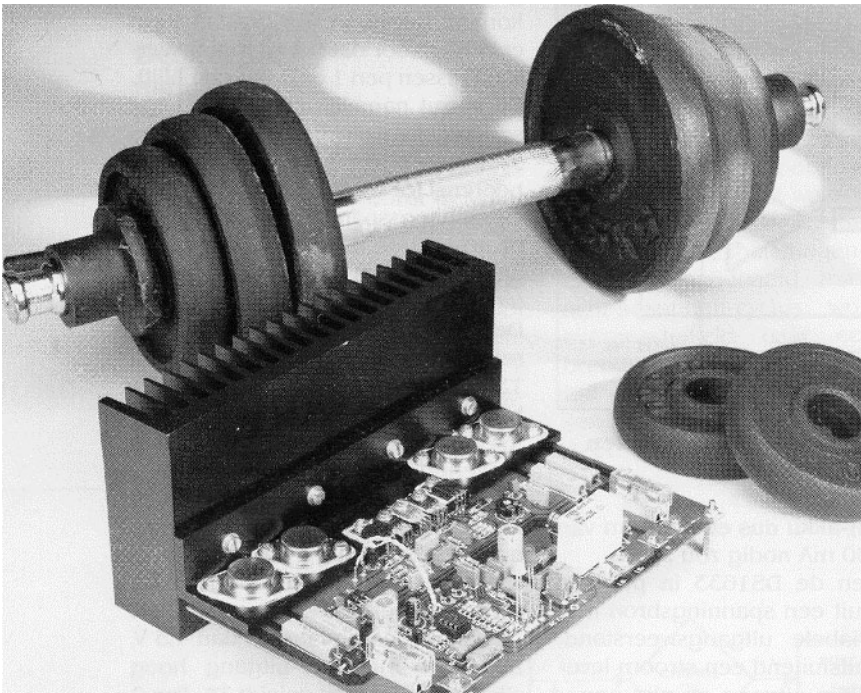


PA-300

power fidelity!

ontwerp: A. Riedl (Duitsland)



De afzonderlijke eigenschappen van deze eindversterker ogen op het eerste gezicht niet bijster revolutionair. Maar het is juist de combinatie ervan in één ontwerp die de PA-300 bijzonder maakt. Een zeer royaal vermogen van 300 W aan 4 Ω gaat hier hand in hand met een robuust karakter en een in verhouding simpele opzet. Niettemin ontpopt deze "nabouwwriendelijke" versterker zich bij het luisteren als een puur hifi-instrument en komt hij ook nog eens met goede meetresultaten voor de dag. Een muzikale reus!

Bij het ontwerpen van een eindversterker kun je verschillende uitgangspunten hanteren. Je kunt je helemaal richten op het "high-fidelity"-aspect en compromisloze kwaliteit nastreven. Je kunt mikken op eenvoud en probleemloosheid. Of je kunt een filosofie kiezen waarbij alles wordt opgeofferd aan een kolossaal uitgangsvermogen. Bij de P-300 was van meet af duidelijk dat het een compromis moest worden tussen de twee laatste punten. Het was de bedoeling om een versterker te maken met een probleemloos rechttoe-rechtaan-karakter en een royaal vermogen. Dus vooral geen dure, exotische onderdelen en geen onnodige complexiteit, omdat zulks de nabouw meteen beperkt tot een kleine kring van gevorderde audio-specialisten.

Gewoon een "eerlijke" versterker met goede hifi-eigenschappen, die liefst voor zo veel mogelijk mensen nabouwbaar is.

Voorop stond tevens dat de versterker qua vermogen niet te krenterig bedeed mocht zijn, omdat de inzetbaarheid daardoor toch wordt beperkt. We weten allemaal wel dat voor gebruik in de huiskamer een vermogen van 30 a 40 W per kanaal in principe toereikend is, maar daarbij vallen op zijn minst een paar kanttekeningen te maken. In de eerste plaats is het zo dat bij het weergegeven van muziek de pieken het tien- a twintigvoudige kunnen bedragen van het gemiddelde nivo. Dus een zekere reserve is toch wel wenselijk. In de tweede plaats zijn er nogal wat luidsprekerboxen met een zodanig laag rendement dat er echt

meer dan 40 W ingepompt dient te worden om ze tot leven te wekken. En wil men tenslotte een versterker die universeel genoeg is om ook nog andere ruimten dan een doorsnee huiskamer met geluid te vullen, dan moet daar nog een scheepje bovenop gedaan worden. Onder het motto "liever een pietsie meer, dan te weinig", werd deze versterker daarom afgestemd op een vermogen van zo'n 300 W aan 4 Ω. Daarmee zal men niet snel te kort komen. Al met al is de mix van verschillende eigenschappen hier best goed gelukt. De PA-300 kan wel degelijk gekarakteriseerd worden als een betrouwbare, forse eindtrap, die qua omvang en kosten voor een breed publiek bereikbaar is. En hoewel bij het ontwerp niet gestreefd is naar de absolute perfectie, bleek de versterker ook in gehoormatig en meettechnisch opzicht zijn mannetje uitstekend te staan. In feite overtroffen de meetresultaten onze eigen verwachtingen!

We laten het dan ook geheel aan uw eigen interpretatie over om, na lezing van dit artikel en eventueel na het bouwen van de versterker, uit te maken waar de afkorting "PA-300" voor staat. En het maakt ons niet uit of u nu voor "public address" danwel voor "power amp" kiest.

