

Onze kleinste versterker, de A15, is jarenlang een welkome gast geweest in de huizen van enthousiaste hobbyisten. In de loop der jaren zijn er een aantal kleine wijzigingen aangebracht waarmee we uiteindelijk terecht kwamen bij de A15-Mk IV. Honderden exemplaren hebben het licht gezien en tot op de dag van vandaag bij velen de sterren van de hemel gespeeld. Hij wordt toegepast in een aantal volkomen verschillende configuraties; de gebruikte luidsprekers variëren van zelfbouw via een eenvoudige Celestion 1 tot de electrostaten van Martin Logan.

# DE A-18, EEN KLASSE-A TRANSISTOR VERSTERKER

door Addy van den Doel en John van der Sluis

**H**elaas moet er een eind komen aan deze successtory; de eindtransistoren worden niet meer gefabriceerd en dat betekent dus: einde verhaal! Maar we gaan niet bij de pakken neerzitten, er moet een oplossing gevonden worden voor deze betaalbare en muzikale schakeling. En, als we toch bezig zijn, er zijn een paar dingen die we liever anders zouden zien.

Een eindversterker heeft als doel om hetingangssignaal een x aantal keer te versterken en de kunst daarbij is om het signaal zo onvervormd mogelijk aan de uitgang te krijgen met een grotere amplitude en een hogere uitgangsstroom. Daarbij moet de versterker onvoorwaardelijk stabiel blijven bij complexe belastingen.

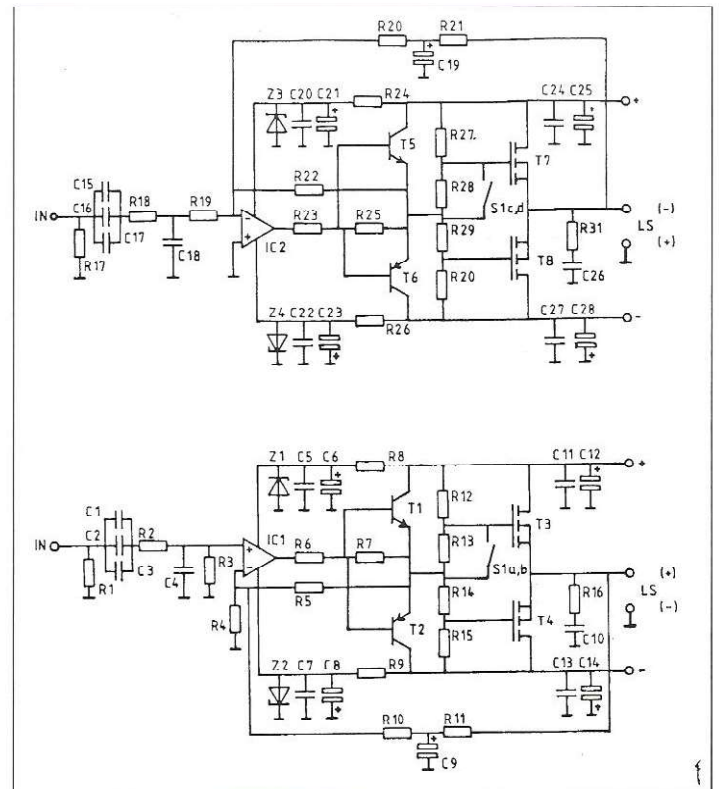
De te beschrijven A18 is inmiddels de zesde variant op een concept dat dateert uit 1986. Na jarenlange ervaringen met versterkerontwerpen van groter vermogen ontstond er in die tijd de behoefte aan een kleine en betaalbare eindversterker. De belangrijkste eisen waren daarbij:

- een goed stereobeeld
- betaalbaar voor de hobbyist

Dit waren de eerste eisen die aan de, toen nog A10, versterker in 1986 werden gesteld. Nu, 10 jaar later anno 1996, is er aan die eisen weinig veranderd. Hoewel de basisschakeling van het ontwerp hetzelfde is gebleven, zijn er in de loop der jaren wel de nodige verbeteringen doorgevoerd.

