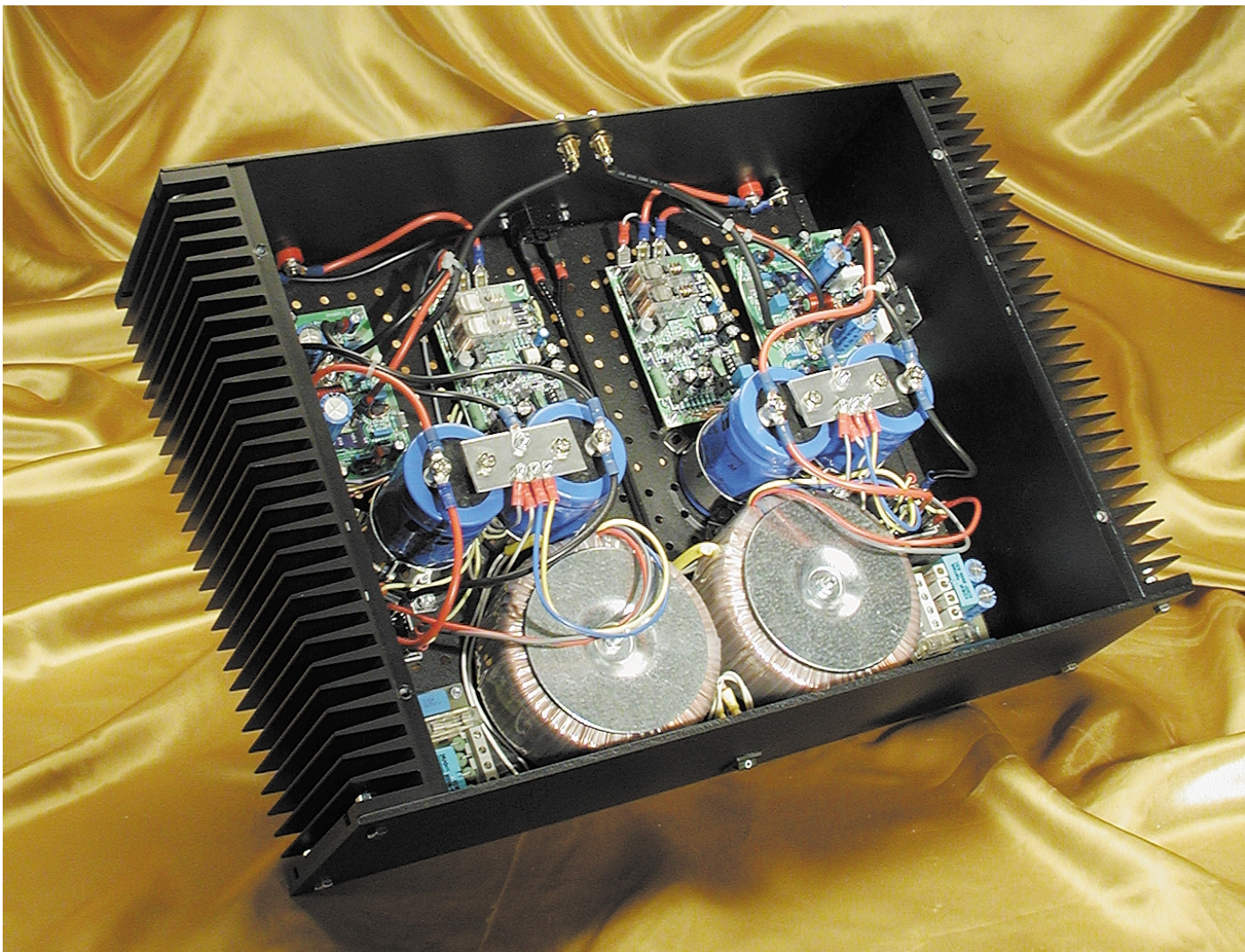
Ook de cascode-trappen T7/T8 en T9/T10 staan aanzienlijk ruimer ingesteld dan oorspronkelijk. Omdat dit voor de oude T8/T10-typen een beetje te veel van het goede werd, zijn deze vervangen door de wat robuustere MJE340 en MJE350.

