

# HYBRIDE EINDVERSTERKER A-80

door Frits Savelkoul en John van der Sluis

In Audio & Techniek nummer 1 hebben we geschetst hoe een combinatie van powerfet's en buizen tot een versterker met bijzondere, en vooral gehoormatig goede, eigenschappen er uit kan zien.

Bij de schema's in nummer 1 werd vermeld dat het slechts "vingerwijzingen" waren. Er volgt nu een definitief schema waarvoor ook printplaten beschikbaar komen. Deze versterker is voor de actieve hobbyist met enige inventiviteit na te bouwen zonder afregelproblemen.

Er zijn enkele varianten mogelijk vooral aan de uitgang. Op de printplaat van de stroomversterker kunnen 2 x 4 fet's parallel geschakeld worden waarmee de maximale stroom toeneemt en de Ri afneemt maar daarover later meer.

## Uitgangspunten

We herhalen nog even kort de uitgangspunten voor dit ontwerp :

1. De versterker moet probleemloos iedere luidspreker aan kunnen sturen en liefst een constante spanning afgeven aan een variërende en complexe impedantie

2. In de signaalweg, vooral van het buizendeel, moeten liefst geen koppelcondensatoren voorkomen

Inmiddels is daar nog een punt bijgekomen :

3. Gezien de gevoeligheid van buizenschakelingen voor variaties van de voedingsspanning dient deze zo "schoon" mogelijk te zijn

## Instelproblemen

De eerdere schakelingen kenden twee problemen met de instellingen :

1. Gezien de klasse-A instelling zit er een forse rimpel op de laagspanningsvoeding. Via de stroombronnen (fig. 5) wordt die rimpel doorgegeven aan de gates van de fet's wat resulteert in een matige bromafstand.

2. De optimale instelling van de buizen is niet gewaarborgd en een DC tegenkoppeling kan pas plaats vinden nadat de buizen zijn opgewarmd.

3. Het voeden van het buizendeel uit een plus en een minspanning biedt nauwelijks voordeel en een nadeel m.b.t. de ingangsaarde.

Deze zaken zijn oplosbaar maar het kost nogal wat extra elektronica. We menen het nu beter opgelost te hebben en stellen U nu een schakeling voor waarin weinig compromissen zitten en waarvan de resultaten eminent zijn!