Dit heeft uiteindelijk geleid tot dit geheel nieuwe ontwerp en het zal waarschijnlijk ook niet het laatste ontwerp zijn. De ontwikkelingen op het gebied van elektronica houden voorlopig nog niet op. Het idee voor dit nieuwe ontwerp ontstond toen ons bekend werd dat de eerder toegepaste vermogensfets niet meer leverbaar bleken te zijn. Er moesten dus andere MOSFET's worden toegepast, nieuwe aan-

daan, ontstond het idee tot het bouwen van een (zeer) kleine versterker. De bedoeling was om dit dan aan de consument aan te bieden als een zelfbouwkit. Om het geheel te doen slagen, werden er enkele eisen gesteld aan het ontwerp. De zelfbouwkit moest een goede prijs/prestatie-verhouding krijgen. Het hoofddoel bleef echter een goede kwaliteitsversterker te maken. De eerste schakeling (zie



Figuur 1, het schema van de A-10.

sturing en daarmee ook nieuwe printplaten, omdat het oude A15 ontwerp nu niet meer bruikbaar was. Het was dus zaak een nieuwe print layout te ontwerpen. Daarbij werd speciale aandacht gegeven aan de volgende punten:

- aarding
- voeding
- de nieuwe vermogensfets.

Om het één en ander duidelijk te maken volgt er eerst een uitleg over de voorgaande ontwerpen, de A15.

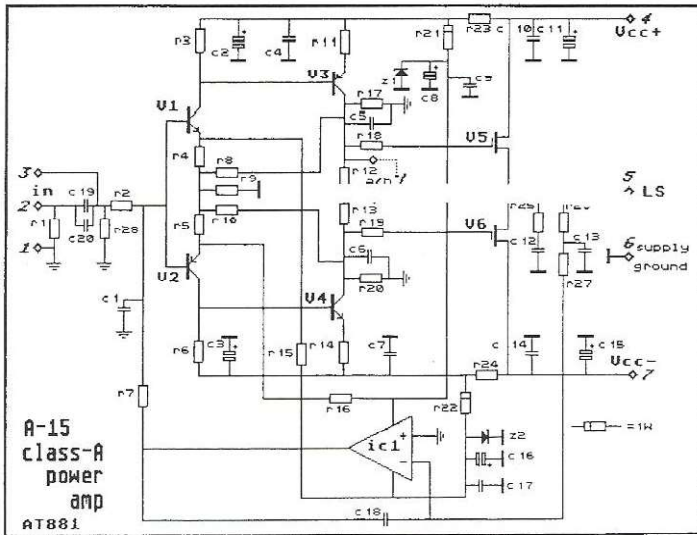
## HISTORIE

Zoals gezegd, begon het allemaal in 1986. Na meerdere jaren ervaring met versterkers te hebben opge-

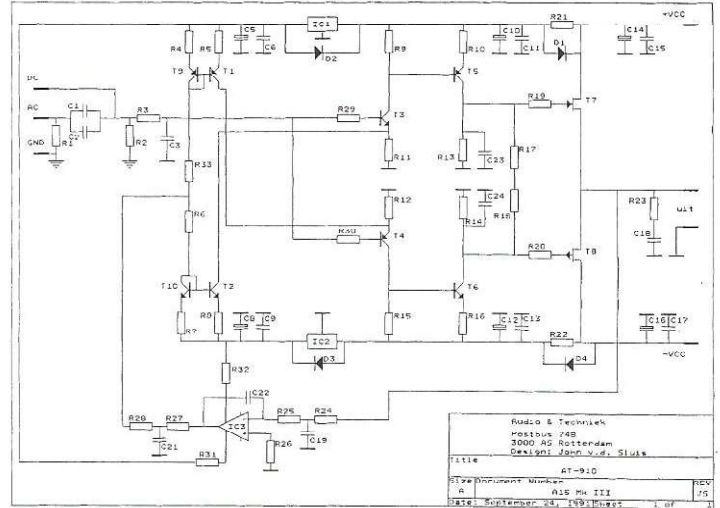
figuur 1) week een beetje af van zijn latere opvolgers, want als spanningsversterker werd een IC (op-amp) gebruikt. Na deze spanningsversterker volgde een complementaire emittervolger die twee powerfets aanstuurde. Een voordeel van deze schakeling was de relatief kleine voedingstransformator van 75 VA. Dit was te danken aan het feit dat de op-amp in het éne kanaal in fase stond met de ingang en terwijl de op amp in het andere kanaal inverteerde. Door deze configuratie werd de voeding symmetrisch belast en kon daardoor klein worden gehouden.

