

Wijzig de UL40-S2 in een Super-Triode versterker

door Ir. Menno van der Veen



Inleiding over Modificaties:

Jarenlang heb ik modificaties voor de UL40-S2 versterker tegengehouden. Ik kreeg wel verzoeken tot wijziging, maar na testen ervan was ik niet overtuigd van een verbetering. Of ik kreeg vragen over andere componenten, typen en merken van weerstanden en condensatoren en pluggen. En dat terwijl ik bij de ontwerpfase van de UL40-S2 juist alles in het werk had gesteld om het ontwerp als het ware ongevoelig te maken voor esoterische componentkeuze. Met goede standaardcomponenten moest de versterker optimaal werken, en daarmee af! Eén wijziging heb ik wel toegestaan omdat die wezenlijk hoorbaar meerwaarde opleverde, en dat was de toepassing van zilverdraad van ingangsbord naar de volumeregeling en zilverdraad in de uitgangstransformatoren. Deze modificatie is pittig duur, maar levert waar voor zijn geld en een overduidelijke verbetering. Die verbetering is echt zo goed, dat ik een uitgebreide studie verricht heb naar de invloed van draadmateriaal, waarover ik nu een AES-paper aan het voorbereiden ben. Maar in het algemeen kan ik zeggen: ik zag geen reden om enige wijziging in de UL40-S2 aan te prijzen, met uitzondering van de zilverdraden.

Nieuw onderzoek biedt nieuwe kansen:

Nu is daar verandering in gekomen. Ik gebruikte de UL40-S2 tot nu toe hoofdzakelijk in de Ultra-Lineaire instelling, omdat ik het grote uitgangsvermogen van 30 Watt per kanaal nodig had. De triode-instelling vond ik wel duidelijk beter klinken, maar het uitgangsvermogen halveerde dan. Wat ik graag wilde was een slimme truc waarmee ik de betere kwaliteit van de triode-instelling kon verkrijgen, met behoud van het Ultra-Lineaire vermogen. Die truc werd me onlangs als het ware in de schoot geworpen. Ik ben namelijk bezig met een omvangrijk onderzoek waarin ik buizenversterkers in een groot algemeen systeem onderbreng. Dit systeem bevat alle typen buizenversterkers (van SE tot PP en cyrcotron tot PPP en UC) en laat op een systematische manier zien hoe bij de eindbuizen in meer of mindere mate tegenkoppeling wordt gebruikt. Daarnaast testte ik ieder type versterker van

dat grote systeem in een zogenaamde moederversterker (bijna gelijk aan de UL40-S2). Daarbij viel me op dat er twee duidelijke winnaars vallen aan te wijzen in alle buistypologieën die je kunt bedenken. Dat zijn de gewone triode-eindtrap (zowel in SE als PP munten ze uit) en de al eerder door mij uitgevonden "Super-Triode" schakeling. Het nadeel van de gewone triode-eindtrap is dat je de helft in uitgangsvermogen achteruitgaat. Het voordeel van de Super-Triode is dat deze het volle uitgangsvermogen handhaaft en verder dezelfde specs heeft als de puur triode-versterker. Klankmatig en gehoorsmatig qua diepte en details klinken ze ook gelijk.

Van Triode naar Super-Triode:

Het grote verschil tussen Triode en Super-Triode is dat de triode alleen een stuurrooster en anode en kathode (of gloeidraad) gebruikt, terwijl de Super-Triode aangesloten is op een afzonderlijke kathodewikkeling op de uitgangstrafo en dat ook nog het schermrooster op de Ultra-Lineaire aftakking van de uitgangstrafo is aangesloten. Zie de figuren 1 en 2 voor meer details.