## Algemeen

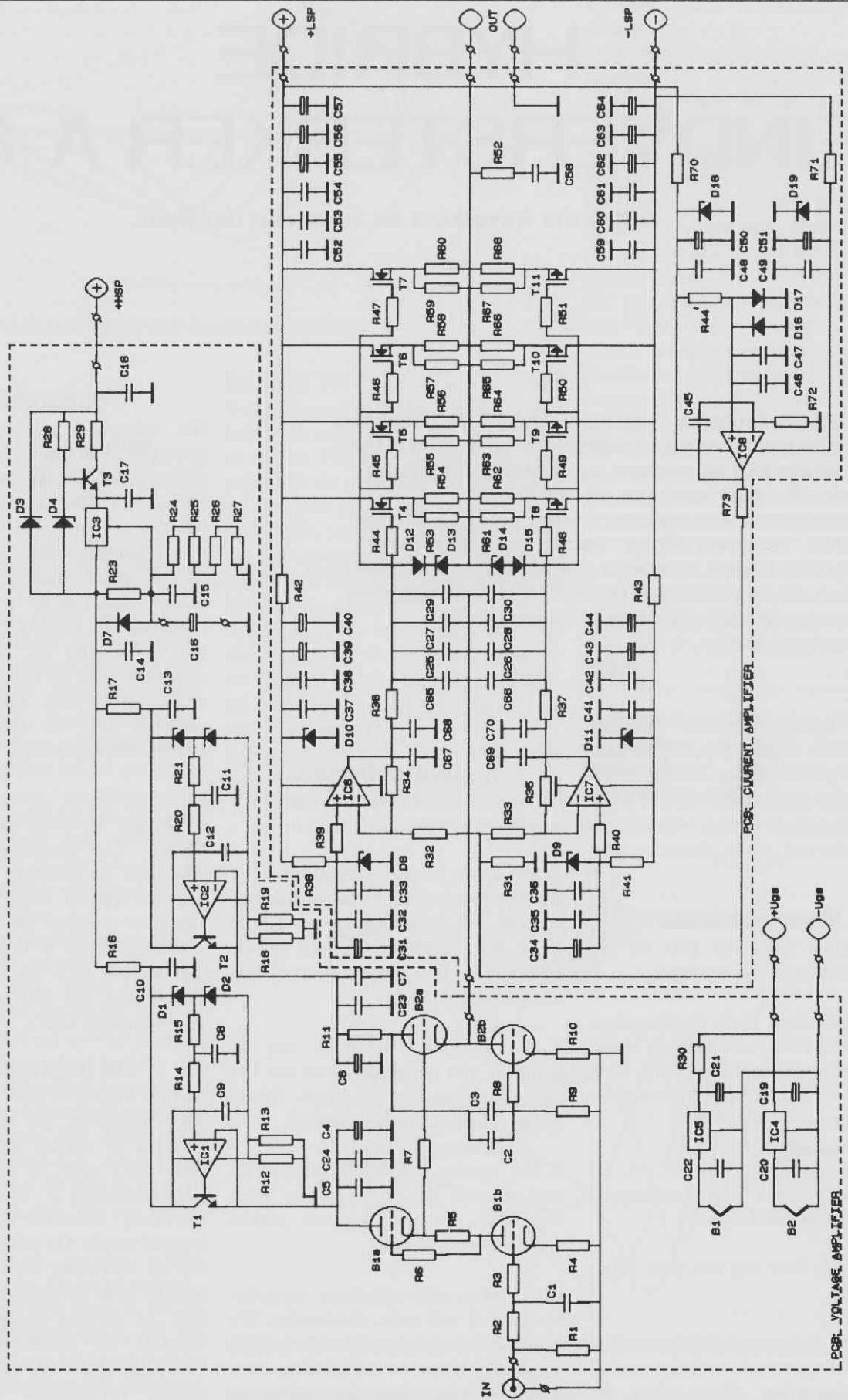
Het schema is enigszins complex geworden. Van links naar rechts ziet U achtereenvolgens de spanningsversterker met 4 trioden, 2 IC's voor de drempel-instelling van de power mosfet's, 8 koppelcondensatoren en 8 mosfet's. Vanaf de uitgang gaat een signaal naar het onderste IC in de schakeling. Dit laatste IC regelt de offsetspanning aan de uitgang bij. Bovendien is de stabilisatie van de hoogspanning voor de buizen te zien. Tenslotte is links onderaan nog de voeding van de gloeidraden afgebeeld.

De stippellijnen geven aan dat de schakeling op twee prints is opgebouwd. De spanningsversterker is universeel en dezelfde printplaat kan ook als lijntrap resp. regelversterker toegepast worden. De print voor de stroomversterker is vrij groot geworden met 8 fet's op een rijtje. We maken daar ook een wat afgeslankte versie van met 4 fet's.

## De ingangstrap

Aan de ingang is geen koppelcondensator toegepast. De versterker dient gestuurd te worden uit een bron die geen gelijkspanning afgeeft. De ingangsschakeling is voorzien van een RC-filter, waarmee de bandbreedte bepaald wordt. De interne bandbreedte en de maximale slew rate worden bepaald door de eigenschappen van de fet's. In de hier gegeven schakeling bedraagt die bandbreedte omstreeks 600 kHz. Het buizendeel heeft een grotere bandbreedte en haalt met gemak enkele Mhz!

HYBRID 80-A



We dienen er voor te zorgen dat het inkomende signaal zodanig gefilterd wordt dat er geen problemen in de elektronica ontstaan. Om het "slewen" van de eindtransistoren te voorkomen zou het voldoende zijn om het kantelpunt op 400 à 500 kHz te leggen.

In de eerste proeffase is dat inderdaad gedaan en dat ging probleemloos, ook met een belasting van 2  $\mu$ F en 8 Ohm parallel. We kunnen nu twee mogelijke oorzaken van problemen zien:

1. In het licht van de elders in dit nummer besproken kwestie t.a.v. het CD-systeem kunnen we verwachten dat er CD-spelers bestaan die een forse hoogfrequent output hebben tussen 200 kHz en 2 MHz. We kunnen dit signaal zoveel mogelijk intact laten en doorgeven aan de luidspreker. We weten echter niet wat daar dan mee gebeurt.