## DE EERSTE A15

Uit ervaring leerde men dat



Figuur 2, het schema van de eerste A15.



Figuur 3, de A-15 Mk III schakeling

bij het aansturen van luidsprekers met een rendement van 87 á 89 db het vermogen wat aan de lage kant was. De schakeling werd begrensd door de op amp waarmee een maximale uitsturing bereikt kan worden van 9 volt effectief. Om dit te verhogen was er maar één oplossing: de spanningsversterker discreet te realiseren.

De schakeling die hiervoor werd ontwikkeld kon worden opgebouwd uit vier transistoren en was volledig symmetrisch, zie figuur 2. Een voordeel van deze schakeling is dat de vervorming in hoofdzaak uit **even** harmonischen bestaat.

Subjectief resulteert dat in een acceptabel en aangenaam geluid. Een differentiaal versterkertrap vervormt weliswaar minder, echter dan overheersen **oneven** harmonischen wat in een minder natuurlijk geluid resulteert. Het voordeel van een differentiaal versterker is dat fluctuaties in de voeding in hoge mate onderdrukt worden. In de huidige configuratie zit de voeding, als het ware, in de signaalweg. Het is dus zaak de voedingslijnen goed te filteren, respectievelijk te ontkoppelen.

**DE A15 MK-II**

De tweede A15 versterker kwam grotendeels overeen met de eerste A15. Het verschil tussen de deze versterker en zijn voorganger was, dat er geen tegenkoppeling

meer werd toegepast. Een ander verschil was dat de (stroom-) instelling van de ingangstransistoren vastgelegd werd door middel van stroomspiegels. De voedingspanning (en daarmee ook de stroom) voor die stroomspiegels werd gestabiliseerd met een geïntegreerde spanningsstabilisator.

Een minpuntje aan die schakeling was de servo-uitgang, die mede de ingangsimpedantie van de versterker bepaalde. Bovendien kon, indien de schakeling DC verbonden werd met een DC bron, de servo terug werken

naar het ervoor geschakelde apparaat.