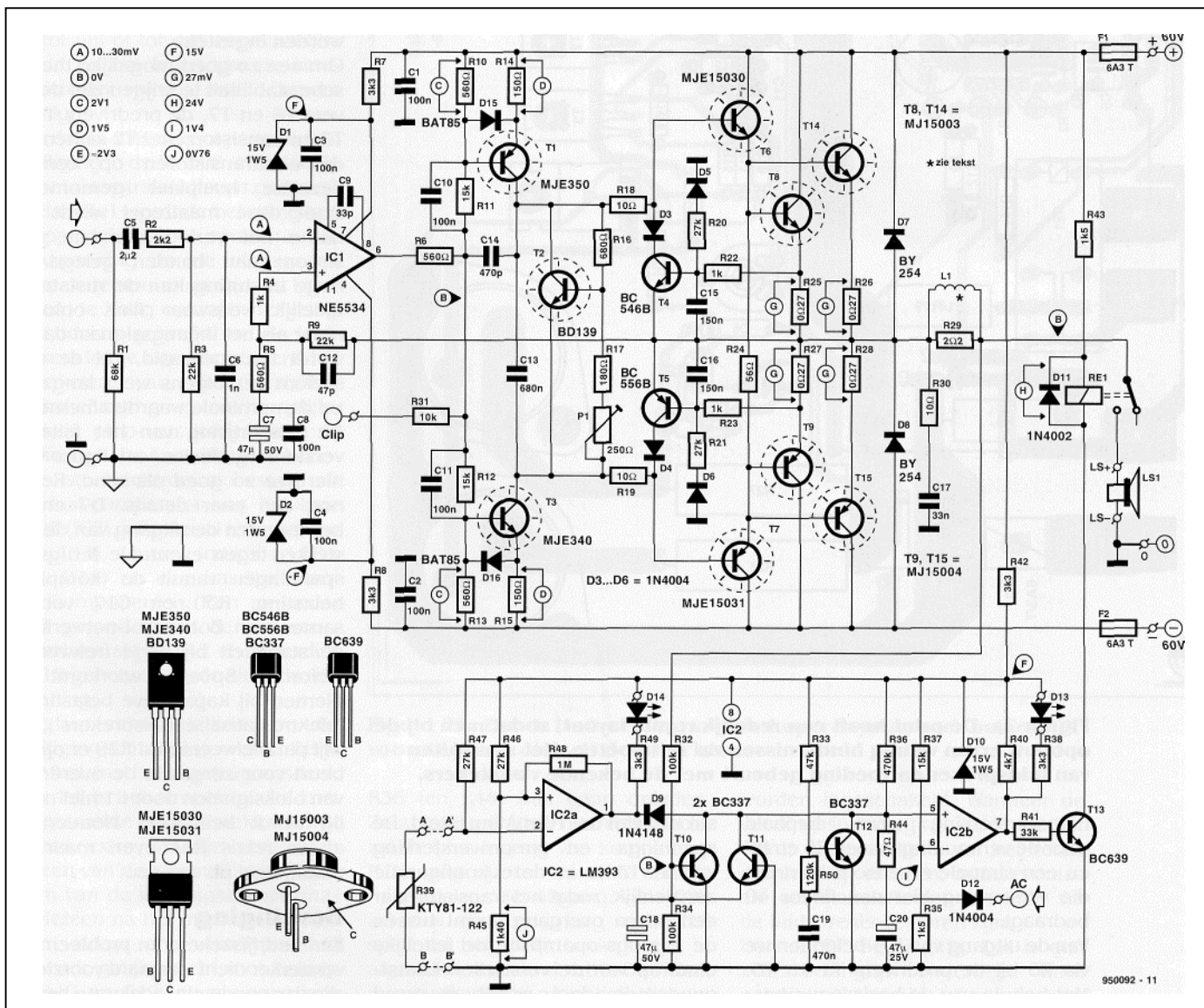
Simpele opzet

Aangezien elke versterker in de vorm van eindtransistoren, drivers en ruststroominstelling een aantal standaardelementen bevat, zal het schema van figuur 1 zeker voor audiohobbyisten veel bekende trekjes vertonen. In dit geval worden de opvallende, meer specifieke details gevormd door de hoogte van de voedingsspanning en de aanwezigheid van twee IC's. Dat de voedingsspanning wat hoger is dan gebruikelijk, heeft uiteraard alles te maken met feit dat bij deze eindversterker het uitgangsvermogen ook wat groter is dan gemiddeld - dus dat is niet zo vreemd. Verder bevindt zich IC2, samen met T10...T13 en omringende componenten niet in de signaalweg, zodat de meer ervaren audiohobbyisten al snel terecht zullen konkluderen dat dit wel het beveiligingscircuit zal vormen. En daarbij is toepassing van geïntegreerde componenten in de vorm van opamps of komparators niet echt uniek of bijzonder. Houden we IC1 over en die vormt,

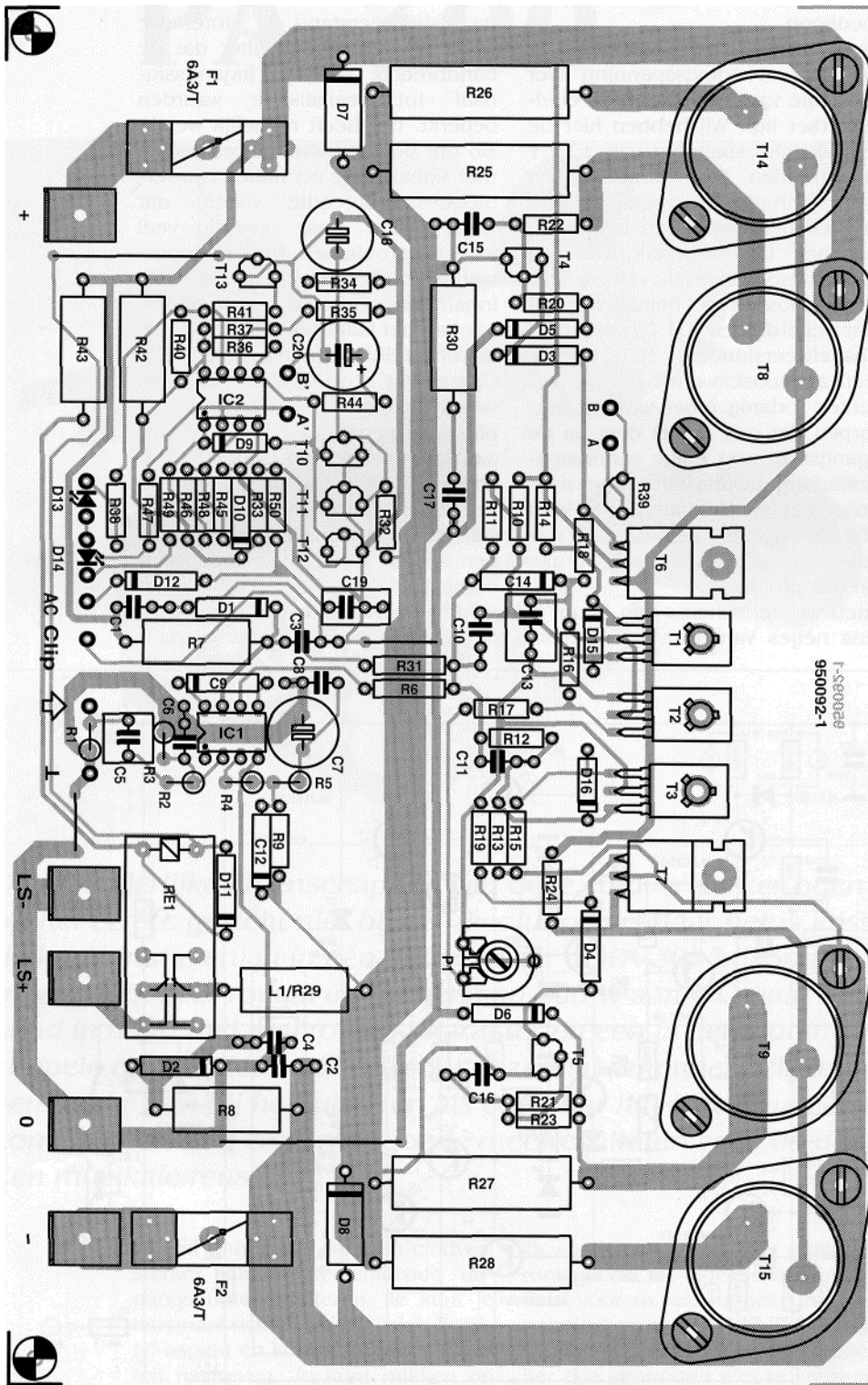
toegepast op deze plaats, wel een bijzonder detail. Normaliter is de ingangstrap van een eindversterker steevast diskreet opgebouwd. Meestal bestaat die uit een verschilversterker of een dubbele verschilversterker, gevolgd door nog een spanningsversterker in de een of andere vorm (vaak ook een verschiltrap) om de predrivers aan te sturen. Hier is dat complete ingangsdeel vervangen door één enkele opamp, te weten een NE5534. Het mag dan wat onkonventioneel zijn om een opamp in een eindversterker aan te treffen, feit is wel dat de NE5534 prima voor die taak berekend is. Dat wordt duidelijk als men blik op het inwendig schema van de opamp slaat (zie apart kader), maar het blijkt eigenlijk ook al uit het simpele feit dat de NE5534 in negen van de tien CD-spelers een fors deel van de analoge signaalverwerking voor zijn rekening neemt. Daarbij is de opamp voor de gebo-