2. We kennen niet alle soorten luidsprekers. Sommige luidsprekers kunnen, indien aangestuurd met een zeer snelle impuls, ongewenste energie teruggeven aan de versterker, die vervolgens aardig "in de war" kan raken.

Beide zaken beperken we door het ingangskantelpunt laag te kiezen. Voorlopig hebben we voor 200 kHz gekozen. Als we lager zouden gaan zou dat fase draaiing binnen het hoorbare gebied kunnen introduceren. Het staat de bouwer vrij om de condensatorwaarde van C1 te halveren en daarmee de bandbreedte te verdubbelen.

De eerste triode bepaalt de versterkingsfaktor en dus de gevoeligheid van de schakeling. Door de keus van het buistype kun je dat beïnvloeden. We hebben gekozen voor een ECC83. Met deze populaire buis wordt de ingangsgoedigheid omstreeks 1 Volt voor 25 Volt aan de uitgang.

Het werkpunt van de onderste triode B1b wordt bepaald door de daarboven aangebrachte stroombron B1a. Deze schakeling is zeer betrouwbaar gebleken ook op de lange duur.

## De tweede trap

Vanuit de kathode van B1a wordt het signaal DC naar het stuurrooster van B2a gevoerd. Aan de anode van B2a verschijnt het versterkte signaal. Via de condensatoren C2 en C3 wordt dat anode signaal naar de onderste triode B2b gevoerd. De anode van B2b zit aan de kathode van B2a waardoor een 100% tegenkoppeling ontstaat. B2 staat ingesteld op een anodestroom van 10 mA en dissipeert omstreeks 1,5 Watt. Door de tegenkoppeling en de grote anodestroom wordt de impedantie aan de uitgang zeer laag, voor wisselspanning minder dan 50 Ohm!

Aan de uitgang van de spanningsversterker kunnen we een zwaai realiseren van 70 Vtt zonder noemenswaardige vervorming. Bij een grotere zwaai komen we in het kromme deel van de buizenkarakteristiek en neemt de vervorming duidelijk toe. Met een hogere voedingsspanning kan een hogere zwaai gerealiseerd worden dan is het echter wenselijk voor B2 een andere buis te kiezen in verband met de dan grotere dissipatie.

## Voeding van de buizen

Het is wenselijk om een rimpelvrije voedingsspanning te hebben. Bovendien dient de voeding stabiel te zijn en de stromen van de twee buizen mogen elkaar niet beïnvloeden. We hebben deze zaak nogal rigoreus aangepakt (hoewel niet zo rigoreus als in de TOAS voorversterker).

De hoogspanning komt uit een transformator met een 220 Volts wikkeling. Na gelijkrichting hebben we dan bijna 300 Volt DC. Via R28, de zenerdiode D4 en de ladder R23 t/m R 27 wordt de basis van T3 op 275 Volt gebracht. Het nulpunt van de stabilisator IC3 wordt 260 Volt en op de uitgang van IC3 hebben we 263 Volt DC zonder rimpel en met een lage impedantie. Als optie kan de grote elco C16 toegepast. Met die elco wordt bij het inschakelen bovendien de hoogspanning vertraagd opgebouwd.

De voeding wordt vervolgens gesplitst in twee takken, voor iedere buis een. Die takken werken identiek, we bespreken daarom de eerste (meest linkse in het schema).

R16, D1,D2,R12 en R13 zorgen er voor dat op de niet-inverterende ingang van IC1 een spanning wordt aangeboden van 243 Volt. Na het IC komt de emittervolger T1 en de uitgang wordt 100% tegengekoppeld naar de inverterende ingang van het IC. De gelijkspanning wordt extra gefilterd door de condensatoren C10 en C8. Op deze wijze kunnen de twee buizen elkaar via de voeding niet beïnvloeden. Tenslotte wordt er per buis nog eens extra gefilterd met C4, C5 en C24.