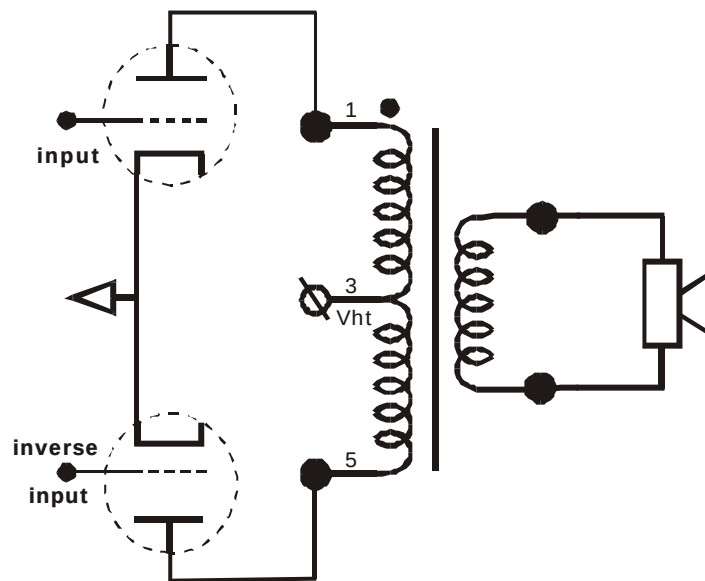


Fig.1 : Basis Triode schakeling. Copyright 2004 Vanderveen

De uitgangstrafo in de UL40-S2 heeft op de primaire wikkeling wel UL-aftakpunten, maar heeft geen afzonderlijke kathodewikkeling. Dus kan de Super-Triode niet in de UL40-S2. Nu moet je tegen mij niet zeggen dat iets niet kan, want dat prikkelt me juist en zo gebeurde het ook hier. Ik ga nu een modificatie voorstellen die de UL40-S2 de eigenschappen geeft van een Super-Triode balansversterker. De kosten van deze modificatie liggen in de dubbeltjessfeer (nou ja, maximaal een tientje) en zijn daarom prijstechnisch echt geen belemmering. Niets wordt in de UL40-S2 door deze modificatie beschadigt of gesloopt of verwoest en de versterker gaat er overduidelijk heel veel op vooruit.

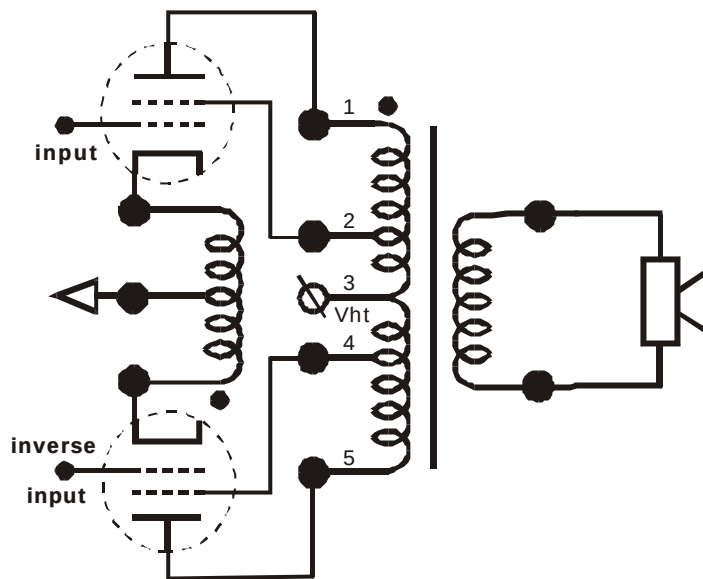


Fig. 2 : Basis Super-Triode schakeling. Copyright 2004 Vanderveen

De achtergrond van de modificatie:

In een triodeversterker (als we uitgaan van de UL40-S2, die met pentodes is uitgevoerd) wordt het schermrooster verbonden met de anode. We maken op die manier van een pentode een triode. Dat levert twee effecten op: de Ia-Vak-Vgk karakteristieken kruipen in elkaar waardoor het uitgangsvermogen afneemt, en de lijnen in deze karakteristieken gaan meer verticaal lopen waardoor de inwendige weerstand van de buis daalt (wat een hogere dampingfactor voor de luidspreker oplevert). Hoe ontstaat dit gedrag? Doordat het schermrooster (dat in wezen een zwak stuurrooster is) nu gaat tegenkoppelen. Dit is niets anders dan lokale tegenkoppeling in de eindbuis zelf.

Als we het schermrooster van de eindbuis aan zijn Ultra-Lineaire aftakpunt op de primaire van de uitgangstrafo koppelen, dan vindt slechts 1/3-e deel van de totale triodetegenkoppeling plaats, zoals die hierboven is beschreven. Het aftakpunt voor UL zit namelijk op 1/3-e deel van de primaire wikkeling en het schermrooster krijgt daardoor niet de volle anodewisselspanning op zijn dak (zoals bij triode) maar slechts 1/3-e deel daarvan. Er wordt dus minder lokaal tegengekoppeld, de lijnen in de Ia-Vak-Vgk kruipen minder naar elkaar toe waardoor het uitgangsvermogen nagenoeg gelijk blijft aan een pentode versterker, en de lijnen in die karakteristiek lopen minder verticaal in vergelijking met puur triode. Dus de UL-schakeling geeft meer vermogen maar minder speakerdamping dan bij triode. Ook is de UL-schakeling minder lineair (vervormt dus meer) in vergelijking met de pure triode, want er wordt minder lokaal (in de eindbuis zelf) tegengekoppeld.