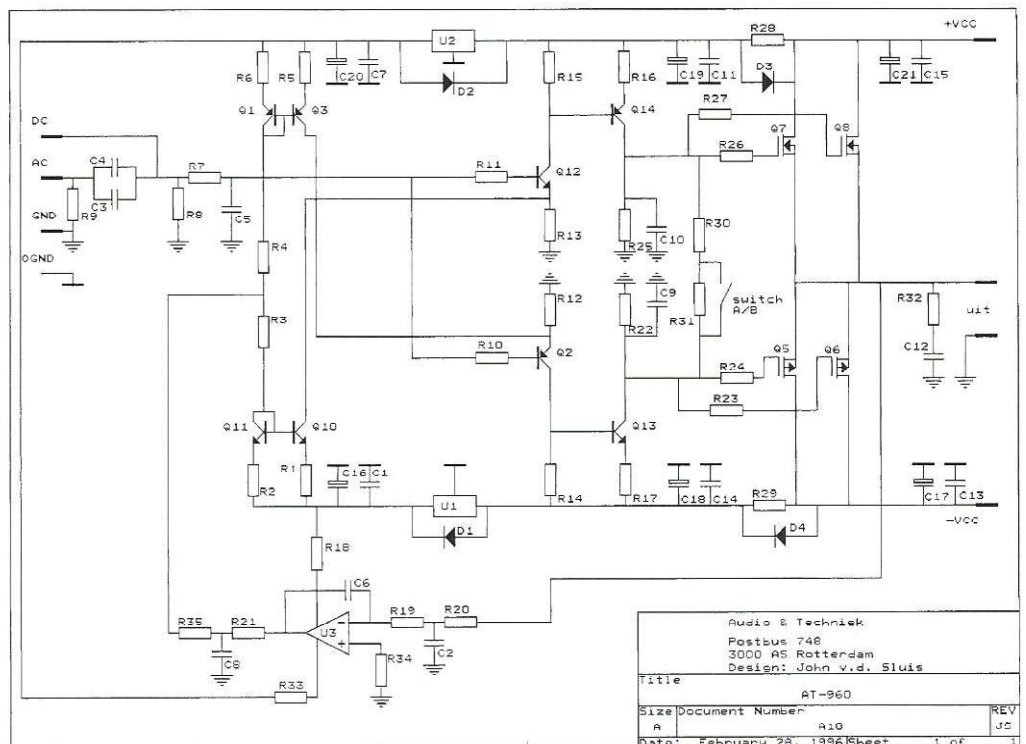
**DE A15 MK-III**

Dit is de uiteindelijke voorganger van de A18. Bij dit ontwerp werden de problemen die in de A15 Mk-II ontstonden, verholpen. De stroom in de ingangstransistoren werd nu bepaald door stroomspiegels, zie figuur 3. De instelling van die spiegels geschiedde door de weerstanden R6 en R33. Ook de plaats van de servo was veranderd. De servocorrectie vond plaats door de servo aan te sluiten op het knoop-

punt van die weerstanden, waarmee de servo buiten de eigenlijke signaalweg blijft en tevens de ingangsimpedantie niet meer beïnvloedt. De ruststroom was voor een betere instelling iets verhoogd. Daarbij diende wel rekening te worden gehouden met de voeding, die daarom iets ruimer werd opgezet.

**DE A-18 EINDVERSTERKER**

Aan de ingang van de schakeling is een passief filter aangebracht. Dit filter is bedoeld om transient intermodulatie vervorming (TIM)



Figuur 4, de schakeling van de A-18 versterker.

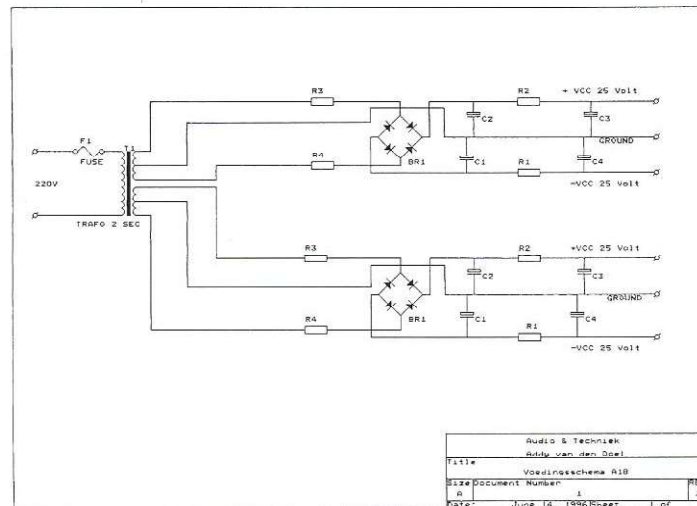
tegen te gaan. Eén van de punten waarop gelet moet worden bij TIM is dat het ingangsfILTER té snelle signalen zodanig vertraagt, dat er geen oversturing door snelheid kan ontstaan. Het ingangsfILTER wordt gevormd door R7 en C5. Tevens wordt er met dit filter een hoogfrequent kantelpunt vastgelegd.

Omdat men er naar streeft om in de signaalweg zo min mogelijk componenten te hebben, zijn er twee ingangen op de versterker aangebracht. Een DC-ingang, die in de meeste gevallen gebruikt kan worden, en een AC-ingang. De AC aansluiting wordt alleen gebruikt als de sturende bron geen koppelcondensator aan de uitgang bezit. Als de bron wel is voorzien van een koppelcondensator dan kan men de A18 aansluiten op de DC ingang.