den kwaliteit ook nog eens spotgoedkoop. Als enige nadeel geldt het feit dat de maximale voedingsspanning ver onder die van de rest van de eindversterker ligt. Wij hebben hier de gebruikelijke spanning van ± 15 V aangehouden. Dat vraagt om een extra symmetrische voedingsspanning en het vormt een beperking van het uitstuurbereik van de ingangstrap. Het eerste valt vrij simpel op te lossen met behulp van een paar zenerdioden (D1,D2) en voorschakelweerstanden. Het tweede heeft als consequentie dat de versterker zodanig moet worden ontworpen dat ook in het deel na de ingangstrap nog enige spanningsversterking plaatsvindt. Maar aangezien het verschil tussen ± 15 V en ± 60 V slechts een factor vier belooft, is ook hier niet echt sprake van een probleem. Laten we het schema van figuur 1 eens netjes van links naar rechts

doornemen. na afsluitweerstand R1 stoten we eerst op een ingangfilter dat de bandbreedte van het ingangssignaal tot realistische waarden beperkt. Het heeft namelijk weinig zin om de versterker te vermoeien met signalen die ver buiten zijn vermogensbandbreedte vallen; dat geeft alleen maar onnodig veel kans op problemen. Het hoogdoorlaatfilter C5/R3 begrenst de ingangsbreedte aan de onderkant en het laagdoorlaatfilter R2/C6 doet hetzelfde aan de bovenkant. Opamp IC1 is op klassieke wijze als verschilversterker geschakeld. De plus-ingang van IC1 fungeert als aansluitpunt voor de overall-tegenkoppeling. Vanuit de uitgang van de versterker (knooppunt R25...R28) zien we daartoe een leiding teruglopen, die via R9 aan het knooppunt R4/R5 ligt. C9, C12 en C14 zorgen bij die terugkoppeling voor de benodigde compensatie. De totale span-



Figuur 1. Het schema van de PA-300 oogt als geheel vrij konventioneel. Alleen de toepassing van een opamp aan de ingang (IC1) vormt een opvallend detail.



Figuur 2a. De print heeft een redelijk royale layout, zodat men bij de opbouw ervan weinig hindernissen zal ontmoeten. Het aansluiten van luidspreker en voeding gebeurt met de bekende vlakstekers.

ningsversterking wordt bepaald door de verhouding tussen R5 en R9 en een simpele rekensom leert dat die versterking hier een factor 40 bedraagt.

Van de uitgang van IC1 belanden we via R6 bij de predrivers T1 en T3. Met behulp van de basisspanningsdeler R10...R13 en hun respectievelijke emitterweerstand zijn deze transistoren in klasse A op een

stroom van ca. 10 mA ingesteld. De spannings- en stroomversterking van T1/T3 is in deze configuratie aanzienlijk, zodat het transistorpaar een prima overgang vormt tussen de ingangs-opamp en de feitelijke eindtrap van de versterker. Laatstgenoemde deel wordt gevormd door de drivers (T6/T7) en de eindtransistoren (T8, T14/T9, T15), welke tot symmetrische power-darling-

tons zijn gekombineerd. Met het oog op het forse uitgangsvermogen zijn de eindtransistoren dubbel uitgevoerd. Aangezien de hier toegepaste typen MJ15003 en MJ15004 ieder afzonderlijk een kollektorstroom van liefst 20 A kunnen hanteren en een maximale vermogensdissipatie van 250 W bezitten, zullen er niet snel belastbaarheidsproblemen ontstaan.

Bij de eindtrap is gekozen voor de gebruikelijke klasse-AB-instelling, om een naadloze overgang tussen de NPN- en PNP-transistoren te bewerkstelligen en crossover-vervalsing te vermijden. Daarvoor is vereist dat er ook zonder ingangssignaal reeds een (kleine) stroom door de eindtorren wordt gestuurd. Dat is de taak van de rond T2 opgebouwde "transistorzener". Hiermee wordt een zodanige voorspanning op de bases van T6 en T7 gezet dat deze drivers en de erop volgende eindtransistoren in rust niet gaan geleiden. De hoogte van de ruststroom kan met P1 nauwkeurig worden ingesteld.

Om een zo goed mogelijke thermische stabiliteit te krijgen zijn de drivers T6 en T7, de predrivers T1 en T3 en transistorzener T2 samen met de eindtransistoren op een en dezelfde koelplaat gemonteerd. Door deze maatregel wordt met name het verloop van de ruststroom aan banden gelegd. Bij hoge uitsturing kan de ruststroom tijdelijk weliswaar flink oplopen, maar als het ingangssignaal daarna wordt teruggedraaid, zal de ruststroom vervolgens weer langzaam tot de nominale waarde afnemen. De beschrijving van het feitelijke versterkergedeelte van figuur 1 is hiermee zo goed als rond. Resten nog een paar details. D7 en D8 beschermen de uitgang van de versterker tegen eventuele terugslagspanningen vanuit de (komplexe) belasting. R30 en C17 vormen samen een Boucherot-netwerk dat de stabiliteit bij hoge frequenties bevordert. Spoel L1 voorkomt problemen bij capacatieve belastingen (elektrostatische luidsprekers!), terwijl parallelweerstand R29 er op zijn beurt voor zorgt dat de overdracht van bloksignalen door L1 niet nadelig wordt beïnvloed. Houden we alleen relais Rel over, maar dat maakt deel uit van de...