Wat doe ik nu in mijn Super-Triode schakeling? Het gedeelte dat het schermrooster in UL minder tegenkoppelt (in vergelijking met de pure triode) laat ik opvangen door lokale tegenkoppeling op de kathode. De kathode sluit ik dan aan op een extra wikkeling op de uitgangstrafo. Dit levert net die extra tegenkoppeling om de eindbuis zich te laten gedragen als een triode, terwijl het uitgangsvermogen groot blijft omdat de karakteristieken nauwelijks in elkaar gedrukt worden.

Vormgeving van de modificatie:

Maar, zoals gezegd, de uitgangstrafo in de UL40-S2 heeft geen afzonderlijke kathodewikkeling, terwijl ik toch die extra lokale tegenkoppeling wens om de eindbuis triodegedrag te geven zonder vermogen te verliezen. Nu is er een andere techniek om lokaal tegen te koppelen, namelijk niet op de kathode maar op het stuurrooster zelf. Zie figuur 3.

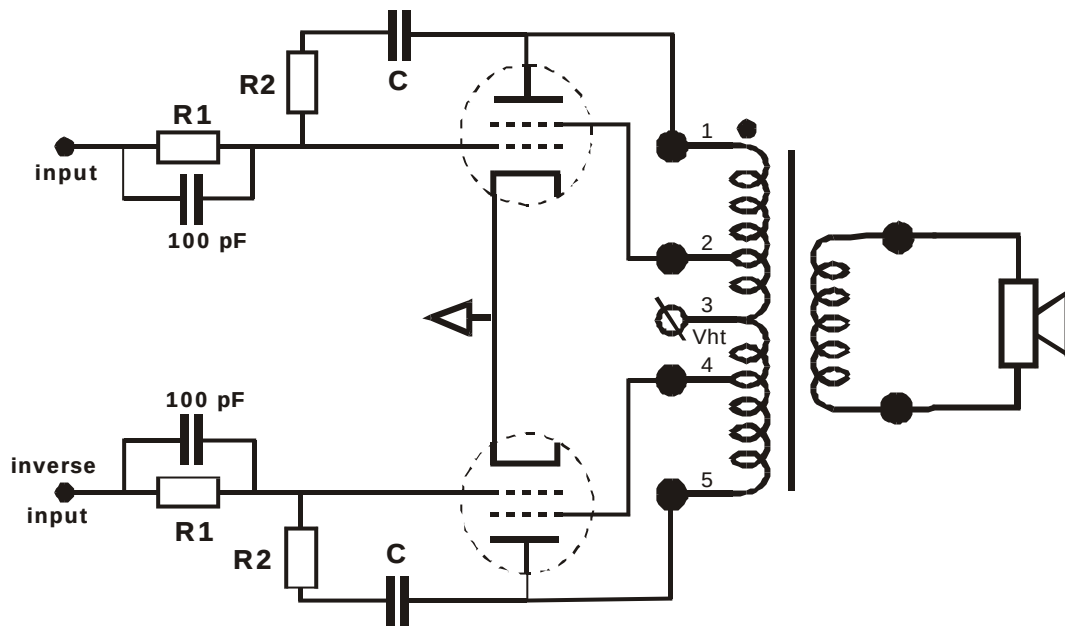


Fig. 3 : Basis Super-Triode schakeling met externe tegenkoppeling. Copyright 2004 Vanderveen

Een deel van de anodespanning wordt via een spanningsdeler (gevormd door R1 en R2; vergeet even de condensator C, die houdt alleen maar de hoge gelijkspanning op de anode tegen) naar het stuurrooster teruggevoerd. Als ik nu die terugvoer via R2 en R1 van de anodewisselspanning naar het stuurrooster gelijk maak aan de wisselspanning die anders over de kathodewikkeling had gestaan, dan bereik ik exact hetzelfde doel. De kathodewikkeling ziet immers ook een deel van de wisselspanning op de primaire wikkeling van de trafo (dezelfde kern) en ziet dus ook een deel van de anodewisselspanning. De twee weerstanden R1 en R2 kunnen dat doel ook bereiken, met dezelfde nauwkeurigheid.

De vraagstelling wordt nu: klopt Menno's plannetje? Ja, want anders ga ik niet publiceren, en trouwens, er is ook hier weer niets nieuws onder de zon (zie “Moderne High-End Buizenversterkers met Ringkerntransformatoren”, blz. 249, figuur 20.1, aldaar de weerstanden R5 en R6).