Na het ingangsfILTER volgt de kern van de versterker. Deze bestaat even als zijn voorganger uit vier transistoren namelijk Q2, Q12, Q13 en Q14. Dit is het spanningsversterkende gedeelte van de schakeling. Omdat de schakeling symmetrisch is opgebouwd beperken we ons tot het bespreken van de bovenste helft van de schakeling. Voor de onderste helft geldt een analogo verhaal. Transistor Q12 wordt ingesteld op een vaste versterking door R15 en R13. Daarna wordt het signaal nog eens versterkt door Q14 die wordt ingesteld door R16 en R25. De drietraps versterker wordt voltooid door twee power-FET's, die voor de stroomversterking zorgen.

### DE STROOMSPIEGELS

Bij de eerste trap (Q12) moet de emitterstroom worden vastgelegd. Dit wordt gerealiseerd door middel van de schakeling rondom Q11 en Q10. Deze transistoren vormen samen een stroomspiegel. Een stroomspiegel wordt in de hedendaagse audio-elektronica steeds meer toegepast om een stroom constant te houden. De stroomspiegel wordt gebruikt als



Figuur 5, de voeding van de A-18

een stroombron. Het voordeel van een stroombron is dat de stroom constant blijft bij een variërende spanning en dat de uitgang hoogohmig is. Door het hoogohmige gedrag van de stroomspiegel heeft deze geen invloed op het signaal. Daar de schakeling symmetrisch is dienen er twee stroomspiegels te worden toegepast. Beiden zouden de dezelfde stroom moeten instellen. Omdat er vier transistoren mee gemoeid zijn, kunnen die instellingen verschillen. Dit kan het gevolg zijn van de omstandigheid de ene transistor (-chip) een andere temperatuur aanneemt dan de ander. De parameters van een transistor verlopen als de temperatuur verandert. Om de temperatuur voor alle transistoren gelijk te houden is het verstandig om ze allemaal dicht bij elkaar op de print te plaatsen. Daarbij moet de verbinding tussen de twee spiegels zo kort mogelijk worden gehouden.

### HET FILTER

Aan de collector van Q14 hangt een filter met een hoog afvalpunt. De bedoeling van dit filter wordt duidelijk als men een complexe belasting aan de versterker hangt. Een belasting gedraagt zich vrijwel nooit geheel ohms, er is altijd wel een capacatieve (dus fase-draaiende) werking van die belasting. De capaciteiten en spoelen veroorzaken fase draaiing die weer terugwerkt

de schakeling in. De fase-draaiing komt dan terecht op de collectoren van Q13 en Q14. Doordat hier de filters gevormd door R25 en C10 en bij Q14 door R22 en C9 zijn aangebracht, wordt deze fase-draaiing gecompenseerd. De schakeling wordt hierdoor bij capacatieve belasting stabiel en de overshoot is veel minder dan bij een configuratie zonder deze filters. Het aanbrengen van deze filters beperkt wel de bandbreedte en de slew rate, maar deze blijven voldoende groot en het is van groter belang dat de schakeling stabiel blijft bij verschillende belastingen.

### VOEDING

De voeding in een versterker is een belangrijk punt. Bij deze schakeling zit de voeding bovendien in de signaalweg, wat de kwaliteit van die voeding nóg belangrijker maakt. Als de voeding niet stabiel is en fluctuaties vertoont, dan is dat te horen. Het is dus noodzaak de voeding goed te filteren en te ontkoppelen. Daar de gehele schakeling fysiek relatief klein is werd besloten een speciale trafo te laten wikkelen met een dubbele secundaire wikkeling. Dat spaart geld en ruimte en er kunnen geen aardlussen ontstaan. De schakeling wordt symmetrisch gevoed met een spanning van omstreeks + en -30 Volt. De voeding heeft vóór de bruggelijkrichter twee

weerstand van elk 0,22 Ohm. Een bruggelijkrichter is opgebouwd uit vier diode's. Nét voordat de spanning die de trafo levert hoger wordt dan de doorlaatspanning van de diode vermeerderd met de spanning die in de elco's aanwezig is ( $U_{\text{trafo}} > U_{\text{elco}} + U_{\text{d}}$ ), treden er vervelende verschijnselen op. Op dat moment ontstaat er een piek die niet door de elco's worden afgevlakt. Dit komt doordat de diode plotseling in geleiding treedt. Door de plaatsing van de weerstand wordt het doorlaten van de diode vertraagd.