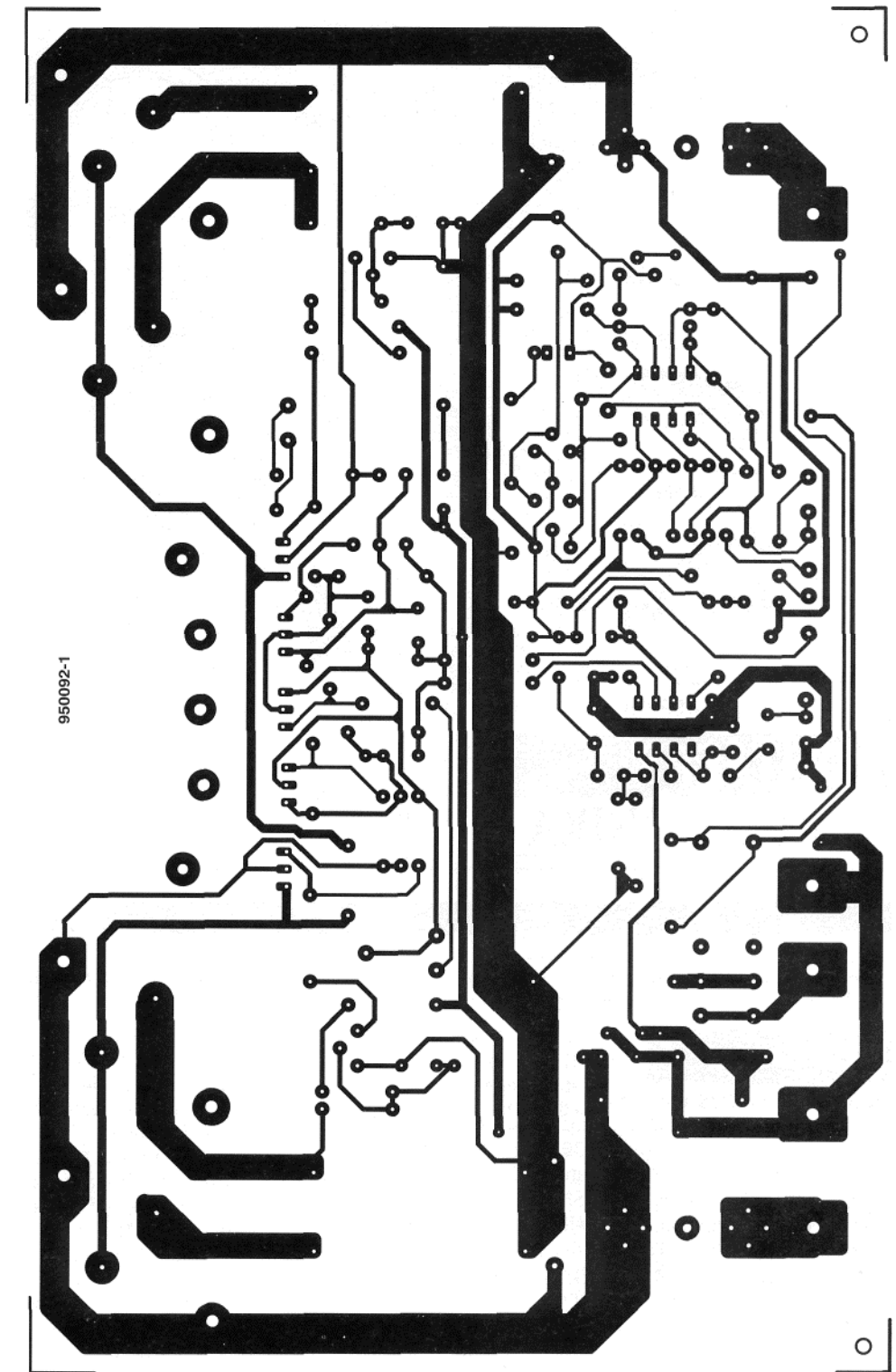
Beveiliging

Een bedrijfszekere en probleemloze versterker dient uiteraard voorzien te zijn van een aantal adequate beveiligingen. Daar is bij de PA-300 dan ook de nodige aandacht aan besteed. Dat begint al bij de zekerin-

gen F1 en F2, welke in geval van overbelasting of kortsluiting gevaarlijk hoge stromen voorkomen. Nu is het bij smeltveiligheden altijd maar de vraag of zij snel genoeg reageren om elke vorm van schade aan de versterker voor te blijven. Maar al te vaak blijken halfgeleiders aanzienlijk sneller te zijn dan deze mechanische beveiligers, en hebben de eindtorren al de geest gegeven voordat de zekeringen goed en wel op temperatuur zijn gekomen. Daarom is hier een elektronische kortsluitbeveiliging toegevoegd, bestaande uit T4 en T5 en omringende componenten. De werking *daarvan* is simpel. *Zodra* er door de uitgangsweerstanden R25 en R27 als gevolg van overbelasting of kortsluiting een ontoelaatbaar grote stroom gaat lopen, zal er over de weerstanden zo veel spanning vallen dat de basis/emitter-drempel van T4 en T5 wordt overschreden. Deze gaan dan geleiden en sluiten *daarmee* het stuursignaal op de basis van T6 en T7 geheel of gedeeltelijk kort. De uitgangsstroom daalt dan tot nul of tot een ongevaarlijke waarde en het leven van de eindtransistoren wordt niet langer bedreigd.

Maar dat is niet de enige vorm van beveiliging in de PA-300. Met behulp van het daarstraks al even genoemde relais Rel wordt de belasting losgekoppeld indien er sprake is van gelijkspanning op de uitgang en indien de temperatuur van het koellichaam te hoog oploopt. Het relais wordt tevens gebruikt om de luidsprekers los te koppelen tijdens het inschakelen van de versterker (inschakelvertraging), om mogelijke storende plop- en knaleffekten te voorkomen. De voor dit alles benodigde stuelelektronica bestaat uit een dual-comparator van het type LM393 (IC2), een viertal transistoren (T10...T13), twee indicatie-LED's (D13, D14) en een handvol standaardcomponenten. Een en ander wordt gevoed vanuit de met voorschakelweerstand R42 en zenerdiode D10 gekonstrueerde simpele 15-V-voeding.

Laten we eens bekijken hoe die beveiligingsschakeling werkt. Eerst maar het inschakelvertragingdeel, want dat is het simpelste. De met "AC" gemerkte printkonektor wordt via een extra draadje verbonden met een van de sekundaire aansluitingen van de voedingstransformator. Meteen na het inschakelen verschijnt aldaar een wisselspanning die wordt gelijkgericht met behulp van D12 en C19, en als negatieve spanning via R50 aan T12 wordt toegevoerd. Die transistor zal daardoor sperren, zodat C20 zich via

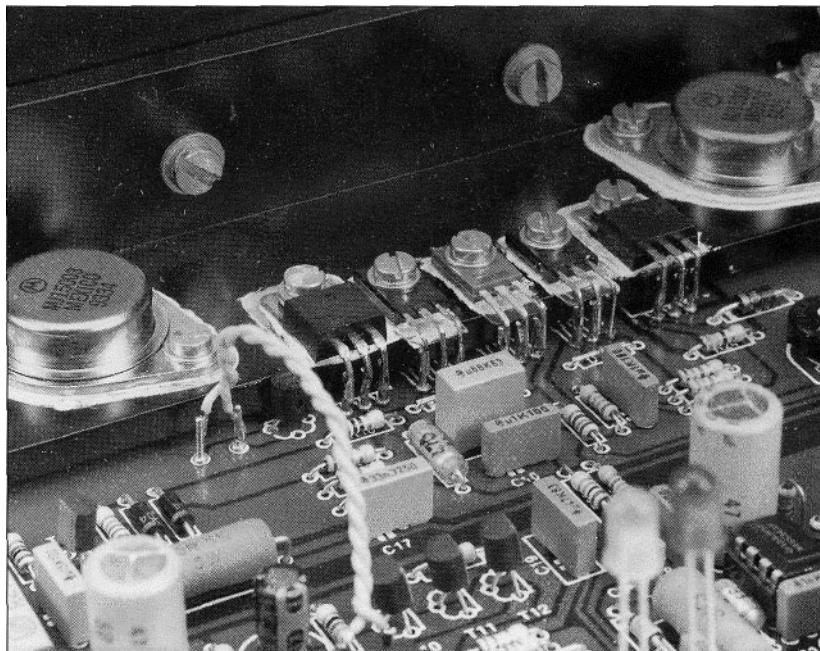


Figuur 2b. Een 1:1-afbeelding van de koper-layout, zeer belangrijk voor degenen die zelf de print etsen.