De volgende vraag wordt dan: hoe groot moeten R1 en R2 zijn in de UL40-S2 om het doel te bereiken? Neem het schema van de UL40-S2 er naast, dan kan het bovenstaande prinsipschema als volgt worden overgezet naar de UL40-S2, waarbij R12 en R22 in de UL40-S2 de nieuwe functie van R1 uit figuur 3 hierboven gaan innemen:

R12 (in UL40-S2) = 82 k (of serieschakeling van 47k + 50k instelpot, zie verderop)

R22 (in UL40-S2) = 100 k

Parallel aan R12 en R22 een Styroflex condensator van 100 pF (zie naschrift 28-11-04).

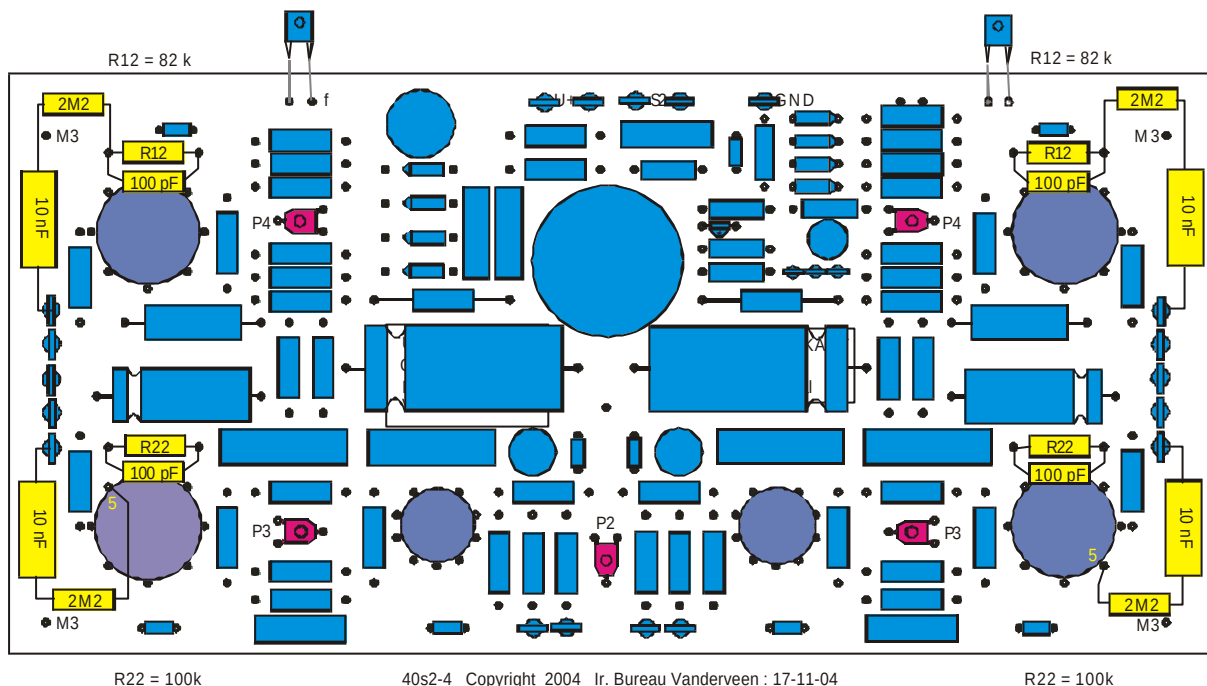
Rnieuw (in UL40-S2) = 2M2 (Deze Rnieuw staat in figuur 3 als R2 aangegeven)

Cnieuw (In UL40-S2) = 10 nF/1000V (Deze staat in figuur 3 als C aangegeven).

Een korte toelichting waarom R12 en R22 niet gelijk zijn. In serie met R12 moet de uitgangsimpedantie van de bovenste helft van de fasedraaier gedacht worden (ongeveer 17 k) en dan is R12 + 17 k weer gelijk aan R22. Door de grote tegenkoppeling in de onderste helft van de fasedraaier is diens uitgangsimpedantie verwaarloosbaar klein. Daarom hoeft R22 niet extra gecompenseerd te worden en kan deze gewoon 100 k zijn. De weerstanden zijn ¼ Watt in kool- of metaalfilm uitvoering.

(Bestelling van de condensator C bij: Farnell, Hollandsales@farnellinone.com of telefonisch 030-2417373, condensator type is LCR, bestelnummer 106-364, worden per zakje van 5 stuks verkocht. Zie ook het naschrift 28-11-04 aan het einde van dit artikel).