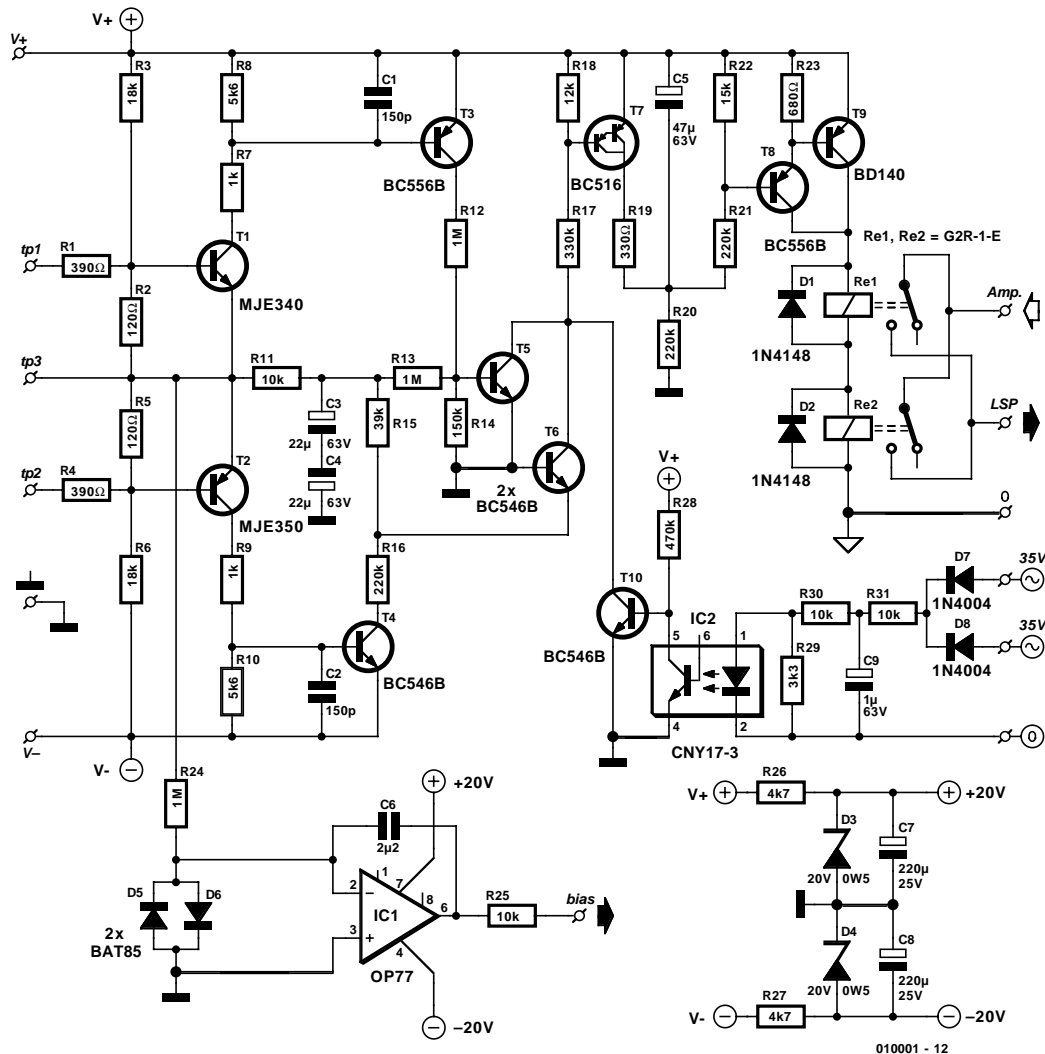
Dan de eindtrap. Anders dan de oude typen MOSFET's hebben de nu toege-

paste 2SK1530 en 2SJ201 een positieve temperatuurcoëfficiënt; dat wil dus zeggen dat bij gelijkblijvende gate/source-spanning de drainstroom toeneemt met de temperatuur. Dat maakte het noodzakelijk om het ruststroomcircuit anders op te zetten, waarbij de samen met T8/T10 en T12/T13 op de koelplaat gemonteerde MOSFET T11 voor de vereiste compensatie zorgt.

Tot slot nog een paar niet onbelangrijke zaken.

Insiders zal het opvallen dat in de tegenkoppeling (R22/R23) de weinig fraaie bipolaire elco is vervallen en dat hier dus DC-koppeling is toegepast. De daaruit resulterende uitgangsoffset werken we weg met het zich op de beveiligingsprint bevindende compensatiecircuit; laatstgenoemde schakeling waren we zowiezo van plan te gebruiken om de offset als gevolg van de onvermijdelijke asymmetrie in de ingangstrap te corrigeren. De benodigde compensatieschakeling bestaat uit niet meer dan een als integrator geschakelde opamp die de uitgangsspanning van de versterker meet en de juiste stroom terugkoppelt naar de (bias-)ingang. Door de zeer hoge





Figuur 2. Schema van de toegevoegde beveiliging plus offset-compensatie.

waarden van R4 en R5 en de ont koppeling met C3 heeft deze correctie absoluut geen invloed op het audiosignaal.

Een ander wezenlijk detail is dat door toevoeging van R30 en R31 de versterking in open-loop onafhankelijk van de belasting is gemaakt. Deze weerstanden bepalen samen de uitgangsweerstand van de spanningsversterker, waardoor de sourcevolgers T12 en T13 in de audioband nu louter als buffer werken. Zonder deze weerstanden is het gedrag van de versterker rechtstreeks afhankelijk van de aangesloten belasting en dat is niet zoals het hoort.

Samen met de compensatienetwerken R10/C4 en R15/C5 zorgt de met R30/R31 gepleegde modificatie voor een onvoorwaardelijke stabiliteit van de versterker, zodanig zelfs dat het obligate Boucherot-netwerk R36/C11 nu kan vervallen.

Beveiliging

De op een aparte print ondergebrachte beveiligingsschakeling (figuur 2) bevat een overbelastingsprotectie,

een DC-beveiliging, een inschakelvertraging voor het uitgangsrelais en een spanningsdetectie die bij het uitschakelen of het ontbreken van een van de trafospansingen het uitgangsrelais direct deactiveert. Ook de integrator voor de offset-compensatie is op deze print ondergebracht.

Op de eindversterkerprint bevinden zich drie aansluitpunten die de beveiliging van informatie voorzien; tp1 en tp2 geven de spanning over de emitterweerstand door en tp3 de uitgangsspanning. Het feitelijke beveiligen gebeurt met behulp van twee relais (Re1, Re2) waarvan met het oog op een zo laag mogelijke overgangsweerstand de contacten parallel geschakeld zijn; de contacten worden via de aansluitingen 'Amp' en 'LSP' in serie geschakeld met de versterkeruitgang.

De voedingsspanning voor de beveiligingsschakeling wordt afgetakt van de voedingspunten op de versterkerprint. De voeding voor de integrator wordt simpelweg met twee zeners (D3, D4) uit de versterkervoeding afgeleid.