Het toepassen van snelle diode's heeft in dit geval geen enkele zin, want we vertragen zelf de diode's door er een weerstand voor te plaatsen (R/C-tijd in combinatie met de afvlakelco). Na de brug wordt de spanning afgevlakt door 4 elco's met elk een waarde van 10.000  $\mu\text{F}$ . Tussen deze elco's zijn dan nóg twee weerstanden aangebracht die niets anders doen dan de rimpel nóg meer te onderdrukken (én er voor zorgen dat er kortstondig een fors piekvermogen wordt geleverd).

Aan de uitgang van de print zijn er twee aardprintpenen aangebracht. Op deze twee penen worden de signaal- en ontkoppelaarde aangesloten. Om aardlussen en storing op het signaal te voorkomen door de ontkoppelaarde worden de beide aardpunten apart op de voeding aangesloten.

Op de A-18 printplaat wordt de voeding nog eens extra ontkoppeld door de elco-condensator combinatie C21 en C15 enerzijds en C17 en C13 anderzijds.

Bij het uitschakelen ontladen de elco's van de voortrappen zich via de diode's D3 en D4.

Voor de voeding van het spanningsversterkende gedeelte van de schakeling wordt wederom ontkoppeld door de parallelschakeling van een condensator en een elco. De stroomspiegels worden van spanning voorzien door de spanningsstabilisatoren U1 en U2. Dit zijn

respectievelijk de 79M12 en 78M12. Ook hier is weer een parallelschakeling van een condensator en elco voor de ont koppeling toegepast. De ontstane -12 Volt achter de 79M12 is nu ook te gebruiken om de TL071 van de servoregeling te voeden. Dit gebeurt door pen 4 via R18 te verbinden met de -12 Volt.

### DE SERVOREGELING

Rond de TL071 is een integrator opgebouwd die functioneert als een servoregeling. Met deze servo wordt de DC-offset aan de uitgang weggeregeld. Voor de TL071 zit een filter dat er voor zorgt dat hoogfrequente signalen niet versterkt worden door de op amp. Na het filter zit ook weer een filter dat eventuele ruis, ontstaan door die op amp, wegfilt, zodat dit niet op de ingang van de schakeling terecht komt.

### KLASSE A OF B

De versterker is met een schakelaar in te stellen in klasse-A of -B. Om de versterker optimaal het geluid te laten weergeven, is het wenselijk dat hij altijd aan staat. De geluidskwaliteit is onder meer afhankelijk van een constante warmte van de componenten. De parameters van de componenten zijn bij een constante temperatuur stabiel. Ook de elco's blijven geformeerd als de versterker aan blijft staan.

### ALGEMEEN

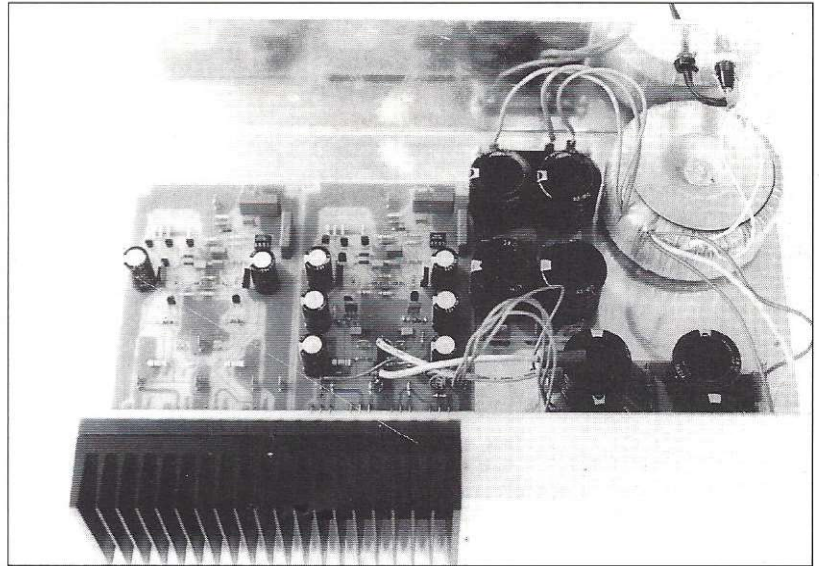
De A-18 is discreet opgebouwd. Het discrete ontwerp heeft als voordeel dat de vervorming in hoofdzaak bestaat uit even harmonischen. Uit subjectieve waarnemingen is gebleken dat even harmonischen een vriendelijker geluidsbeeld geven dan oneven harmonischen. Het discrete ontwerp heeft hierdoor een stapje voor op andere ontwerpen. Een nadeel bij het discrete ontwerp is dat de voeding in de signaalweg zit, maar met een goede ont koppeling en filtering is de invloed van de voeding al een heel stuk verholpen.