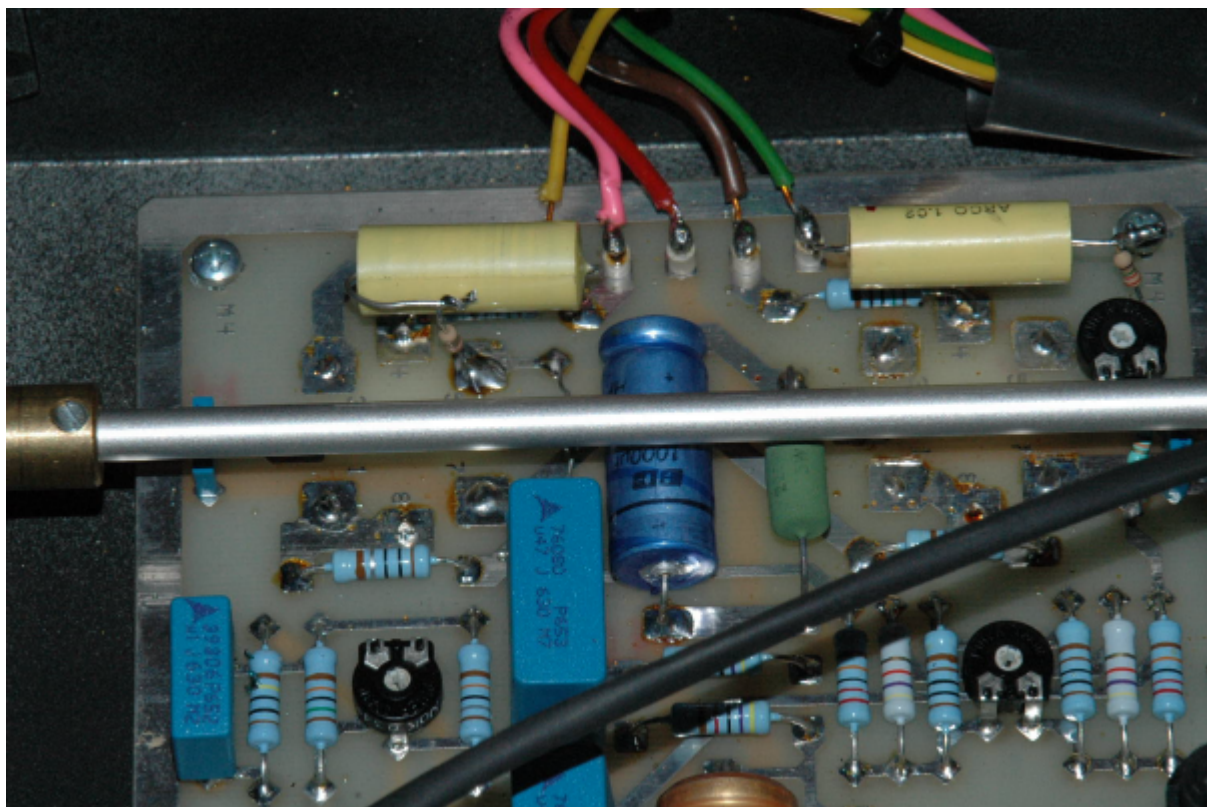
Volgende vraag: hoe moet je de modificatie aanbrengen? Verwijder de weerstanden R12 en R22 (beide 1k) en soldeer daar R12 = 82k en R22 = 100k plus de condensatoren van 100 pF. Voeg nu toe, zwevend boven de print per EL34 eindbuis de weerstand 2M2 in serie met 10nF naar de bijbehorende vlak naastgelegen uiterste aansluiting van de uitgangstransformator (kleur Groen of Geel). Zie figuur 4.



Wat levert deze modificatie op?:

Eerst maar eens de belangrijkste meetgegevens: a) het vermogen is 29 Watt aan 4 Ohm en dat is hetzelfde als bij de oorspronkelijke UL-instelling; b) de uitgangsimpedantie wordt nu 2,5 Ohm, wat gelijk is aan een dempingsfactor van $DF = 8/2,5 = 3,2$. Klankmatig heeft de versterker overduidelijk triodegedrag. Uitmuntende diepte en details en doorzicht. De versterker klinkt door en door schoon en rustig. Het ietwat wollige van UL is nu weg en vervangen door diepte en doorzicht. Dynamisch blijft het karakter gelijk aan UL, de bas blijft krachtig en is nu extra precies. Al deze kenmerken volgen rechtstreeks uit de achterliggende theorie.