De **overbelastingsbeveiliging** is op

'klassieke' wijze met een spanningsdeler en een transistor opgebouwd. Via R1...R3 meet T1 de spanning over R34 in de eindversterker en bepaalt hij wanneer de 2SK1530 buiten zijn veilige bereik komt. Dat doet T2 via R4...R6 voor de 2SJ201, door de spanning over R35 te meten. De maximum stroom door de eindtransistor is lineair afhankelijk van de spanning over de transistor, tot zijn maximum stroom of spanning bereikt wordt. Met spanningsdeler R1/R2 (R4/R5 voor de andere helft) wordt de uiterste stroomgrens vastgelegd en door R3 (R6) komt deze grens met toenemende spanning over de eindtransistor steeds lager te liggen. Omdat we van muziek kunnen uitgaan, is als limiet de 100-ms-grens aangehouden, zodat de grens voor de belastingsimpedantie lager kan worden gelegd, zonder dat dit voor de eindtransistoren problemen zal opleveren. In het geval dat T1 (of T2) in geleiding gaat, wordt via T3 (T4) gebruik gemaakt van de transistoren voor de DC-beveiliging om het relais af te schakelen. C1 en C2 verminderen de gevoeligheid voor HF-storingen. R7 en R9 zijn 5-W-typen omdat

afhankelijk van de foutsituatie de dissipatie aanzienlijk kan zijn.

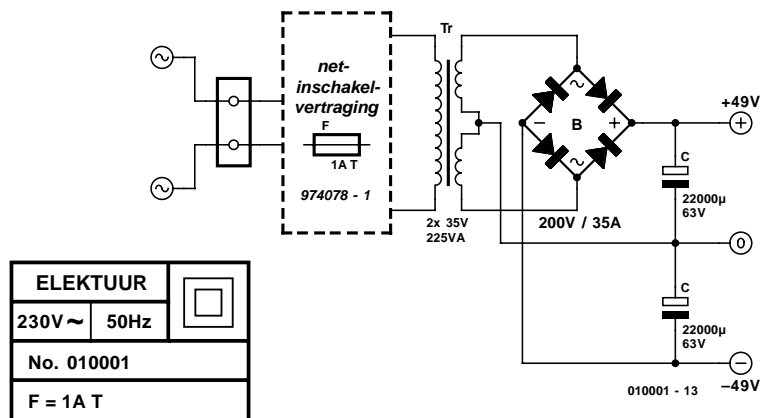
De **DC-beveiliging** wordt vaak in deze vorm toegepast. Een eventuele DC-spanning wordt door laagdoorlaatfilter R11/C3/C4 (kantelpunt 1,5 Hz) verkregen. C3 en C4 vormen samen een bipolaire elco. Bij voldoende positieve spanning wordt T5 door spanningsdeler R13/R14 in geleiding gebracht en via R17 komt T7 in geleiding. Bij voldoende negatieve spanning wordt de stroom door T6 groot genoeg om ook T7 in geleiding te brengen. Spanningsdeler R13/R14 in combinatie met R15/R17/R18 zorgen ervoor dat de drempels voor de positieve en negatieve spanning bijna gelijk zijn. Via R12 en R16 en T5/T6 kan T7 dus ook in geleiding worden gebracht. Bij het opkomen van de voeding en indien er geen foutsituatie is, zal elco C5 zich via spanningsdeler R20/R21 tot ongeveer de halve voedingsspanning opladen. De tijd voordat de relais inschakelen bedraagt nu ongeveer 8 à 10 seconden. Darlington T8/T9 verbindt de relais met de voedingsspanning. Indien T7 in geleiding gaat, wordt C5 onmiddellijk ontladen en vallen de relais af.

Voor de **spanningsdetectie** wordt gebruik gemaakt van een optocoupler, om massalussen tussen trafo en signaalmassa en andere mogelijke storingen te verhinderen. De diode in de optocoupler wordt door R29...R31 in geleiding gebracht, waarbij de tijdconstante met C9 zodanig is dat de transistor in IC2 alleen continu in geleiding blijft als beide wikkelingen van de trafo voldoende spanning hebben. Valt de spanning weg, dan komt T10 in geleiding en worden de relais uitgeschakeld.

De **offset-compensatie** bestaat naast de onderdelen voor de voeding uit slechts twee weerstanden, een condensator, een opamp (IC1) en twee dioden. Omdat de correctiestroom wordt ingekoppeld op de niet-inverterende ingang van de eindversterker, moet deze integrator dus inverteren. D5/D6 en R25 zijn toegevoegd voor extra beveiliging van de opamp. Voor die laatste is een OP77 (ultra-low offset) gekozen, die reeds intern over een inputbeveiliging beschikt en kortsluitvast is.

Robuuste voeding

Bij de beschrijving van de oorspronkelijke Crescendo werd al terecht opgemerkt dat de voeding een van de belangrijkste onderdelen van een eindversterker is. De uiteindelijke geluidskwaliteit valt of staat er zelfs mee. Moeilijk van opzet hoeft een goede voeding niet te zijn, want zoals gebruikelijk kan daarvoor worden volstaan met het bekende recept van trafo, brugcel en aflakelco's. Wel dient een en ander niet te krap te worden bemeten, reden waarom in de in **figuur 3**



Figuur 3. De voeding van fabrieksversterkers zijn nog al eens krap bemeten. Daar heeft deze geen last van.

afgebeelde voeding twee elco's van maar liefst 22.000 µF zijn toegepast. Om misverstanden te voorkomen: het gaat hier om een mono-versie, dus voor een stereoversterker zullen twee van deze voedingen moeten worden opgebouwd!