De gloeidraden van de buizen worden elk apart gevoed door de stabilisatoren IC4 en IC5.

Alle componenten zijn op een printplaat ondergebracht waardoor het geheel overzichtelijk blijft. De printplaat is enigszins afwijkend van de gebruikelijke soort. De buizen staan er op zijn kop in. Dat betekent dus dat de passieve componenten aan de onderzijde gemonteerd worden.

## De stroomversterker

De fet's worden in klasse-A ingesteld, waardoor het "buisen-karakter" van de schakeling behouden blijft. Na onze eerdere ervaringen met de A-10, A-15 en de A-20 hebben we gekozen voor een stroom van 300 mA per fet. Met een koelrib van 400 mm breed en 100 mm hoog (0,4°C per Watt) blijft de temperatuur binnen redelijke grenzen. (De printplaat is ook 400 mm breed!)

De ruststroom instelling wordt bepaald door de referentie dioden D8 en D9. Die spanning wordt gebufferd met IC6 en IC7 en via R36 en R37 naar de gates van de fet's gevoerd.

De offset spanning aan de uitgang wordt bijgeregeld door IC8. De uitgangsspanning van IC8 is verbonden met de inverterende ingangen van IC6 en IC7.

**N.B. In het schema staat een foutje: R44<sup>1</sup> zit niet aan de voeding maar aan de uitgang van de versterker.**

De fet's worden extra beveiligd met de dioden D12 t/m D15. Dat was nodig omdat uit het buisendeel hogere spanningen kunnen komen dan de fet's kunnen verdragen.

Het signaal wordt aan de fet's toegevoerd via 4 parallel geschakelde condensatoren van verschillende waarden. Iedere fet heeft zijn individuele gateweerstand, en wordt uitgekoppeld via twee parallel geschakelde sourceweerstand van 0,1 Ohm. Aan de uitgang is een Zobel-netwerkje geplaatst om genereer verschijnselen als gevolg van terugwerking uit de luidspreker en de luidsprekerkabel te onderdrukken.

## Voeding van de stroomversterker

De stroomversterker wordt gevoed uit een standaard ILP transformator van 2 x 25 Volt. Die transformatoren zijn verkrijgbaar in verschillende vermogens. Een minimum voor de hier gepresenteerde schakeling is een transformator van 300 VA bij gebruik van 4 fet's per kanaal. Het uitgangsvermogen is dan omstreeks 70 Watt aan 8 Ohm. Bij 4 Ohm vindt dan niet geheel een verdubbeling plaats: 120 Watt en bij 2 Ohm is het maximum vermogen 200 Watt.

Met 8 fet's per kanaal kunnen pickstromen in de orde van 100 A en continu stromen van 40 A verwerkt worden. Dat moet echter wel ergens vandaan komen!

Wenselijk is dan minimaal een trafo van 500 VA (fl. 132,-), maar liever nog 1000 VA (fl. 312,-).

De voedingscondensatoren worden navenant groot. Bij een 300 VA trafo adviseren we 2 x 40.000 uF per kanaal (fl. 240,-). Daarover in een volgende aflevering meer.

## Onderdelenlijst

R 1 = 100 K  
 R 2 = 3,32 K  
 R 3 = 82,5  
 R 4 = 1 K  
 R 5 = 1 K  
 R 6 = 82,5  
 R 7 = 82,5  
 R 8 = 82,5  
 R 9 = 255 K  
 R 10 = 133  
 R 11 = 1,2 K - 1 W  
 R 12 = 100 K - 2 W  
 R 13 = 100 K - 2 W  
 R 14 = 100 K  
 R 15 = 3,3 M

R 16 = 274 - 1 W  
 R 17 = 22,2 - 1 W  
 R 18 = 100 K - 2 W  
 R 19 = 100 K - 2 W  
 R 20 = 100 K  
 R 21 = 3,33 M  
 R 22 = R 23 = 224  
 R 24 = 11 K - 2 W  
 R 25 = 11 K - 2 W  
 R 26 = 11 K - 2 W  
 R 27 = 15 K - 2 W  
 R 28 = 10 K - 1 W  
 R 29 = 100  
 R 30 = 33 - 10 W  
 R 31 = 150 K