Maar, je had het kunnen weten! Ieder voordeel heeft een nadeel, je moet altijd ergens betalen, dus waar ligt het nadeel nu? Het frequentiebereik in het hoog neemt af. Dat nadeel heeft de echte oorspronkelijke Super-Triode met kathodewikkeling niet, maar deze versie van Super-Triode heeft het wel omdat nu de eindbuis aan de fasedraaiër gekoppeld is via $R1=100k$. De ingangscapaciteit van de eindbuis (enkele pF) plus deze 100 kOhm is voldoende om de -3dB frequentie bij 40 kHz neer te leggen (in plaats van de oorspronkelijke 80 kHz). Tot nu toe heb ik in al mijn luisterexperimenten met CD's (die slechts tot 22 kHz gaan) geen nadelige gevolgen van deze frequentiebeperking kunnen horen, anders had ik het hier gemeld.



Een onverwacht extra voordeel:

Bij het afregelen van de gemodificeerde UL40-S2 stuitte ik op een onverwacht extra voordeel. Ik had in mijn proefversie R12 vervangen door een serieschakeling van een vaste weerstand van 47k en een instelpotentiometer van 50k (ik noem deze nu P5). Zie figuur 5.

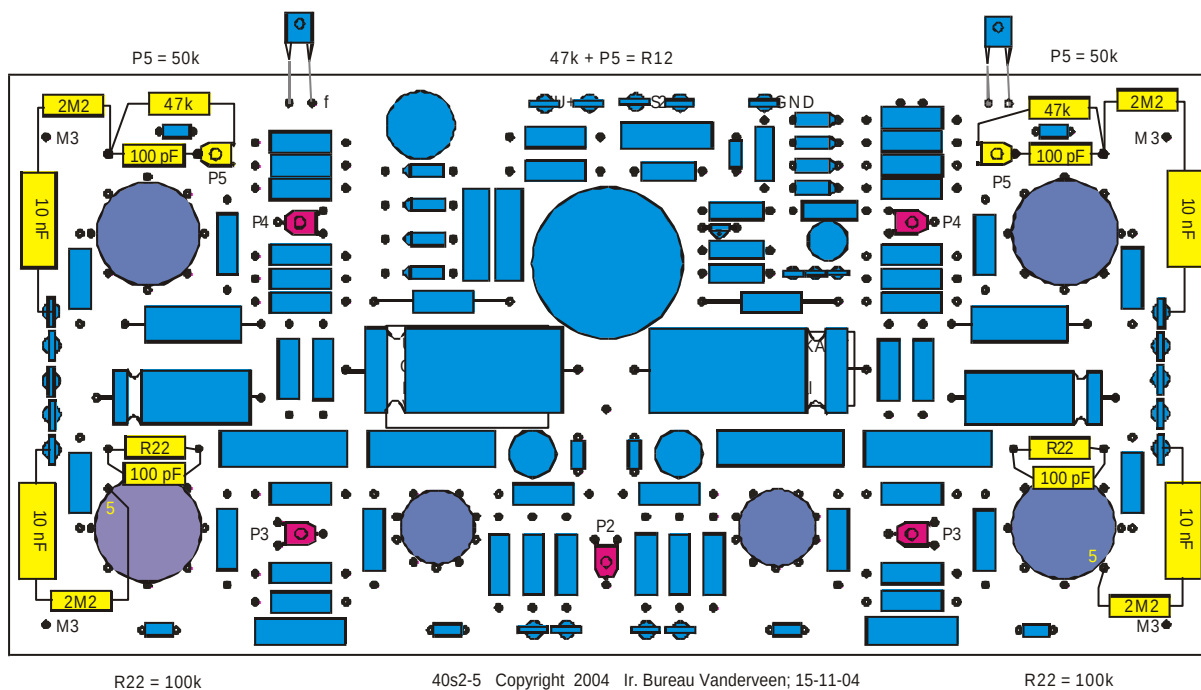
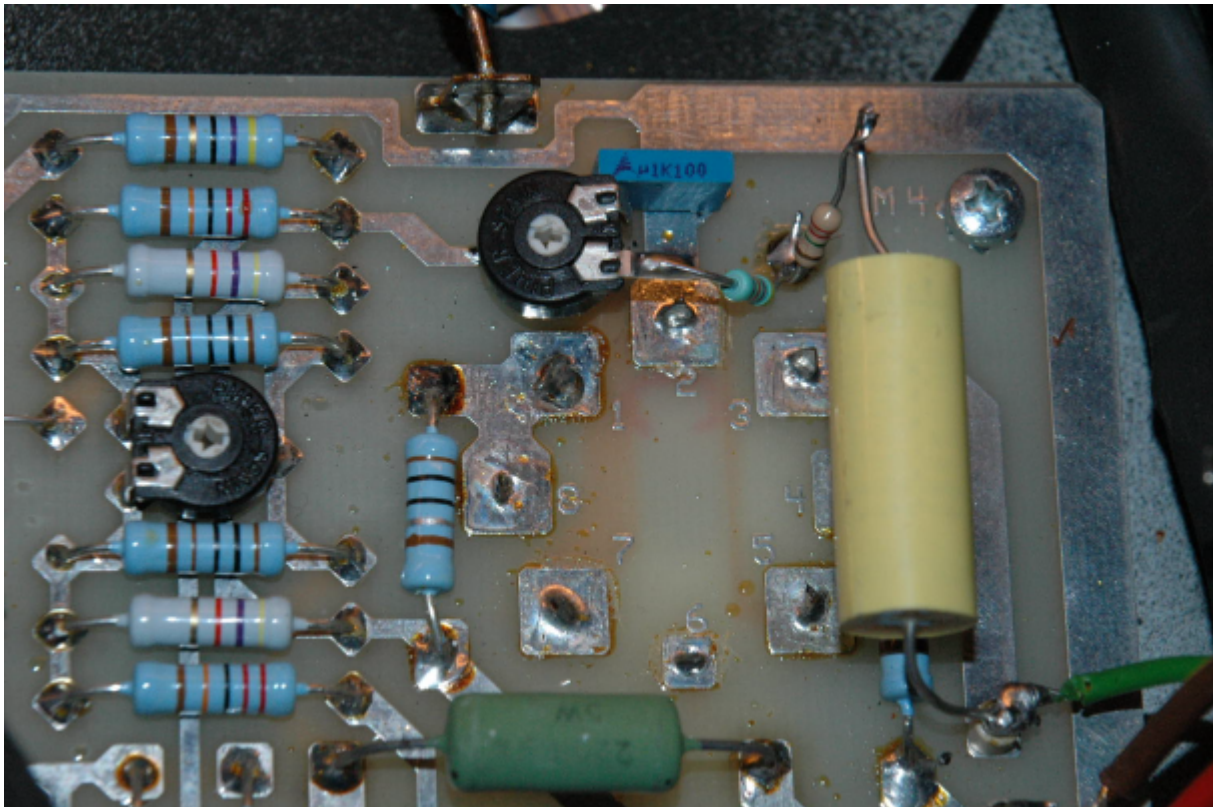