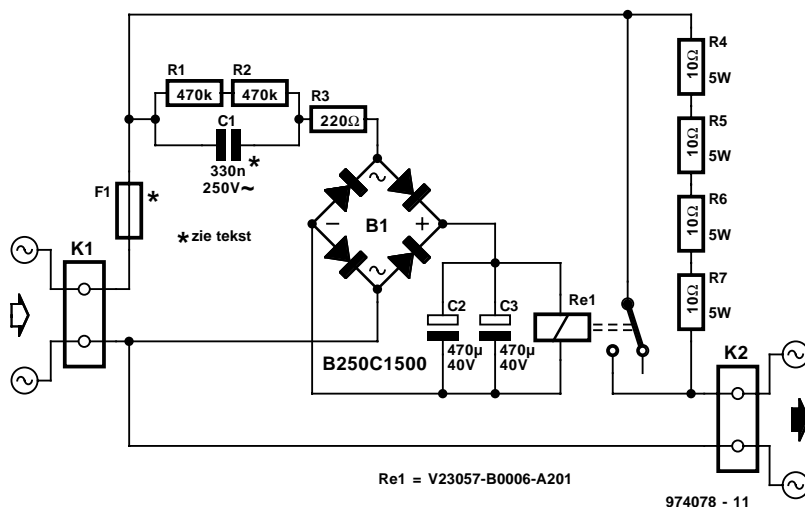
De gestippeld in figuur 3 aangegeven 'netschakelvertraging' is niet verplicht, maar wel zeer aan te bevelen - zeker bij gebruik van ringkerntrafo's. Deze schakeling doet precies wat zijn naam aangeeft en zorgt ervoor dat bij het inschakelen van de netspanning al te grote stroompieken worden vermeden. In Elektuur zijn vaker zulke schakelingen beschreven; de meest recente is te vinden in de halfgeleidergids van '97 en het schema daarvan hebben we nog eens afgedrukt in **figuur 4**. De werking is simpel en berust erop dat na het inschakelen de stroom in eerste instantie wordt begrensd door R4...R7. Na afloop van de door C2 en C3 bepaalde vertragingstijd

worden deze weerstanden door het relais overbrugd en gaat er gewoon de volle stroom lopen tussen K1 en K2. Voor het relais is een type gebruikt dat 2000 VA kan schakelen. De voeding voor het relais wordt via C1, R3 en B1 rechtstreeks uit het lichtnet betrokken; de schakeling is dus aanraakgevaarlijk!