R36 (en R44) kan gaan opladen. Zolang dit opladen niet voltooid is, zal de plus-ingang van comparator IC2b laag zijn ten opzichte van de min-ingang; de uitgang van IC2b zal dus eveneens laag zijn, T13 spert en het relais bevindt zich in afgefallen toestand. LED D13 licht nu op. Wanneer na enkele seconden C20 is opgeladen, dan klapt de comparator om; D13 dooft, het relais trekt aan en de luidsprekers

worden ingeschakeld. Wanneer de voedingsspanning van de versterker wordt uitgeschakeld, zal het relais onmiddellijk afvallen, zodat eventuele uitschakeleffekten evenmin via de luidspreker te horen zijn. Dan de DC-beveiliging. Dat is een zeer belangrijk onderdeel, want mocht er als gevolg van een eventueel defect aan de versterker gelijkspanning op de uitgang komen te staan, dan lopen de aangesloten

luidsprekers groot gevaar vernield te worden. Om dat te voorkomen wordt de uitgangsspanning via weerstandsdeler R32/R34 toegevoerd aan T10 en T11, die in feite voor een continue bewaking zorgen. Wisselspanningen blijven zonder invloed omdat die door C18 worden afgevoerd naar massa. In geval van een positieve (meer dan 1,7 V) of negatieve (meer dan -4,8 V) gelijkspanning zal echter ofwel T10 ofwel T11 onmiddellijk gaan geleiden. De plus-ingang van IC2a wordt dan omlaaggetrokken, zodat de komparator omklapt, T13 spert en het relais afvalt - een toestand die wederom door het oplichten van LED D13 wordt aangegeven. De temperatuurbeveiliging is niet per se nodig, *maar* biedt in geval van hoge omgevingstemperaturen of een te krappe koeling net dat beetje extra zekerheid. Als sensor dient R39. Dit is een soort "PTC" (temperatuurgevoelige halfgeleider met een positieve temperatuurcoëfficiënt) die een zodanig plaatsje op de print heeft dat hij tegen het hoekprofiel op de print aan leunt. Als onder invloed van de temperatuur de waarde van R39 zodanig is gestegen dat de spanning op de min-ingang van komparator IC2a boven de met R45 en R46 ingestelde spanning op de plus-ingang komt, dan wordt de uitgang van IC2a laag. Dat heeft het inmiddels bekende gevolg



Figuur 3. Hier is goed te zien hoe de transistoren via een hoekprofiel tegen het koellichaam worden gemonteerd.

dat IC2b omklapt, T13 spert en het relais afvalt. Om aan te geven dat in dit geval de koelplaattemperatuur de oorzaak is, is de uitgang van IC2a op dezelfde manier als die van IC2b voorzien van een LED-indicator. Als D14 oplicht, wordt het dus hoog tijd om iets aan de temperatuur te doen! De zaak is zo gedimensioneerd dat de beveiliging aanspreekt bij een koelplaattemperatuur van ca. 70 °C.

Mocht het relais de neiging vertonen om te gaan klapperen, dan kan dit worden verholpen door meekoppelweerstand R48 iets te verlagen. Volledigheidshalve moeten we in dit hoofdstuk "beveiliging" ook nog even melding maken van het aansluitpunt "clip" dat via R31 met de uitgang van opamp IC 1 is verbonden. Dit punt is op de print met opzet naar buiten gevoerd om even-

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 1 x 68 k
 R2 = 1 x 2k2
 R3,R9 = 2 x 22 k
 R4,R22,R23 = 3 x 1 k
 R5,R6,R10,R13 = 4 x 560Ω
 R7,R8,R42 = 3 x 3k3/5 W
 R11,R12,R37 = 3 x 15 k
 R14,R15 = 2 x 150 Ω
 R16 = 1 x 680 Ω
 R17 = 1 x 180 Ω
 R18,R19 = 2 x 10 Ω
 R20,R21,R46,R47 = 4 x 27 k
 R24 = 1 x 56 Ω
 R25...R28 = 4 x 0Ω27/5 W
 R29 = 1 x 2Ω2/5 W
 R30 = 1 x 10 Ω/5 W
 R31 = 1 x 10 k
 R32,R34 = 2 x 100 k
 K33 = 1 x 47 k
 R35 = 1 x 1k5
 R36 = 1 x 470 k
 R38,R49 = 2 x 3k3
 R39 = 1 x temperatuursensor type KTY81-122 R40 = 1 x 4k7 R41 = 1 x 33 k
 R43 = 1 x 1 k5/5
 WR44 = 1 x 47 Ω
 R45 = 1 x 1k40 1%
 R48 = 1 x 1 M R50 = 1 x 120 k

P1 = 1 x 250 Ω instel

Kondensatoren:

C1...C4,C8,C10,C11 = 7 x 100 n
 C5 = 1 x 2u2 MKT, steek 5 mm
 C6 = 1 x 1 n
 C7,C18 = 2 x 47u/50 V bipolar rad.
 C9 = 1 x 33 p/160 V styroflex
 C12 = 1 x 47 p/160 V styroflex
 C13 = 1 x 680 n
 C14 = 1 x 470 p/160 V styroflex
 C15,C16 = 2 x 150 n
 C17 = 1 x 33 n
 C19 = 1 x 470 n
 C20 = 1 x 47u/25 V radiaal

Halfgeleiders:

D1,D2,D10 = 3 x zener 15 V/1W5
 D3...D6,D12 = 5 x 1N4004
 D7,D8 = 2 x BY254
 D9 = 1 x 1N4148
 D11 = 1 x 1N4002
 D13,D14 = 2 x LED
 D15,D16 = 2 x BAT85
 T1 = 1 x MJE350
 T2 = 1 x BD139
 T3 = 1 x MJE340
 T4 = 1 x BC546B
 T5 = 1 x BC556B
 T6 = 1 x MJE15030
 T7 = 1 x MJE15031
 T8,T14 = 2 x MJ15003
 T9/T15 = 2 x MJ15004
 T10...T12 = 3 x BC337

T13 = 1 x BC639
 IC 1 = 1 x NE5534
 IC2 = 1 x LM393

Diversen:

LI = 1 x 0,7 uH (15 wdgn. 1-mm-lakdraad over R29) Rel = 1 x 16-A-relais, spoelspanning 24 V/875Ω (bijv. Siemens V23056-A0105-A101) F1,F2 = 2 x glaszekering 6,3 AT + printzekeringhouder 5 x vlaksteker (schroefmontage) voor voedings- en luidspreker aansluitingen mica isolatie voor T1..T3, T6..T9, T14 en T15 hoekprofiel SWP40, 20 cm lang (Fischer, 40x30x5) koelplaat: hoe lagere R_{th} hoe beter (< 0,4 K/W) 1 print EPS 950092-1 (zie pag. 6)

Voedingsvoorstel:

1 x voedingstrafo, sek. 2 x 40 V/625 VA (Amplimo 91026), met eventueel 2x4 wdgn. extra (let op fase van hulpwikkelingen!) 1 x zekering 3,15 A traag, I²t > 400 l x brugcel 400 V/35 A 4xelko 10.000 u/100 V netschakelvertraging: print EPS 924055 (zie HG '92)

De in de PA-300 toegepaste opamp behoort zonder twijfel tot de meest populaire operationele versterkers. De NE5534 is een zeer veelzijdige low-noise opamp, met een uitzonderlijk goede prijs/kwaliteitsrelatie. Hij is al jaren op de markt en inmiddels uitgegroeid tot een regelrechte klassieker.