Een ander sterk punt van de A-18 is dat er geen overall tegenkoppeling aanwezig is. Tegenkoppeling wordt o.a. toegepast om de vervorming, die ontstaat doordat de transistor geen lineair gedrag heeft, te onderdrukken.

### MEETRESULTATEN

Uit de metingen blijkt dat de versterker wat meer vermogen levert dan de eerdere A-15. Vooral aan lagere impedanties, 4 en 2 Ohm, is het vermogen aanzienlijk groter. Met ruim 2 x 30 Watt aan 4 Ohm en 2 x 40 Watt aan 2 Ohm blijkt dit ontwerp 'moeilijke' luidsprekers wat beter aan te sturen. De slew rate en de overshoot zijn ook wat beter gespecificeerd.

De versterking is wat hoger gekozen waardoor de gevoeligheid iets is toegenomen tot 130 mV. De versterker kan nu door vrijwel alle geluidsbronnen direct aangestuurd worden.



### CONCLUSIE

De A-18 is een 'dijk' van een versterker. We hebben hem op allerlei verschillende luidsprekers uitgeprobeerd, met verschillen in impedantie en gevoeligheid, maar ook in klankkleur. Onder alle omstandigheden blijft deze A-18 zijn plezierige en moeiteloze karakter behouden. Het is natuurlijk geen 'mono-triode', maar daar hangt ook een ander kostenplaatje aan. Veel luisteraars merken op dat het geluid veel weg heeft van een buizenversterker; dat klopt wel

een beetje, maar dan van een goede balansversterker in klasse-B. De printontwerpen zijn zeer duidelijk zodat een doe-het-zelver daar geen problemen mee krijgt. Ook de bedrading is eenvoudig. Het enige bijzondere wat de noeste zelfbouwer echt zelf moet doen is de kastkonstruktie. Dat laten we graag aan hem over. Binnenkort is een complete elektronicaset leverbaar voor een alleszins aanvaardbare prijs.

A&T

### TABEL MEETGEGEVENS

	A-15MkIII		A-18	
Belasting	8 Ω	8 Ω//2 μF	8 Ω	8 Ω//2 μF
Vermogen bij 10 kHz (W)	17	15	21	21
Belasting	4 Ω	4 Ω//2 μF	4 Ω	4 W//2 μF
Vermogen bij 10 kHz (W)	22	23	30	32
Belasting	2 Ω	2 Ω//2 μF	2 Ω	2 Ω//2 μF
Vermogen bij 10 kHz (W)	23	25	41	41
Belasting	1 Ω		1 Ω	
Vermogen bij 10 kHz (W)	-		38	
Vervorming aan 8 W max. (%)	0,9		0,04	
Verlies t.o.v. 1 W (dB) bij 4 W	1,1		0,5	
idem bij 2 Ω	2,9		1,8	
idem bij 1 Ω	-		3	
Vermogens bandbreedte (Hz-kHz)	1-100		2,5-77	
Max. overshoot (%)	24		10	
Slew Rate (V/μs)	6,5		11,6	
S/N (dB)	85		89	
Ingangsgevoeligheid (mV)	680		590	

alles stereo gemeten