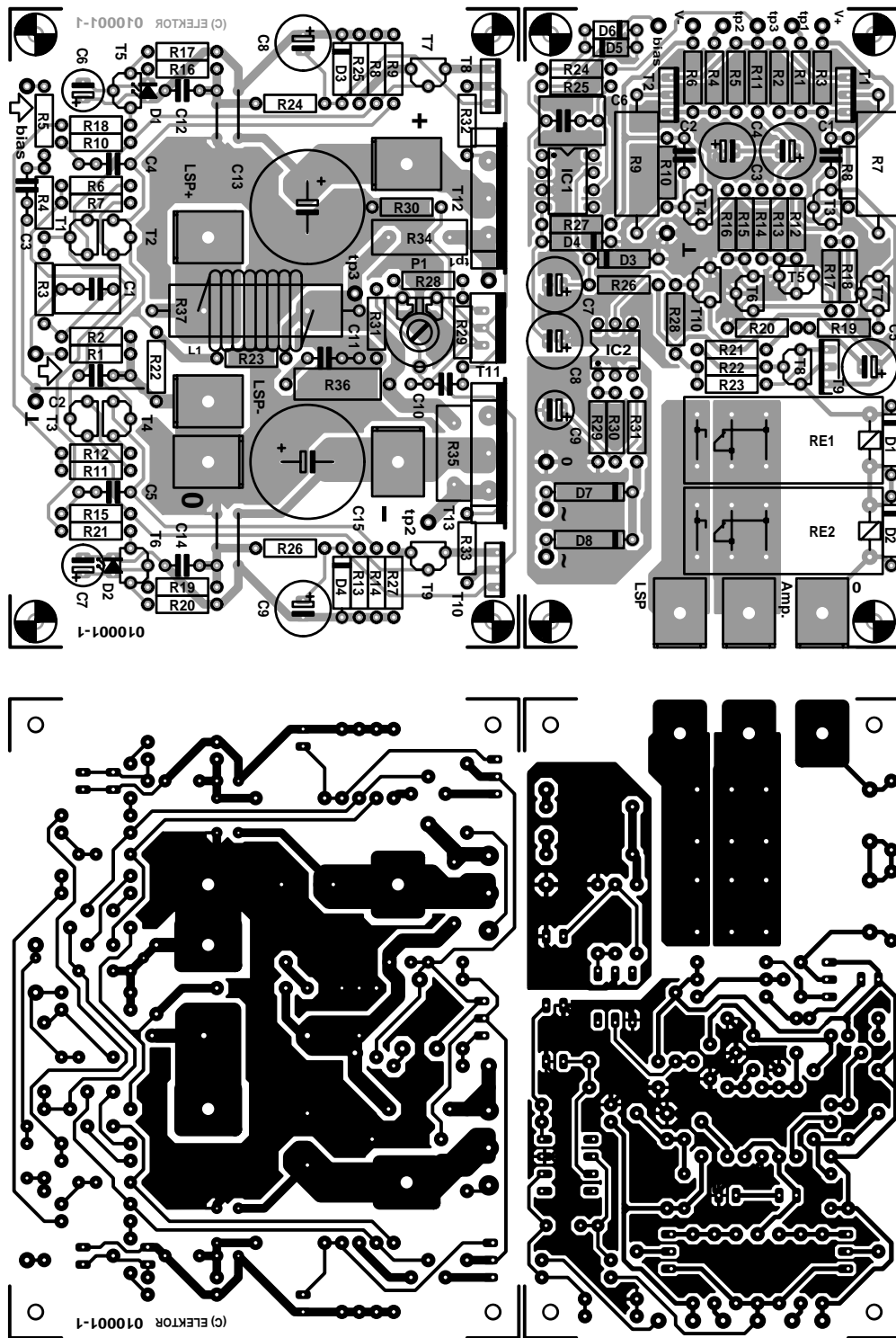
Solderen

In **figuur 5** zijn de print-layouts van de versterker en beveiliging afgedrukt. Deze printen worden als één geheel geleverd en moeten (voorzichtig!) met de zaag van elkaar worden gescheiden. Geroutineerde elektronici zullen voor de opbouw van beide printen weinig aanwijzingen nodig hebben; componentenopdruk en onderdelenlijst spreken eigenlijk voor zich. Toch willen we wel een paar praktische opmerkingen kwijt.

Op de versterkerprint moeten vijf



Figuur 4. Een net-inschakelvertraging als deze voorkomt dat de zekeringen het al bij het inschakelen begeven.



Figuur 5. De versterker- en beveiligingsprint zitten bij aflevering aan elkaar en moeten nog worden losgezaagd.

draadbruggen worden gelegd en het is verstandig om daar bij de opbouw mee te beginnen. Verder zijn er op de versterkerprint twee dingen die als een beetje 'lastig' gekwalificeerd zouden kunnen worden: de thermische koppelingen en uitgangspoel L1.

Voor het thermisch koppelen van de paartjes D1/T5 en D2/T6 volstaat het om de LED tegen de platte kant van de tran-

sistor te monteren. Bij de transistorpaartjes T1/T2 en T3/T4 is het aan te bevelen om er een metalen ringetje omheen te klemmen, en toevallig hebben wij ontdekt dat een passende ring kan worden verkregen door een stukje van een koperen waterleiding af te zagen en dit een beetje in model te buigen.

Het wikkelen van L1 kan gemakkelijk gebeuren om een boor van 8 mm. Daarna

wordt R37 door de spoel gestoken en worden ze beide op de print gesoldeerd, nadat eerst de lak aan de uiteinden van de spoel met een mesje is verwijderd.

De transistoren T8, T10...T13 zijn met opzet naast elkaar aan één kant van de print geplaatst, zodat ze gemakkelijk tegen een en dezelfde koelplaat kunnen worden geschroefd. Uiteraard dienen daarbij wel isolatieplaatjes te worden

Onderdelenlijst versterker

Weerstanden:

R1 = 1 M
R2 = 47 k
R3,R22 = 470 Ω
R4,R5 = 1M8
R6,R7,R11,R12 = 47 Ω
R8,R9,R13,R14 = 1 k
R10,R15 = 330 Ω
R16,R19,R30,R31 = 22 k
R17,R20,R28 = 270 Ω
R18,R21 = 8k2
R23 = 12 k
R24,R26 = 10 k
R25,R27 = 33 Ω
R29 = 120 Ω
R32,R33 = 220 Ω
R34,R35 = 0Ω22/5 W inductie-arm,
bijv. MPC71-serie
R36 = 10 Ω/1 W *
R37 = 1 Ω/5 W
P1 = 1 k instel

Condensatoren:

C1 = 2μ2 MKT, steek 5/7,5 mm
C2,C4,C5 = 1 n
C3 = 180 n
C6,C7 = 100 μ/25 V radiaal
C8,C9 = 220 μ/25 V radiaal
C10,C12,C14 = 100 n
C11 = 10 n *
C13,C15 = 1000 μ/63 V radiaal

Spoelen:

L1 = 9 windingen 1,5 mm CuL-draad
om R37, binnendiameter 8 mm

Halfgeleiders:

D1,D2 = platte rode LED
D3,D4 = 3V9/0W5
T1,T2,T6 = BC546B
T3...T5 = BC556B
T7 = BC560C
T8 = MJE350
T9 = BC550C
T10 = MJE340
T11 = 2SK537 (Toshiba)
T12 = 2SK1530 (Toshiba)
T13 = 2SJ201 (Toshiba)

Diversen:

5 x M3-vlakstekers voor printmontage
3 x keramische (of mica) isolatie voor
T8/T10/T11
2 x mica-isolatie voor T12/T13 (bijv.
TO-218-plaatjes van 21 x 24 mm)
koellichaam: <0,5°C/W (bijv. Fischer
SK47/100 mm)
print: bestelnr. EPS 010001-1
print net-inschakelvertraging: bestelnr.