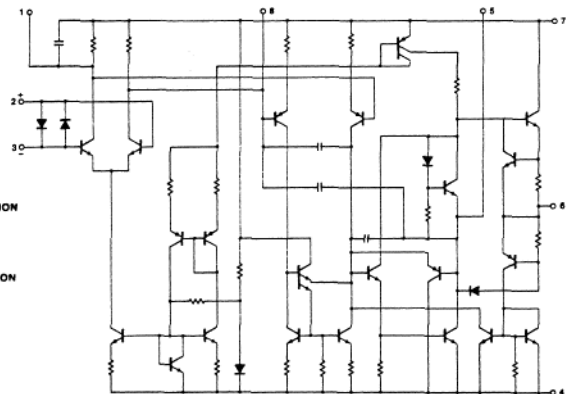
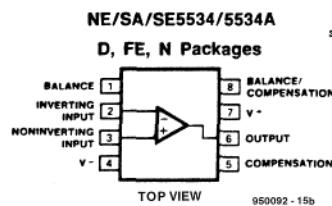
Vergeleken met oudere typen presteert de NE5534 aanzienlijk beter qua ruisgedrag, klein-signaalgedrag en vermogensbandbreedte. Ook de uitstuurbaarheid van de uitgang is veel beter. Dat maakt hem voor tal van toepassingen geschikt, maar nergens wordt hij zo vaak aangetroffen als in hoogwaardige audio-apparatuur. Tot in de duurste CD-spelers vervult de NE5534 vaak een centrale rol in het analoge gedeelte en zet daarbij prestaties neer die respect afdwingen.

Het hierbij afgedrukte (vereenvoudigde) schema geeft een idee van het inwendige van dit "audio-werkpaard". Zoals te zien, gaat het om een hele serie verschilversterkers die alle met behulp van stroombronnen en stroomspiegels zijn ingesteld. Uitgekiende compensaties resulteren in een uitstekende lineariteit en een zeer lage vervorming.

De interne configuratie is standaard afgestemd op een versterking van drie maal of meer. De frekwentiekurve kan met behulp van een externe condensator worden geoptimaliseerd voor verschillende toepassingen. Zo kan de opamp worden afgestemd op capacatieve belasting, hoge slew-rate, lage overshoot of op toepassing als 1 x-versterker.

Een paar belangrijke eigenschappen van de NE5534:

- kleinsignaal-bandbreedte: 10 MHz
- uitgangsspanning: 10 V_{rms} over 600 Ω (bij U_b = ±18 V)
- ingangsrui: 4 nV/√Hz
- DC-spanningsversterking: 100.000
- AC-spanningsversterking: 6000 bij 10 kHz
- vermogensbandbreedte: 200 kHz
- slew-rate: 13 V/us
- voedingsspanningsbereik: ±3V...±20 V



tueel met behulp van een externe schakeling een oversturingsindicatie mogelijk te maken. Hiervoor kan in principe met een simpele komparator/LED-kombinatie worden volstaan. Wellicht dat we in de nabije toekomst nog eens een speciaal hierop geënt schakelingetje zullen publiceren. Vooralsnog kan aansluitpunt "clip" gewoon open blijven.

Praktische realisatie

Papier is geduldig. De stap van theoretisch ontwerp naar werkend apparaat is groot en moeilijk: vaak blijken berekeningen net niet te kloppen en steken onverklaarbare oscilleerneigingen de kop op. De praktische vertaling van het "papier" ontwerp is in dit geval echter uitstekend gelukt en dat is niet in de laatste plaats te danken aan de zeer uitgekende layout van de in figuur 2 afgebeelde print.

De opbouw van de versterker op die print is in feite verrassend simpel. De layout is overzichtelijk en royaal, zodat alle componenten er zonder gepruts of gepriegel op gemonteerd kunnen worden. Zeker als men zo verstandig is om te beginnen met de kleine liggende onderdelen zoals de weerstanden en daarna met de staande componenten zoals de eiko's, de zekeringhouders en het relais - maar dat spreekt eigenlijk vanzelf.

Voor de rest behoeft de opbouw van de print eigenlijk nauwelijks nadere toelichting. "Moeilijke" onderdelen kent de schakeling niet en het is dus

eigenlijk louter een kwestie van het netjes volgen van de componentenopdruk aan de hand van de Onderdelenlijst. Een paar details: IC 1 en IC2 kunnen het beste op voetjes worden gemonteerd. De indicatie-LED's D13 en D14 komen bij inbouw van de versterker natuurlijk op het frontpaneel van de kast te zitten, en daarom is het aan te bevelen om hiervoor soldeerpennen op de print te monteren en ze via stukjes soepele draad aan te sluiten. Spoel L1 kan eenvoudig zelf worden gemaakt door 15 windingen gelakte koperdraad met een doorsnede van 1 mm op weerstand R29 te wikkelen. Zoals gezegd worden eindtransistoren, drivers, predrivers en transistorzener thermisch gekoppeld op één koellichaam. De print is dan ook zodanig opgezet dat al deze transistoren zich netjes op een rij aan één kant bevinden. Het is nu de bedoeling dat de transistoren eerst op een aluminium hoekprofiel (Fischer SWP40) worden bevestigd, en dat daarna het geheel van hoekprofiel en transistoren op de print wordt gemonteerd. Een 1:1-kopie van de print-layout kan als boormal dienen voor het hoekprofiel. Het is waarschijnlijk onnodig te zeggen dat de montage van alle transistoren met behulp van isolatieplaatjes en -ringetjes/busjes dient te gebeuren. Zitten de transistoren eenmaal op de print, dan kan het hoekprofiel op degelijke wijze met een geschikt koellichaam worden verbonden. Laatstgenoemde zal een thermische

weerstand van minder dan 0,4 K/W dienen te hebben en in feite geldt voor dit koellichaam gewoon "hoe groter hoe beter" - zeker als men van plan is om straks regelmatig het volle vermogen van de versterker aan te spreken.

Figuur 3 toont een foto van een proefopbouw van onze versterkermodule. Daarbij moet echter meteen worden aangetekend dat het hier zichtbare koellichaam met name bij 4-Ω-belasting veel te klein bleek. Bij 8 n voldeed het redelijk, maar was het in feite ook wat aan de krappe kant. Bij langdurige volle uitsturing trad namelijk zo nu en dan de temperatuurbeveiliging in werking. Een geforceerde koeling is daarbij dan noodzakelijk. Nu we het toch over die temperatuurbeveiliging hebben: als u de componentenopstelling van figuur 2 nog even goed bestudeert, zult u zien dat sensor R39 zich naast T6 bevindt en zodanig is geplaatst dat hij met zijn platte kant tegen de rand van het hoekprofiel leunt. Voor een effectieve werking van de beveiliging zal daar dus voor een goed thermisch contact moeten worden gezorgd. Als de sensor is gemonteerd, dient er nog een verbinding te worden gemaakt met de ingang van het beveiligingscircuit. Dat kan door met behulp van twee stukjes geïsoleerde montagedraad de punten A en B links van R39 te verbinden met de zich boven IC2 bevindende punten A' en B'. Het beste is om de beide draadjes te twisten, zoals wij ook

bij ons proefmodel hebben gedaan (zie figuur 3).