R 32 = 154  
 R 33 = 154  
 R 34 = 30,1 K  
 R 35 = 30,1 K  
 R 36 = 1 M  
 R 37 = 1 M  
 R 38 = 1,1 K  
 R 39 = 1 M  
 R 40 = 1 M  
 R 41 = 1,1 K  
 R 42 = 2 K - 1 W  
 R 43 = 2 K - 1 W  
 R 44<sup>1</sup> = 1 M  
 R 44 = 301  
 R 45 = 301

## Meetresultaat

In de eerste proefopstelling gebruikten we 4 fet's per kanaal en voedingstrafo's van 300 VA.

De eerste metingen leverden de volgende resultaten op:

**S/N t.o.v. 1 Watt = 79 dB**

**gevoeligheid 500 mV voor 20 V uit (50 Watt - 8 Ohm)**

**bij 700 mV in neemt de vervorming toe tot 1%**

**Vervorming THD bij 1 Watt <0,1 %**

**Vervorming THD bij 10 Watt <0,3 %**

**Vervorming THD bij 50 Watt <0,6 %**

**Vervorming THD bij 80 Watt <1,5 %**

Alle gemeten tussen 20 Hz en 20 kHz en met een variëteit aan condensatoren parallel aan de belastingsweerstand. De hoogste vervorming trad op bij 20 kHz met een parallel condensatorwaarde van 2 uF.

De vervorming bestaat in hoofdzaak uit 2e harmonische. De 3e harmonische is omstreeks 25% van de tweede en de overige harmonische lagen beneden de meetgrens van 0,01%.

Het vermogen waarbij de versterker duidelijk begrenst is 80 Watt aan 8 Ohm en dat verdubbelt vrijwel bij 4 Ohm: 150 Watt en bij 2 Ohm neemt het toe tot 200 Watt. Daarna zakt de uitgangsspanning in elkaar zodat aan 1 Ohm het vermogen vrijwel gelijk blijft.

## Luisteren

De luistertesten bevestigden wat we eerder gesteld hebben, de versterker geeft een uitstekende controle van de lage tonen weergave. Het buizenkarakter is duidelijk aanwezig, het geluid klinkt heel open en los. Dat blijft ook zo bij de extremen van het frequentiegebied. Een bekken staat heel los en precies in de ruimte. Een 32 voets register van een orgel klinkt voelbaar en strak.

Het totale geluidsbeeld is diffuus en instrumenten en zangstemmen hebben "lucht" er omheen. Je kunt de solisten (bij goede opnamen) bijna de hand schudden.

Kortom dit is de mooiste eindtrap die we ooit gemaakt hebben. De bouw-prijs, hoewel niet gering, is alleszins gerechtvaardigd. Voorlopige calculaties voor deze versterker in zijn eenvoudigste vorm leiden tot een bouw-prijs van omstreeks fl. 1.000,- stereo. Gezien de meer dan uitstekende kwaliteit lijkt ons dat geen probleem.

In een tweede artikel vervolgen we met de bouwbeschrijving en aansluit-schema's.

R 46 = 301  
R 47 = 301  
R 48 = 200  
R 49 = 200  
R 50 = 200  
R 51 = 200  
R 52 = 10 - 1 W  
R 53 t/m R 68 = 0,22 Ohm - 3 W  
inductie-arm bijv. Allen Bradley

R 69 =  
R 70 = 3,1 K  
R 71 = 3,1 K  
R 72 = 1 M  
R 73 = 75 K

C 1 = 220 pF - styro  
C 2 = 100 N - MKP  
C 3 = 10 N - styro of MKP  
C 4 = 330 uF - 300 V  
C 5 = 2,2 uF - MKP  
C 6 = 330 uF - 300 V  
C 7 = 2,2 uF - MKP  
C 8 = 100 N - MKP  
C 9 = 470 N - MKP  
C 10 = 1 uF - MKP  
C 11 = 100 N - MKP  
C 12 = 470 N - MKP  
C 13 = 1 uF - MKP  
C 14 = 100 N - MKP  
C 15 = 220 N - MKP  
C 16 = 1500 uF - 400 V  
C 17 = 100 N - MKP  
C 18 = 100 N - MKP  
C 19 = 100 uF - 40 V  
C 20 = 100 N - MKP  
C 21 = 100 uF - 40 V  
C 22 = 1 uF - MKP  
C 23 = 100 N - MKP