EPS 974078-1
behuizing: bijv. Monacor type UC113/SW

*) kan vervallen

Onderdelenlijst beveiliging

Weerstanden:

R1,R4 = 390 Ω
R2,R5 = 120 Ω
R3,R6 = 18 k
R7,R9 = 1 k/5 W
R8,R10 = 5k6
R11,R25,R30,R31 = 10 k
R12,R13,R24 = 1 M
R14 = 150 k
R15 = 39 k
R16,R20,R21 = 220 k
R17 = 330 k
R18 = 12 k
R19 = 330 Ω
R22 = 15 k
R23 = 680 Ω
R26,R27 = 4k7
R28 = 470 k
R29 = 3k3

Condensatoren:

C1,C2 = 150 p
C3,C4 = 22 μ/63 V radiaal
C5 = 47 μ/63V radiaal
C6 = 2μ2 MKT steek 5/7,5 mm
C7,C8 = 220 μ/25 V radiaal
C9 = 1 μ/63 V radiaal

Halfgeleiders:

D1,D2 = 1N4148
D3,D4 = 20 V/0W5
D5,D6 = BAT85
D7,D8 = 1N4004
T1 = MJE340
T2 = MJE350
T3,T8 = BC556B
T4...T6,T10 = BC546B
T7 = BC516
T9 = BD140
IC1 = OP77GP (Analog Devices)
IC2 = CNY17-3

Diversen:

Re1,Re2 = G2R-1-E Omron (16A/24V/1100
Ohm)
3 x M3-vlaksteker voor printmontage

toepassingen een bijzonder nuttige schakeling is, hebben we hem alsnog in onze lijst opgenomen.

Bedrading en afregeling

Als de versterker- en beveiligingsprint(en) zijn opgebouwd en aan de hand van de onderdelenlijst nog eens goed zijn nagelopen, dan wordt het tijd om een geschikte behuizing te zoeken. Daarbij dient zich eerst de keus aan of men hem als monoblok of in stereo-uitvoering wil bouwen. Wij kozen bij ons proefmodel voor het laatste, met dien verstande dat we in feite twee monoblokken in één kast hebben gebouwd, met elk hun eigen voeding en netschakelvertraging; alleen de netschakelaar is gemeenschappelijk. Voor de behuizing lieten we het oog vallen op een kast van Monacor met aan weerszijden mooie grote koelplaten (eigenlijk groter dan nodig), waar alles royaal in past.

Omdat we met verschillende printen te maken hebben, omvat de bedrading van de complete versterker nogal wat verbindingen – reden waarom we hiervan in **figuur 8** een apart overzicht geven. De punten V+, V-, massa, tp1, tp2, tp3 en bias op de beveiligingsprint worden via stukjes normale geïsoleerde litzedraad met de corresponderende punten op de versterkerprint verbonden. De punten '-35 V' legt men rechtstreeks aan de trafowikkelingen en punt '0' aan het knooppunt van de afvlakelco's in de voeding.

Voor de verbinding tussen de ingangs(cinch)bussen en de ingangen op de versterkerprint wordt een stukje afgeschermd audiokabel gebruikt.

Voor de uitgangs- en voedingsaansluitingen zijn op de printen vlakstekers (autoconnectors) gemonteerd en de verbindingen dienen uiteraard met stevige kabel te gebeuren; wij gebruikten hiervoor 2,5 mm² installatiedraad. De contacten van Re1 en Re2 op de beveiligingsprint worden simpelweg in serie opgenomen met de versterkeruitgang: uitgang 'LSP+' wordt daartoe aangesloten op relaisingang 'Amp' van de beveiligingsprint en de uitgang 'LSP' van deze print wordt met de positieve uitgangsbuss (banaanstekerbuss) verbonden. De andere banaanstekerbuss wordt direct aan 'LSP-' gelegd.

De noodzakelijke verbinding tussen de massa van de versterker en de metalen kast kan het beste worden gerealiseerd door de cinch-ingangsbussen 'normaal' (geleidend) in de kast te monteren. Let goed op dat niet abusievelijk ook op een andere plaats een verbinding tussen de voedingsnul en de kastmassa wordt gemaakt, want anders ontstaat een 'aardlus' die aanleiding kan geven tot hardnekkige bromverschijnselen.

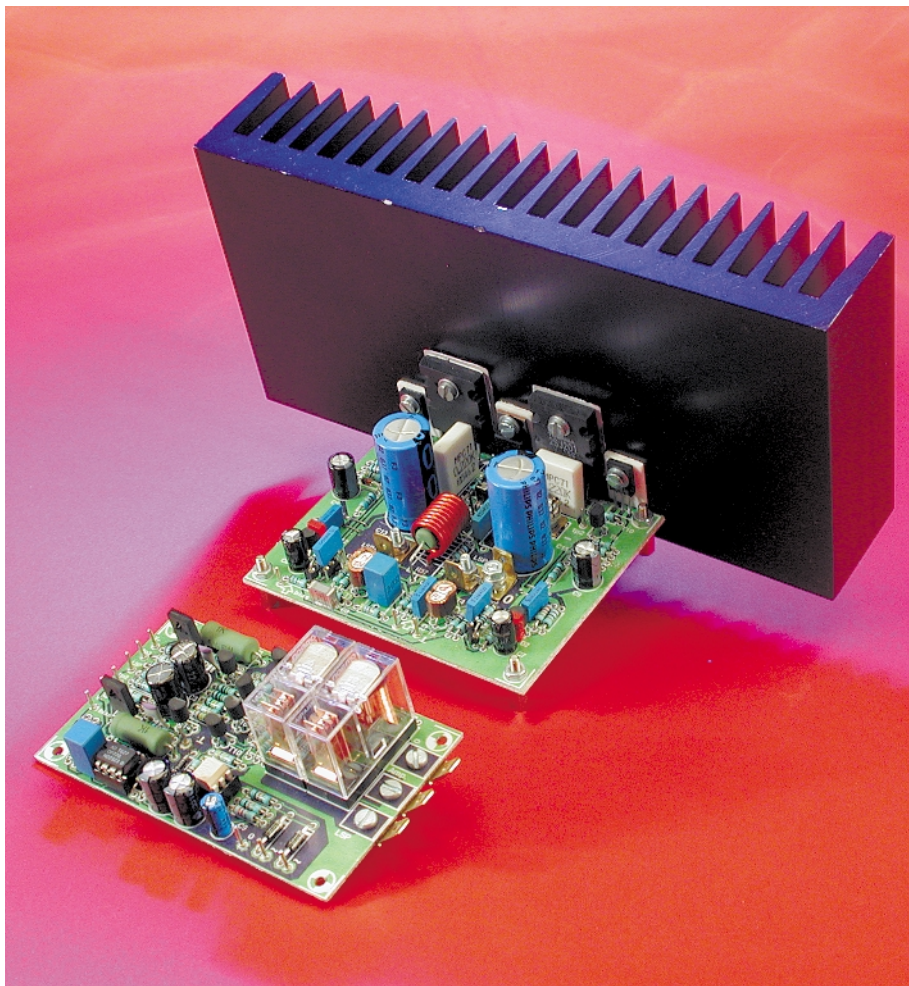
Voor het aansluiten van de 230-V-lichtnetspanning wordt vanzelfsprekend goed