De aansluitpunten voor de luidspreker en de voedingsaansluitingen zijn duidelijk gemerkt. Hiervoor worden de bekende AMP-vlakstekers op de print gemonteerd; die hebben grote contactvlakken en kunnen grote stromen hanteren. Het is waarschijnlijk overbodig, maar we wijzen er toch maar even nadrukkelijk op dat voor het aansluiten van luidspreker en voeding kabel met een flinke diameter dient te worden gebruikt. Ook hier geldt "hoe dikker hoe beter"; als bruikbaar minimum bevelen we een dikte van 2,5 mm² aan.

Voeding

In het schema van figuur 1 is een voedingsspanning vermeld van +60 V en -60 V. Hoe komen we aan die spanning en wat moet dat precies voor een voeding zijn? Wel, zoals meestal bij eindversterkers, kan hiervoor een "gewone" ongestabiliseerde voeding worden gebruikt. We hebben "gewone" bewust tussen aanhalingstekens geplaatst, want het vermogen van de PA-300 vraagt natuurlijk wel om een zeer forse transformator en dito afvlakkondensatoren. Figuur 4 geeft een schets van een bruikbare voeding. Om misverstanden te vermijden: dit is een voeding voor een mono-versterker - voor een stereo-versie hebt u dit dus twee keer nodig! Zoals te zien, wordt het hart gevormd door een dikke 625-VA-trafo en vier eiko's van elk 10.000 uF/100 V. De brugcel dient van een koellichaam te worden voorzien (of tegen de bodemplaat van de kast te worden geschroefd). Om aan een gelijkgerichte spanning van 2 x 60 V te komen, dient de trafo twee sekundaire wikkelingen van 42,5 V te bezitten. Bij het testen van ons proefmodel gebruikten wij een ringkerntrafo van 2 x 40 V en daarmee haalden wij net geen ±60 V. Op zich is dat natuurlijk niet erg, *maar* puristen zal het misschien storen dat de 300 W dan niet gehaald wordt. Nu is het bij een ringkerntrafo vrij gemakkelijk om zelfde sekundaire wikkelingen uit te breiden, dus dat hebben we even uitgeprobeerd. Het bleek dat als aan elke sekundaire 4 windingen werden toegevoegd, we precies op 2 x 42,5 V uitkwamen. Met de aldus gemodificeerde trafo zijn dan ook de meetresultaten van de versterker opgetekend. Gestippeld in figuur 4 zien we een blokje "net-inschakelvertraging". Het is bij een zware versterker als deze namelijk zeer wenselijk om de netspanning geleidelijk in te scha-

kelen, zodat al te grote inschakelpeiken worden vermeden. Dit soort vertragingsschakelingen zijn vaker in Elektuur gepubliceerd. De meeste recente stamt uit de Halfgeleidergids van '92 en de print daarvan is onder nummer 924055 nog steeds in de Produkt Service te krijgen (zie pag. 7).

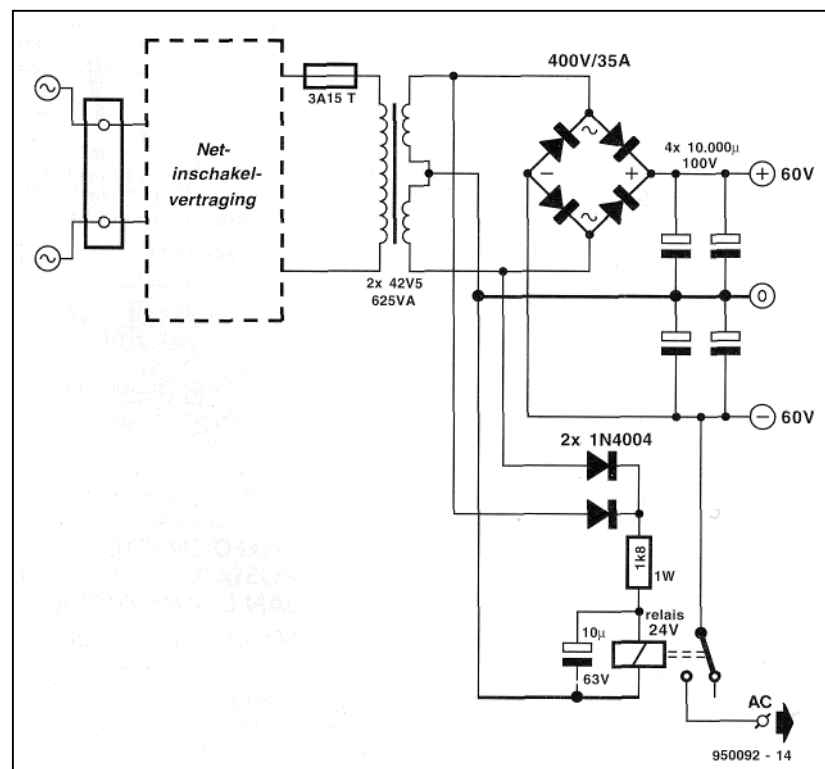
Dan zien we in figuur 4 nog een wat raadselachtige toevoeging, bestaande uit een relais, twee dioden, een weerstand en een elko. Wat is daar het doel van? Wel, we hebben bij de schemabeschrijving al vermeld dat voor het activeren van de op de versterkerprint aanwezige inschakelvertraging aansluitpunt "AC" via een draadje met een van de sekundaire aansluitingen van de trafo dient te worden verbonden. Dat is ook zonder meer mogelijk (en eenvoudig uit te voeren), maar voor optimale resultaten bleek het tijdens de testfase toch iets gunstiger om dit draadje niet aan de trafo te knopen, maar aan de gelijkgerichte -60 V. Het is natuurlijk een beetje zonderling, *maar* de aanwezigheid van gelijkrichtstroom rond D12 en C19 bleek op de print duidelijk een negatieve invloed uit te oefenen op de direkte omgeving. We praten dan weliswaar over zeer kleine nuances, maar wanneer vervorming in duizendsten van procenten wordt gemeten, dan hebben al dit soort zaken hun weerslag op de meetcijfers. Dus zij die zich niet zo druk maken

over een nulletje meer of minder achter de komma, kunnen "AC" simpelweg met een van de sekundaire trafowikkelingen verbinden. Puristen raden wij echter aan om te kiezen voor de in figuur 4 geschetste oplossing. Het nadeel van het gebruik van de gelijkgerichte spanning is dat die niet onmiddellijk wegvalt na het uitschakelen van de voeding, zodat het uitgangsrelais nog een tijdlang bekrachtigd blijft en er hoorbare uitschakeleffecten kunnen optreden. Om dat te vermijden kan, zoals getekend, in serie met het AC-signaal een (klein) relais worden opgenomen, dat via een voorschakelweerstand en twee dioden zijn voeding rechtstreeks van de trafo krijgt. Op deze manier zal het AC-signaal meteen worden onderbroken als de netspanning wordt uitgeschakeld.