C 24 = 100 N - MKP  
C 25 = 1 N - styro 160 V  
C 26 = 1 N - styro 160 V  
C 27 = 10 N - styro 160 V  
C 28 = 10 N - styro 160 V  
C 29 = 100 N - Ropel  
C 30 = 100 N - Ropel  
C 31 = 220 uF - 10 V  
C 32 = 1 uF - MKP  
C 33 = 100 N - styro  
C 34 = 220 uF - 10 V  
C 35 = 1 uF - MKP  
C 36 = 100 N - styro  
C 37 = 100 N - MKP  
C 38 = 1 uF - MKP  
C 39 = 100 uF - 20 V  
C 40 = 10.000 uF - 10 V  
C 41 = 100 N - MKP  
C 42 = 1 uF - MKP  
C 43 = 100 uF - 10 V  
C 44 = 10.000 uF - 10 V  
C 45 = 100 N - styro  
C 46 = 10 N - styro  
C 47 = 100 N - MKP  
C 48 = 100 N - MKP  
C 49 = 100 N - MKP  
C 50 = 470 uF - 25 V  
C 51 = 470 uF - 25 V  
C 52 = 10 N - styro  
C 53 = 100 N - Ropel  
C 54 = 4,7 uF - Ropel  
C 55 = 100 uF - 63 V  
C 56 = 470 uF - 63 V  
C 57 = 1000 uF - 63 V  
C 58 = 100 N - MKP  
C 59 = 10 N - styro  
C 60 = 100 N - Ropel  
C 61 = 4,7 uF - Ropel  
C 62 = 100 uF - 63 V

C 63 = 470 uF - 63 V  
C 64 = 1000 uF - 63 V

D 1 = 18 V  
D 2 = 12 V  
D 3 = 1 N 4007  
D 4 = 6,8 V  
D 5 = 6,8 V  
D 6 = 27 V  
D 7 = 1 N 4007  
D 8 = 1,25 V referentie diode  
D 9 = 1,25 V referentie diode  
D 10 = 6,8 V  
D 11 = 6,8 V  
D 12 = 1 N 4148  
D 13 = 12 V  
D 14 = 12 V  
D 15 = 1 N 4148  
D 16 = 1 N 4148  
D 17 = 1 N 4148  
D 18 = 16 V  
D 19 = 16 V

IC 1 = TL 071  
IC 2 = TL 071  
IC 3 = LM 3375  
IC 4 = 7812  
IC 5 = 7806  
IC 6 = NE 5533  
IC 7 = NE 5533  
IC 8 = OP-77

T 1 = BF 469  
T 2 = BF 469  
T 3 = BF 469  
T 4 t/m T 7 = 2 SK 135  
T 8 t/m T 11 = 2 SJ 50  
B 1 = E 83 CC  
B 2 = E 80 CC

## VOLGEND NUMMER A&T 5

**In het volgende nummer verwachten we de volgende onderwerpen**

**TEST CD spelers**

**TEST hoofdtelefoons**

**TEST luidsprekers budgetklasse III**

**TEST kabels**

**IC's voor audio**

**"DE PIJP" herziene versie**

**TOAS deel III**

**en verder .....avonturen! Want audio blijft een avontuur. Verzeker U dus tijdig van toezending van dat spannende nummer.**

## BESTELLEN VOLGEND NUMMER

Er zijn drie manieren om het volgende nummer te bestellen:

1. door een abonnement te nemen (zie pag. 3)

2. Indien U eerder een nummer bestelde krijgt U automatisch een acceptgirokaart in de bus. U heeft dan de keus daar al dan niet gebruik van te maken. Tot dan hoeft U niets te doen.

3. Indien U deze Audio & Techniek in de winkel kocht kunt U ons een briefkaartje sturen met Uw naam, adres, postcode en woonplaats waarna we U tijdig een acceptgirokaart sturen.