gebruikt, waarbij het (zoals altijd) aan te bevelen is om deze plaatjes eerst dunnetjes met thermische pasta in te smeren. De warmteweerstand van het koellichaam dient kleiner te zijn dan 0,5°C/W. **Figuur 6** toont een van de opgebouwde proefprinten van de versterker met aangemonteerd koellichaam.

Over de beveiligingsprint valt nauwelijks wat te vertellen. Let wel even op de

diameter van elco C5, want die mag niet meer bedragen dan 8 mm; kan men geen passende elco krijgen, dan mag ook een 40-V-type worden gebruikt.

Volledigheidshalve is in **figuur 7** ook nog eens de print-layout van de eerder genoemde net-inschakelvertraging afgebeeld. Deze print is voorheen nooit in de Elektoor-Service geweest, maar omdat deze 'tweetraps-vertraging' voor veel

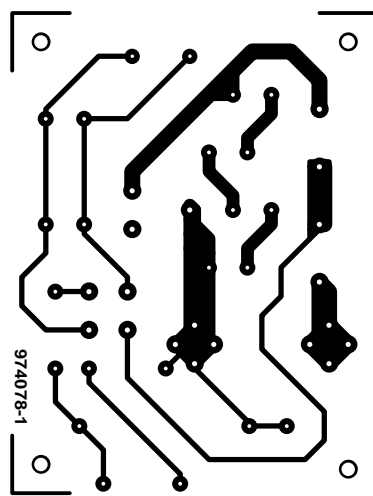
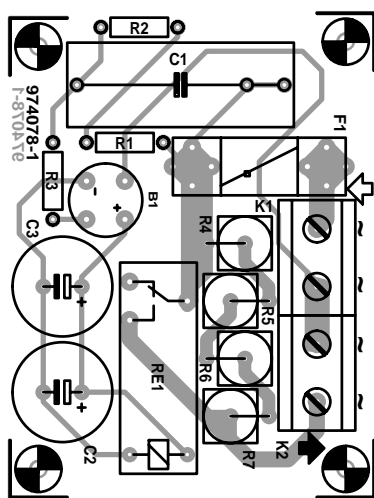


Figuur 6. Zo horen de printen er in opgebouwde vorm uit te zien. Vergeet de isolatieplaatjes voor T8, T10...T13 niet!

geïsoleerde kabel, een degelijke netschakelaar en een dito netentree toegepast. Houdt de elektrische veiligheid van het geheel in de gaten en voorziet de kast van identificatieplaatje met

daarop de voedingsspanning (230 V) en de waarde van de zekeringen.

Wanneer alles nog eens terdege is gecontroleerd en ook de voedingsspan-



Figuur 7. Print-layout van de in figuur 4 weergegeven net-inschakelvertraging.

ning is nagemeten, dan is bijna het moment daar om de versterker in te schakelen. Alvorens dat te doen moet echter instelpotmeter P1 *geheel linksom* worden gedraaid. Anders loopt men de kans dat de ruststroom meteen extreem hoog oploopt en dat is niet de bedoeling.

Na het inschakelen controleert men eerst of de uitgang van de versterker (punt tp3) wel op nul volt staat; enkele millivolts zijn toegestaan, maar als daar 0,1 V of meer wordt gemeten, moet de hele opbouw nog eens nauwgezet worden gecontroleerd, want dan is er iets mis.

Daarna wordt de ruststroom op de juiste waarde ingesteld. De ideale waarde voor deze versterker bedraagt 200 à 250 mA. Men sluit hiertoe de voltmeter parallel aan over R34 (tp1 en tp3) en verdraait P1 langzaam tot daar een spanning van 0,044 à 0,055 V wordt gemeten. Vervolgens laat men de versterker een half uurtje opwarmen en regelt P1 opnieuw op dezelfde waarde af.

Luisteren

Zij die al even een blik hebben geworpen op de in het aparte kader vermelde meetresultaten, zullen al snel geconcludeerd hebben dat de Crescendo cijfermatig heel goed scoort. Maar bekend is inmiddels dat versterkers met nagenoeg identieke specificaties toch heel verschillend kunnen klinken.

Dus dient zich nu de hamvraag aan: hoe klinkt de nieuwe versterker (of 'opgepoetste oude versterker', zo u wilt)?