Laatste loodjes

Hoe de versterkermodule zoals afgebeeld in figuur 3 uiteindelijk afgewerkt wordt, is een kwestie van smaak. Hij kan samen met de voeding van figuur 4 tot monoblok worden verwerkt, *maar* het is ook mogelijk om twee exemplaren tot een stereoversterker te combineren. Geschikte behuizingen zijn er voldoende te vinden.

Onze voorkeur gaat duidelijk uit naar monoblokken, aangezien dit bij de bedrading de minste kans op aardlussen en alle ellende vandien geeft.



Figuur 4. De voeding hoeft niet gekompliceerd te zijn, maar dient wel voldoende stroom te kunnen leveren. De spanning "AC" fungeert als stuursignaal voor de inschakelvertraging.

Het is zeer aan te bevelen om de voeding zo te konstrueren dat de "nul"-aansluiting een duidelijk sterpunt vormt tussen de middenaftakking van de trafo en de vier elko's. Dit punt wordt dan liefst via een zo kort mogelijke kabel met de voedingsnul-aansluiting van de print verbonden. De min-voedingskabel wordt van de aansluiting op de print eerst geleid naar de plus- en nul-aansluitingen op de print en van daaruit worden de drie voedingskabels stevig samengebonden en naar de elko-aansluitingen gevoerd. Het sterpunt bij de elko's wordt langs de kortste weg met de kastmassa verbonden. Aangezien aarding slechts op één punt mag gebeuren, moet de (cinch)ingangsbus geïsoleerd ten opzichte van de kast worden gemonteerd. Voor de verbinding tussen de ingangsbuss en de ingangsspinnen op de print dient uiteraard afgeschermd audiokabel te worden gebruikt. Voor de verbindingen van de print naar de voeding en naar de uitgangsbussen komt zoals gezegd alleen een degelijke kwaliteit netsnoer of luidsprekerkabel in aanmerking, met een doorsnede van tenminste 2,5 mm², nadat de print terdege is gekontrolleerd (laat een bevriend hobbyist nog eens een double-check uitvoeren!) en de versterker naar behoren is bedraad, is het tijdstip aangebroken om voor de eerste keer de net-spanning in te schakelen. Tevoren dient dan wel P1 helemaal linksom te worden gedraaid! Als het inschakelen zonder zichtbare katastrofes is verlopen en na enkele seconden ook het uitgangsrelais netjes een tik heeft laten horen, dan kan de ruststroom worden afgeregeld. Dat is een betrekkelijk simpele aangelegenheid. We sluiten een multimeter (in het DC-bereik) aan over een van de weerstanden R25...R28 en draaien P1 geleidelijk rechtsom tot de meter een spanning van 27 mV aangeeft. Dat komt overeen met een stroom van 100 mA door elk van de vier eindtransistoren en dat is precies wat we hebben moeten. Nu is het wel zo dat deze stroom in opgewarmde toestand behoort te lopen. Daarom is het zaak om de *meier* nog even aangesloten te laten en de spanning nog eens te controleren als de versterker een uurtje of een paar uurtjes heeft warmgedraaid. Waarschijnlijk is de ruststroom dan flink toegenomen, zodat P1 weer iets moeten worden gekorrigeerd.

Als dit is gebeurd, kan de PA-300 definitief in gebruik worden genomen.

(950092

Specificaties

- ingangsgevoeligheid/impedantie: 1 V_{eff}/17,8 kΩ
- uitgangsvermogen (0,1% THD): 164 W aan 8 Ω
275 W aan 4 Ω
- muziekvermogen (500 Hz burst, 5 per. aan, 5 per. uit): 176 W aan 8 Ω
306 W aan 4 Ω
- vermogensbandbreedte (90 W/8 Ω): 7 Hz...67 kHz
- slew rate: 20 V/us
- signaal/ruisverhouding (t.o.v. 1 W/8 Ω): >96 dB (A-gewogen)
- harmonische vervorming (THD+N) bij een bandbreedte van 80 kHz, bij 1 W/8 Ω: <0,004% (1 kHz)
<0,001% (1 kHz)
- bij 150 W/8 Ω: <0,05% (20 Hz...20 kHz)
- intermodulatievervorming (50 Hz : 1 kHz, 4:1) bij 1 W/8 Ω: <0,003%
- bij 100 W/8 Ω: <0,0035%
- dynamische IM-vervorming (blok 3,15 kHz met sinus 15 kHz): <0,004% (1 W/8 Ω)
<0,06% (150 W/8 Ω)
- dempingsfactor (bij 8 Ω): >345 (1 kHz) >275 (20 kHz)

N.B. Alle meetwaarden zijn opgetekend met de voeding van figuur 4.

Bovenstaande lijst met meetresultaten bewijst dat de PA-300 ondanks (dankzij?) zijn betrekkelijk simpele opzet tot zeer goede prestaties in staat is, en dat elke scepsis ten aanzien van de toepassing van een opamp volkomen misplaatst is. De vervormingscijfers zien er zonder uitzondering keurig uit en wat dit betreft hoeft de versterker geen enkele vergelijking uit de weg te gaan. En wanneer het om uitgangsvermogen gaat, staat de PA-300 zonder meer zijn mannetje.

Ook bij de standaard-metingen met de Audio Precision analyzer kwam de versterker uitstekend voor de dag, zoals bijgaande curves laten zien. Figuur a toont de totale harmonische vervorming (THD + noise) van 20 Hz tot 20 kHz, opgetekend bij een bandbreedte van 80 kHz en een uitgangsvermogen van 150 W aan 8 Ω. Tot 1 kHz is de vervorming extreem laag. Daarna loopt de curve op, maar dat is een gebruikelijk beeld en heeft te maken met de traagheid van de halfgeleiders. Ook bij 20 kHz bereikt de curve nog geen verontrustende hoogte.

Figuur b laat de vervorming bij 1 kHz zien als functie van de uitsturing, opgetekend bij een bandbreedte van 22 Hz...22 kHz. De gestippelde curve geldt voor een belasting van 4 Ω en de doorgetrokken curve voor 8 Ω. De onregelmatigheden in het bereik tussen 10 W en 100 W worden niet veroorzaakt door de versterker, maar door de grenzen van het meetbereik van de analyzer! Vanaf het "clipping point" gaan de curves vrijwel loodrecht omhoog.

Figuur c geeft het maximale vermogen weer bij een vervorming van 0,1%. De gestippelde 4-Ω-curve loopt zoals te zien net tegen de 300-W-grens aan. De geringe daling bij lage frequenties komt op rekening van de niet-ideale buffer-elko's in de voeding. Figuur d geeft tot slot nog een Fourier-analyse van een 1-kHz-signaal bij een uitgangsvermogen van 1 W aan 8 Ω. De grondtoon zelf is hierbij onderdrukt. Zoals te zien bevinden de tweede en derde harmonische zich op een afstand van resp. 110 dB en ruim 120 dB van de grondtoon. Dat zijn keurige waarden, hetgeen nog eens bewezen wordt door het feit dat de THD+N bij deze meting slechts 0,0009% bedroeg!