Fig. 5: De aansluitingen van de modificatie in instelbare uitvoering met P5 (28-11-2004)

Hiermee kon ik nauwkeurig compenseren voor het verschil in de uitgangsimpedanties van de

bovenste en onderste tak van de fasedraaier. Wat bleek? Als ik zonder enig ingangssignaal met een oscilloscoop (5mV/div. instelling) keek naar het uitgangssignaal bij de luidsprekerklemmen, dan wijzigde het bromniveau aan die uitgang als ik P5 qua instelling wijzigde. Met P4 had ik keurig de ruststromen I_o van de beide eindbuizen gelijk gemaakt (tot op 0,1 mA precies), door met een DC voltmeter gelijke spanningen te meten over R14 en R21. Daar kon dus die brom niet vandaan komen. Na enige analyse kwam ik er achter dat de rimpelspanning op V_o via de gebalanceerde uitgangstransformator precies weg filtert als de beide EL34 buizen exact dezelfde inwendige weerstand hebben. Dat is nu precies wat P5 regelt, want die bepaalt de mate van lokale tegenkoppeling in de eindbuis B2, en daardoor wordt de effectieve inwendige weerstand van B2 bepaald.



Waarom is dit resultaat zo bijzonder? Omdat ik naar mijn weten nog nooit eerder ben tegengekomen dat je een eindbuis op drie specificaties afzonderlijk kunt instellen, namelijk:

P4 maakt de ruststroom I_o van de eindbuizen gelijk

P5 maakt de effectieve inwendige weerstand van de eindbuizen gelijk

P3 maakt de effectieve versterking van de eindbuizen (plus fasedraaier) gelijk.

Voor wie deze afregeling eens wil nadoen geef ik nu nauwkeurig de afregelprocedure:

1) Voltmeter op DC en 200mV-schaal; klemmen van voltmeter aan bovenste en onderste EL34-kathodes. Instellen met P4 tot de voltmeter nul aanwijst.

2) Oscilloscoop op versterker uitgang, 5mV/div. Regel P5 tot de bromrimpel minimaal is. Bij deze instelling moet volumeregelaar P1 wel dicht staan, omdat anders misschien via de ingang brom zou kunnen doorlekken en dat zou de aflezing kunnen bemoeilijken.