Het eerste dat ons bij de luistersessies trof is dat de Crescendo bij alle soorten muziek een fraai ruimtelijk en volumineus geluidsbeeld wist neer te zetten. Verschillen tussen goede versterkers onderling zijn altijd heel subtiel natuurlijk, maar tocht ontpopte de Crescendo zich duidelijk als een versterker met een aangenaam warmbloedig karakter.

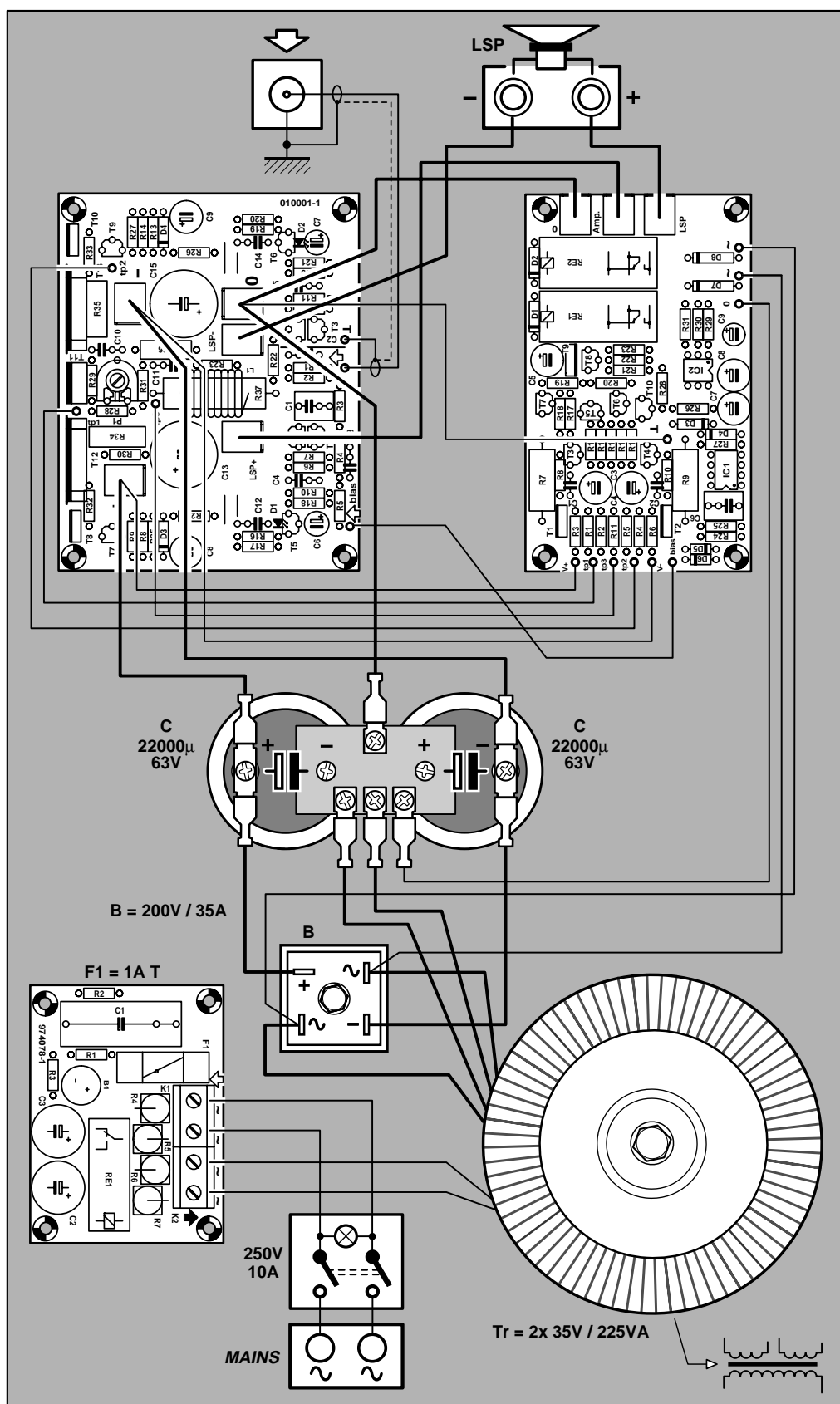
Al luisterend konden we ons na zekere tijd toch iets voorstellen bij de voorkeur van fervente MOSFET-aanhangers, want de geproduceerde klank is net even iets minder afstandelijk en klinisch dan bij een gemiddelde versterker met bipolaire eindtransistoren. Een versterker als de in mei '97 gepubliceerde 'Compact-amp' (nog altijd een van onze favorieten overigens) biedt naar onze overtuiging een reproductie van een nauwelijks te overtreffen natuurgetrouwheid en detaillering, maar mist toch dat spoortje warmte dat zo typerend is voor de Crescendo. Is een van beide daardoor aan te wijzen als de betere versterker? Nee, dat gaat te ver. Daarvoor zijn de verschillen te klein en daarbij blijft zo'n beoordeling altijd heel subjectief. 'Beter' of 'slechter' zijn kwalificaties die hier niet spelen, hooguit 'anders'.

Wel mag het op zijn minst verbazing-

wekkend worden genoemd dat deze Crescendo ondanks (of dankzij?) zijn simpele opzet en ondanks de leeftijd van het oorspronkelijke ontwerp, zich pro-

bleemloos meten kan met veel moderne soortgenoten. Een aanrader, deze versterker, en niet alleen voor MOSFET-fanaten...

(010007)



010001 - 14

Figuur 8. Bedradingschema. Voor de voeding en uitgang van de versterker dient dikke kabel te worden gebruikt!