3) Ingangssignaal van 1kHz-sinus op de ingang. De uitgang belasten met een dummyload van 4 of 5 Ohm. Met de oscilloscoop het uitgangssignaal bekijken. Draai de volumeregelaar P1 zo ver open dat het uitgangssignaal bijna vastloopt. Regel vervolgens symmetrische vastloop met P3. (Wie heel goed luistert naar het zacht meezingen van de uitgangstrafo kan horen dat de tweede harmonische

vervormingcomponent door deze afregeling verdwijnt. Je moet daartoe tot vlak onder de clipgrens uitsturen). Omdat de eindbuizen qua specs nu totaal gelijk zijn, zal de 100Hz blokgolftest ook een stabiel beeld opleveren.

4) Doe bovenstaande voor linker- en rechterhelft van de versterker. Belast nu de linker en rechter uitgangen elk met een gelijke dummyload van 4 Ohm. Sluit een tweekanaal oscilloscoop aan op de linker en rechter uitgang. Zet P1 op 3 uur. Voeg nu aan de linker en rechter ingang evenveel 1kHz-sinus toe. Stuur de uitgang uit tot 8Vtt en regel met P2 af dat beide versterkerkanalen evenveel signaal afgeven. Daarmee is de links-rechts balans gelijk geworden. Waarom zet ik hier P1 op 3 uur? Ik heb gemerkt dat afwijkingen in de Alps potentiometer vooral boven 3 uur optreden en dat daaronder de gelijkheid uitmuntend is. Men zal meestal luisteren met P1 ergens onder 3 uur (ik zelf luister meestal op 12 uur) en met de hier gegeven procedure is dan de balans tussen links en rechts in het gebied onder 3 uur optimaal.



Samenvattend:

De UL40-S2 kan UL-vermogen houden en krijgt volledig triodegedrag met lage totale vervorming, wat "Super-Triode" heet, door middel van een truc met twee weerstandjes plus condensator per eindbuis (in totaal dus 4 x in de UL40-S2). De eindbuizen zijn zeer nauwkeurig aan elkaar gelijk te maken op drie specificaties door R12 uit te voeren als serieschakeling van 47k plus 50k instelpot. Door deze fijninstelling neemt de totale vervorming van de versterker nog eens extra af.

Heel veel succes met deze goed werkende en eenvoudige en goedkope modificatie!

Zwolle; 12-october 2004.

Deze modificatie en artikel: Copyright 2004 Ir. Bureau Vanderveen;

Super-Triode: Copyright & Registered 1998 Ir. Bureau Vanderveen

Naschrift (28-11-04):

1) De heer Koen Koenders uit Oud-Turnhout in België belde me op dat hij problemen had met de modificatie. Zijn versterker ging keihard brommen en hij kon de oorzaak daarvan niet vinden. Bij controle in mijn lab bleek de versterker te oscilleren op 640 kHz. Verdere metingen toonden aan dat de modificatie correct was aangesloten. De oorzaak van de oscillatie bleek te liggen in een capacitieve koppeling tussen het schermrooster G2 en het stuurrooster G1, die actief kan worden als R12 en R22 respectievelijk 82 en 100 kOhm worden. In mijn proefversterker speelde deze capacitieve koppeling geen rol, daarom had ik hem ook niet vooraf ontdekt. Deze ongewenste koppeling valt heel eenvoudig te stoppen door parallel aan R12 en R22 een Styroflex condensator te plaatsen van 100 pF. Deze extra condensator heeft in het audiogebied geen enkele invloed en dempt keurig de oscillatie. Ik heb deze aanvulling voor alle zekerheid nu in alle tekeningen doorgevoerd. Tevens zorgt de 100 pF er voor dat de -3dB bandbreedte toeneemt van 40 kHz tot 70 kHz omdat de ingangscapaciteit bij het stuurrooster van de eindbuis gecompenseerd wordt, hetgeen dus een duidelijke verbetering is. Met hartelijke dank aan dhr. Koenders voor het feit dat hij zijn versterker voor langere tijd ter beschikking stelde voor nader onderzoek.

2) Iemand belde mij op dat hij problemen had om de condensatoren van 10nF/1000V rechtstreeks bij Farnell te bestellen, omdat hij als consument nogal wat formulieren moest invullen in verband met de noodzakelijke registratie bij Farnell. Vraag daarom uw onderdelenleverancier of hij/zij ze voor u bestelt. Lukt dat niet, email mij dan, dan lever ik alle weerstanden en condensatoren plus instelpots P5 in een enveloppe tegen vooruitbetaling.

Modificatie voor de UL40-S:

