

VDV E-CHOKE: DE SLIMME ELEKTRONISCHE SMOORSPOEL

Inleiding

Van oudsher past men in de hoogspanningsvoeding van buizenversterkers een smoorspoel toe. Deze onderdrukt op een uitstekende manier de rimpelspanning die na gelijkrichting op de voedingspanning aanwezig is. De versterker wordt daardoor arm aan brom. Als een smoorspoel heel nauwkeurig is gemaakt, kan deze ook een goede blokkade vormen voor hoogfrequente stoorspanningen van het lichtnet. De eis is dan dat de inwendige capaciteit tussen in en uitgang van de smoorspoel zo gering mogelijk is. Om dit te bereiken wikkelt men de spoel in gescheiden kamers, zodat de in en uitgang zo ver mogelijk bij elkaar vandaan zitten. Om de stroom door de buizen te kunnen leveren moet de kern van de smoorspoel een spleet hebben, zodat deze niet in verzadiging gaat. Een smoorspoel heeft ook nadelen: het is een ruimtevretend blok ijzer dat snel geneigd is om zelf mechanisch te gaan brommen. Door de spleet in de kern is het magnetische lekveld buiten de smoorspoel groot, en dat kan andere gevoelige delen van de schakeling nadelig beïnvloeden.

Tot nu toe vond ik de genoemde nadelen van de smoorspoel te zwaarwegend en daarom paste ik die niet toe in mijn versterker ontwerpen. Opmerkelijke metingen brachten mij onlangs op het spoor om iets totaal nieuws te gaan maken, dat net zo werkt als een smoorspoel, maar de nadelen ervan niet bezit. Dus geen magnetische stoorvelden en mechanisch geratel, klein volume en universeel toepasbaar. De goede eigenschappen van de smoorspoel (met de frequentie toenemende impedantie en geringe capacatieve koppeling tussen in en uitgang) wilde ik wel, en die heb ik in mijn nieuwe ontwerp elektronisch gerealiseerd, met een actieve schakeling. Aanvullend was de eis dat de nieuwe elektronische smoorspoel rechtstreeks in de UL40-S2 ingebouwd moet kunnen worden, zonder heftige veranderingen en op een eenvoudige manier. Het is me gelukt om deze smoorspoel te ontwikkelen, en met enige trots stel ik u nu de nieuwe Vanderveen elektronische smoorspoel voor, die ik de naam VDV E-CHOKE heb gegeven. De realisatie ervan is verzorgd door Tentlabs.

Achtergrond van de VDV E-CHOKE

In de UL40 (en dat geldt ook voor veel andere versterkers) wordt de hoogspanning van de voedingstransformator met diodes gelijkgericht en gebufferd in een hoogspanningselco van 330uF/450V. Als we bij fikse stroomvraag (bijvoorbeeld een ruststroom van 4 x 80mA door de eindbuizen) de rimpelspanning meten op deze hoogspanning, dan bedraagt die om en nabij 14 V top-top (14V_{tt}). In wezen hebben we daar geen last van, want in de balansschakeling wordt deze rimpelspanning keurig in de uitgangstrafo opgeheven, mits de twee eindbuizen exact dezelfde inwendige weerstand hebben. Daarom heb ik indertijd de super triode schakeling ontwikkeld, waarmee de inwendige weerstand (met P5 =

50 kOhm, geplaatst voor het stuurrooster van de bovenste eindbuis) precies gelijk gemaakt kan worden. De ruststromen door de eindbuizen maak ik gelijk met mijn autobias schakeling en de versterkingsfactor (steilheid) maak ik gelijk in de fasedraaier (P3). Hierdoor zijn de eindbuizen exact in balans en vind je van deze voedingsrimpel niets terug bij de luidspreker, terwijl microdetails onverzwakt worden weergegeven..

Toch bleek dit niet helemaal waar te zijn, zoals onderstaande meting aantoonde. Hierin wordt een 1kHz signaal door de versterker gevoerd en het spectrum van het uitgangssignaal naar de luidspreker wordt gemeten. Er ontstaan harmonische componenten bij 2kHz en 3kHz en hogere frequenties. Maar wat er ook ontstaat zijn intermodulatie producten tussen de dubbel gelijkgerichte hoogspanning (netfrequentie van 50Hz wordt dan 100Hz met hogere harmonischen) en het 1kHz hoofdsignaal. Zie hieronder.

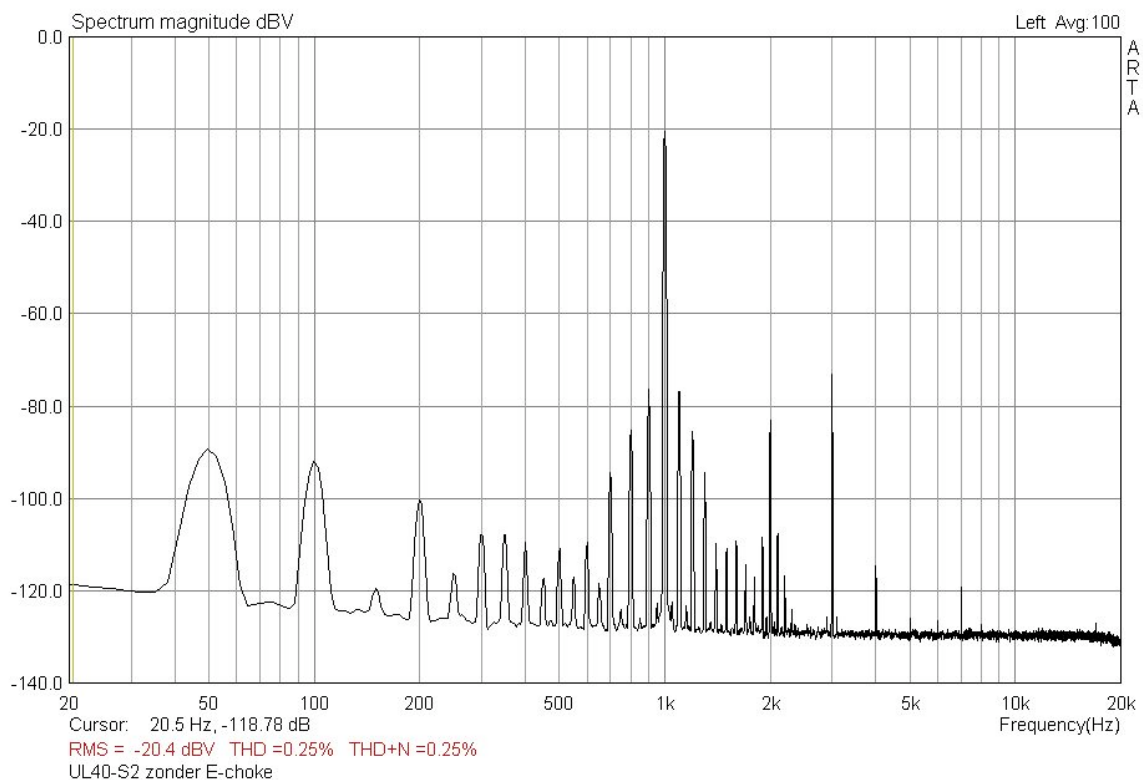
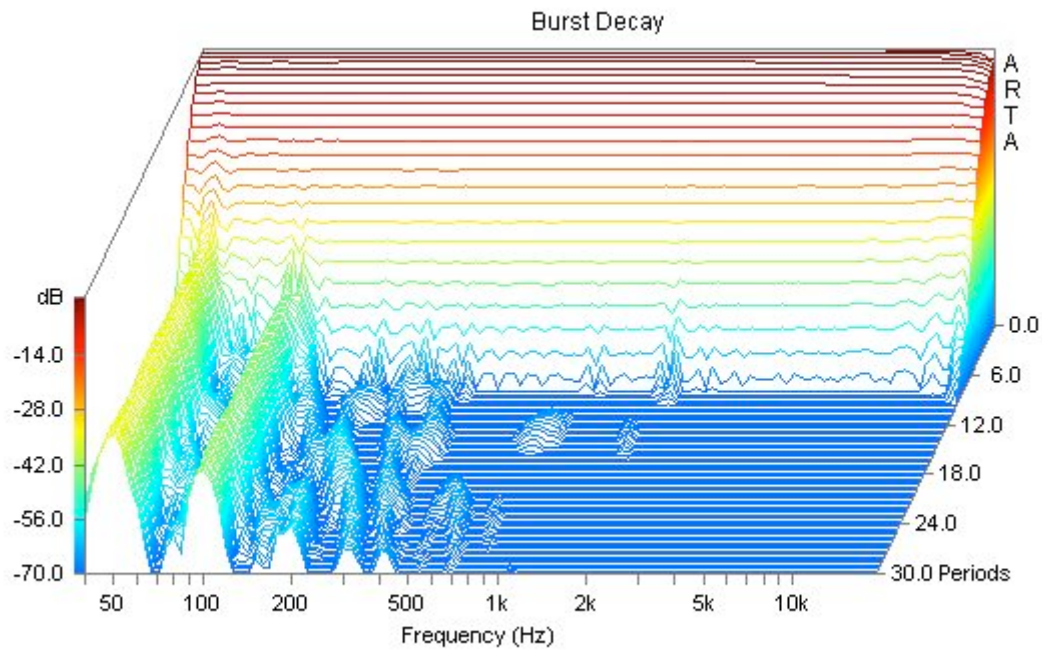


Fig-1: Spectrum UL40 met 1kHz, 8Vtt in 4 Ohm, zonder smoorspoel

Rondom het 1kHz signaal zijn op 100Hz afstanden een meervoud van intermodulatie signalen aanwezig. Deze hoor je niet rechtstreeks, want het sterke 1kHz signaal maskeert die intermodulatie producten (tenminste dat dacht ik tot nu toe). Wat je wel zwak kunt horen zijn de 50Hz en 100Hz residuen, want die komen boven de theoretische maskeringkromme uit.

Kijken we ook nog in de tijd, hoe een breedbandige pulsspanning uitsterft, nadat deze plotseling is gestopt, dan blijft er toch nog wel wat ellende in de signaalfloor over, zoals de volgende meting aantoonde.



UL40-S2 zonder E-choke

Fig-2: UL40 zonder smoorspoel, let op rommel in de signaalfloer.

Ik kan nu al vast melden dat deze rommel hoorbaar is. We hebben dus niet alleen te maken met een momentane maskeringkromme die omringende frequenties onderdrukt, maar ook met restant rommel die na het uitsterven van het signaal hoorbaar wordt.

Stel nu dat ik aan de hoogspanningsvoeding een gewone 10H smoorspoel en een extra 330uF/450V elco in pi-schakeling toevoeg, hoe ziet de situatie er dan uit? Onderstaand figuur laat dit zien.

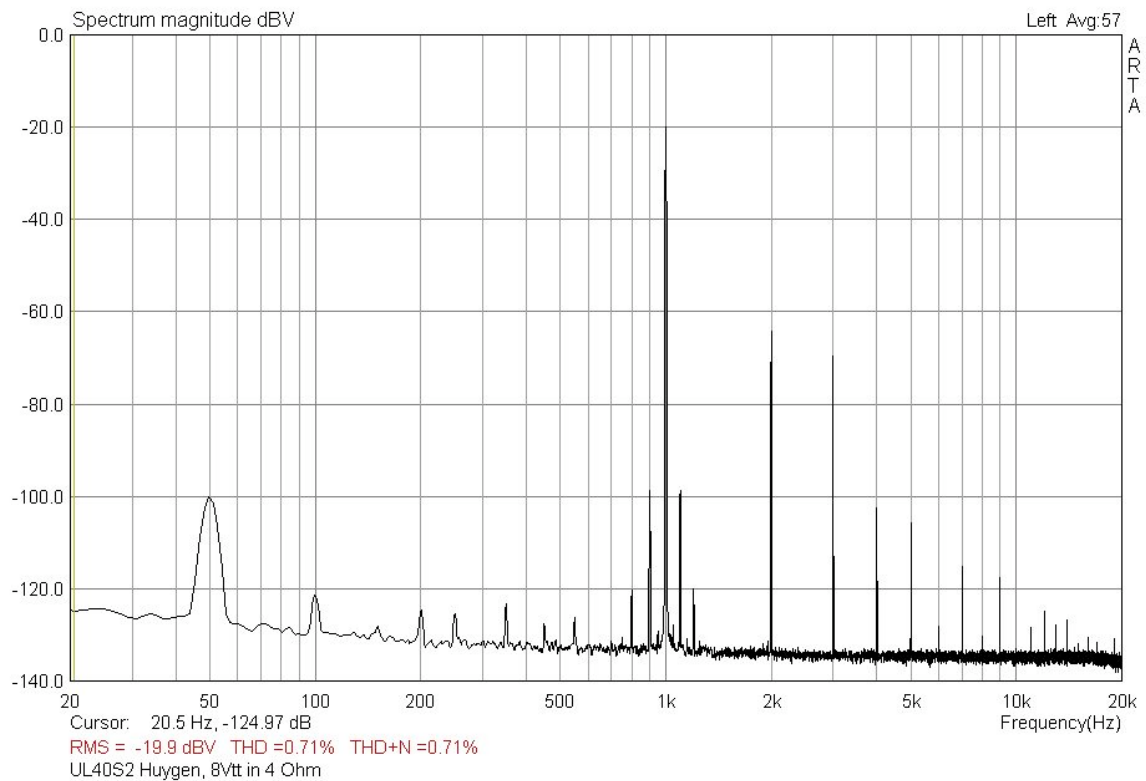


Fig-3: UL40 met extra smoorspoel en extra 330uF/450V elco

Overduidelijk is nu zichtbaar dat de 100Hz en 1kHz intermodulatie producten drastisch zijn afgenomen, evenals (in het bijzonder) de 100Hz component van de rimpelspanning. In het voorbeeld hiervoor hebben we al gezien dat we ook in de tijd moeten kijken, en het volgende figuur toont aan wat daar gebeurt.

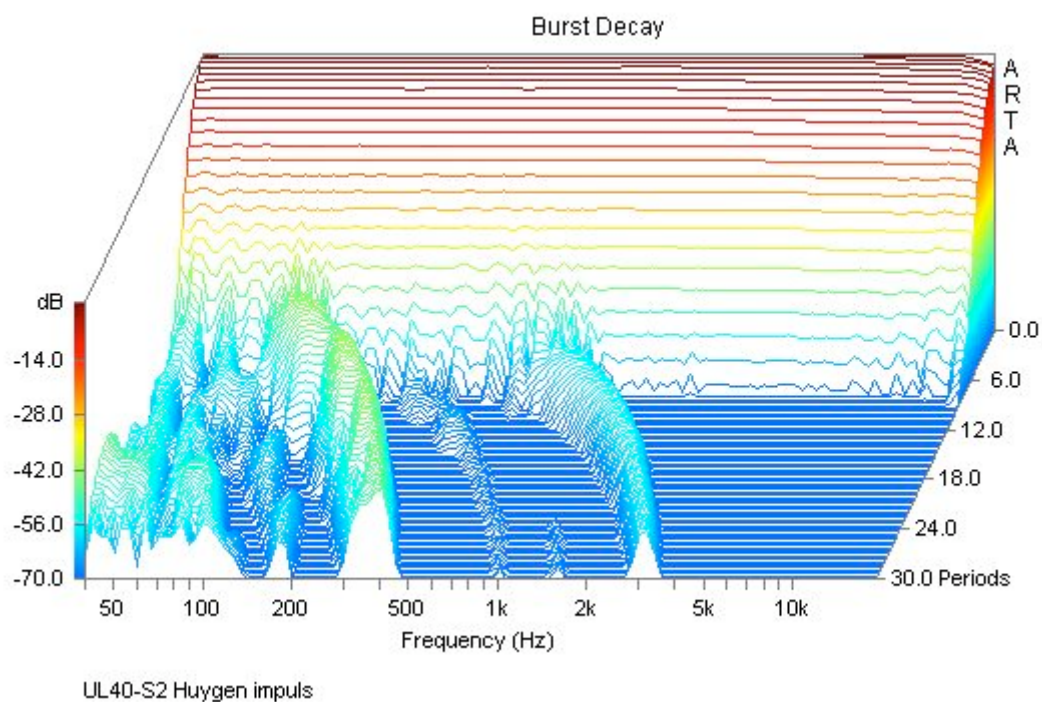


Fig-4: UL40 met smoorspoel en extra elco

Dit resultaat ziet er niet helemaal jofel uit. Weliswaar is de brom (50 en 100Hz) minder, maar het signaal gaat uitslingeren, de smoorspoel is niet correct afgestemd op naslingeringen in de voedingsspanning.

Het volgende figuur toont de resultaten met mijn nieuwe VDV E-CHOKE, waarvan de tijdmodus (zie verderop) uit staat. Aan de UL40 versterker is nu mijn nieuwe schakeling toegevoegd, die tussen twee elco's van 330uF/450V hangt (pi-schakeling). Één van die elco's is al op de oorspronkelijke print van de UL40 aanwezig, dus daarom bevat de E-CHOKE slechts één extra elco van 330uF.

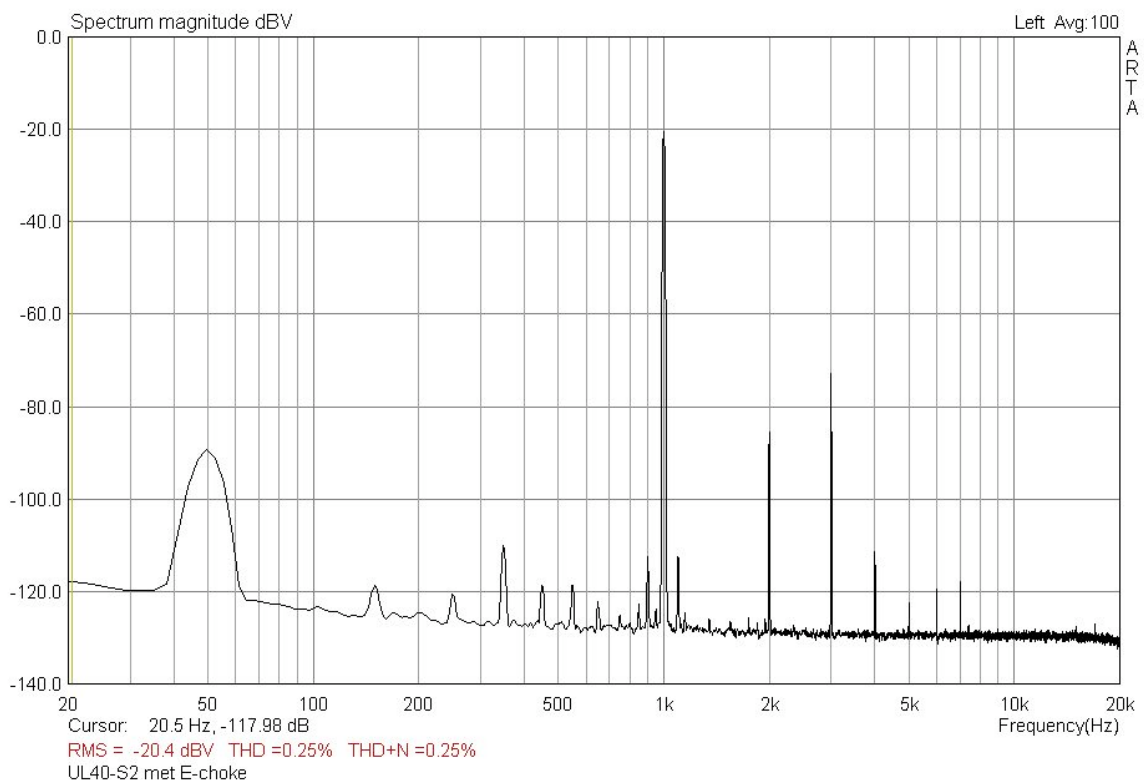


Fig-5: UL40 met VDV E-CHOKE, tijdmodus uitgeschakeld.

Wat we hier zien is een drastische onderdrukking van de 100Hz componenten en de intermodulatie rondom 1kHz is sterk verzwakt. Over het gedrag van de 50Hz component spreek ik verderop. Dit is een uiterst effectief resultaat dat de gewone smoorspoel ruim overtreft. Maar hoe ziet dit er uit in het tijddomein? Zie het volgende figuur.

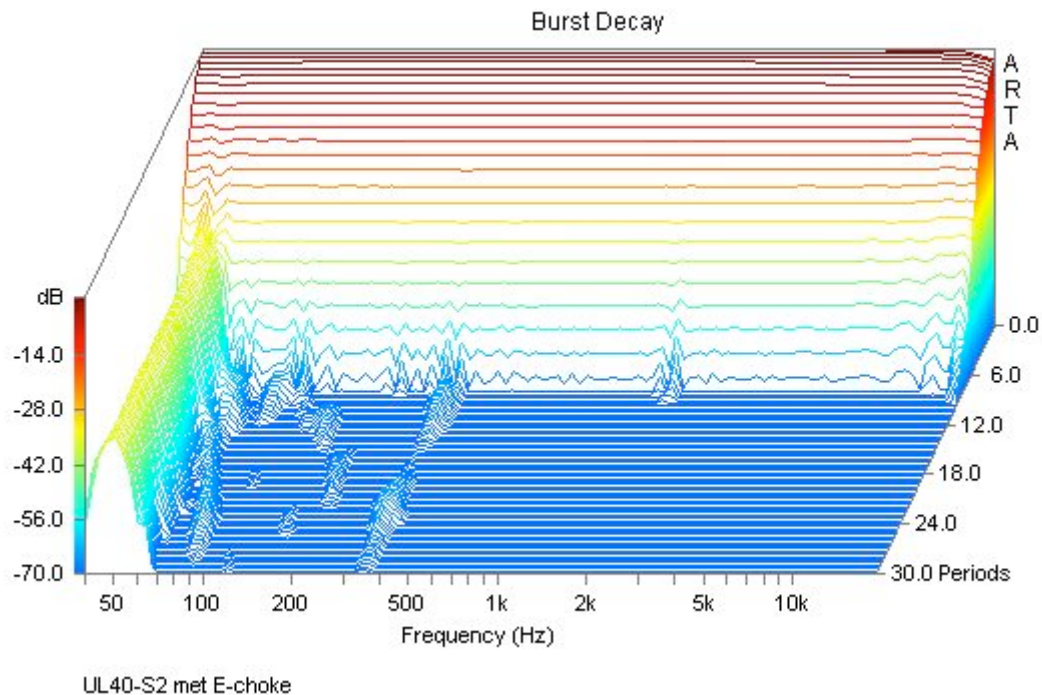


Fig-6: UL40 met VDV E-CHOKE, tijdmodus uitgeschakeld.

Hier is duidelijk zichtbaar dat de rommel in de signaalfloor nagenoeg helemaal verdwenen is, terwijl de fikse uitslingering van de 50 en 100Hz restspanningen nagenoeg volledig is onderdrukt. Er is nog een klein restant aanwezig, dat na 40ms verdwenen is. In deze instelling reageert de smoorspoel uiterst snel en kan hij sprongvormige signalen uitstekend aan. Deze tijdmodus is bedoeld voor versterkers in klasse AB, waarbij de stroomvraag in de tijd zeer snel kan veranderen.

Maar het kan nog beter: schakelen we de tijdmodus in, dan worden de bromsignalen nog eens extra onderdrukt. Zie het volgende figuur.

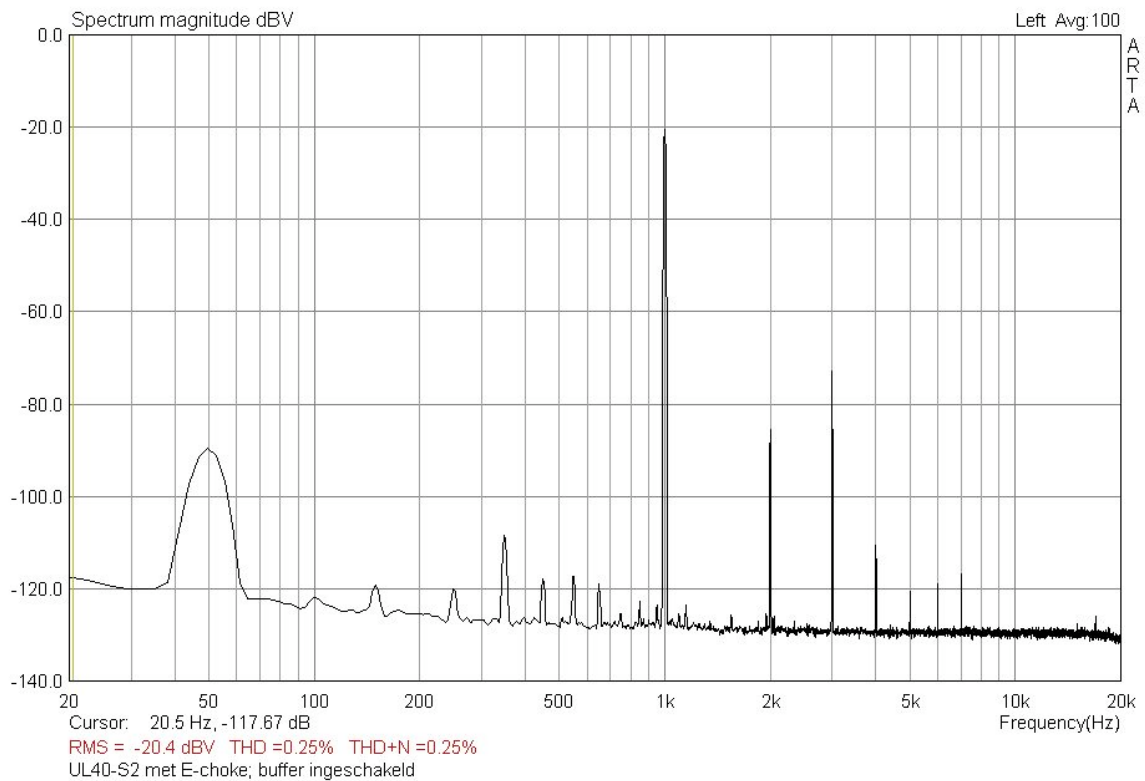
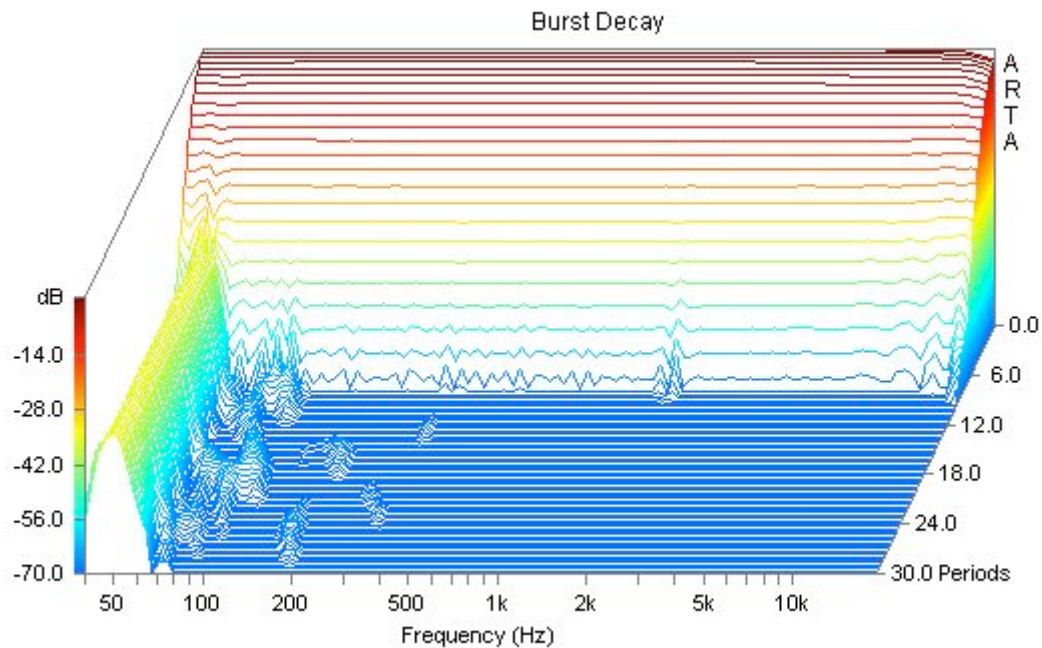


Fig-7: UL40 met VDV E-CHOKE, tijdmodus ingeschakeld

Een gewone smoorspoel heeft geen tijdmodus, dus dat is iets nieuws van mij wat ik aan de werking van de smoorspoel heb toegevoegd. De gedachte hierachter is: bij een versterker in klasse A is de stroomvraag nagenoeg constant. In dat geval kun je bij (kleine) sprongvormige signalen heel precies het tijdgedrag van de filtering afstemming op optimale demping en afwezigheid van naslingering. Zie daartoe onderstaand figuur.



UL40-S2 met E-choke buffer ingeschakeld

Fig-8: UL40 met VDV E-CHOKE, tijdmodus ingeschakeld.

Nu is overduidelijk geen enkele naslingering meer aanwezig, en de rommel in de signaalfloer is weg. In het tijddomein is het signaal optimaal schoon geworden. Voor de meetfanaten: bij stroomvariatie wordt de hoogspanning binnen 10ms hersteld waarbij het herstel in de tijd zich kritisch gedempt gedraagt.

Samenvattend: de VDV E-CHOKE verwijdert niet alleen bromrestanten en intermodulatie producten in het frequentiedomein, maar maakt in het tijddomein de signaalfloer na een plotseling stoppend signaal helemaal stil en schoon. En dat hoor je!

Nog een opmerking over de meetfiguren. In de spectra lijkt het alsof er met de 50Hz component niets gebeurt, alsof deze door de E-CHOKE niet verzwakt wordt. Dat is niet het geval; 50Hz wordt wel verzwakt zoals hierna wordt besproken. De gemeten 50Hz component vindt hoofdzakelijk zijn oorsprong in de computer meetopstelling en een geringe magnetische koppeling tussen de voedingstrafo en de uitgangstrafo.

Met de oscilloscoop zijn de volgende metingen gedaan. Bij een ruststroom van $4 \times 60\text{mA}$ bedraagt de rimpelspanning over C-in 7V_{tt}. Na de E-CHOKE met tijdmodus op uit blijft er een rimpelspanning van 50mV_{tt} over. Dit betekent een onderdrukking van ruim 40dB. Wordt de tijdmodus aan gezet, dan blijft er een rimpelspanning van slechts 3mV_{tt} over. De totale effectieve onderdrukking is dan ruim 60dB.

VDV E-CHOKE specificaties

print : 72 bij 50 mm, hoogte 50 mm (elco en koelvin)

Imax	: 500mA
Vmax	: 450V
Vrimpel max	: 15Vtt
C-in	: 330uF/450V (op choke-print aanwezig)
C-uit	: 330uF/450V (optimale afstemming, extern aansluiten)
verlies	: maximaal 17V tussen in en uitgang bij 500mA
dissipatie	: maximaal 5W op gearde koelvin
onderdrukking	: >40dB, tijdmodus uit
	: >60dB, tijdmodus aan
	: (C-uit is 330uF)
reactietijd	: 40ms met tijdmodus uit
	: 10ms met tijdmodus aan (kritisch gedempt)
beveiliging	: geen
toepassing	: klasse AB versterkers met tijdmodus uit
	: klasse A versterkers met tijdmodus aan
	: hoorbaar aan de "snelheid" van bassignalen

Inbouw in de UL40-S2

Onderstaand figuur toont de oorspronkelijke schakeling van de voeding in de UL40-S2. Met nadruk ga ik vervolgens kijken naar de veranderingen in het hoogspanningsdeel.

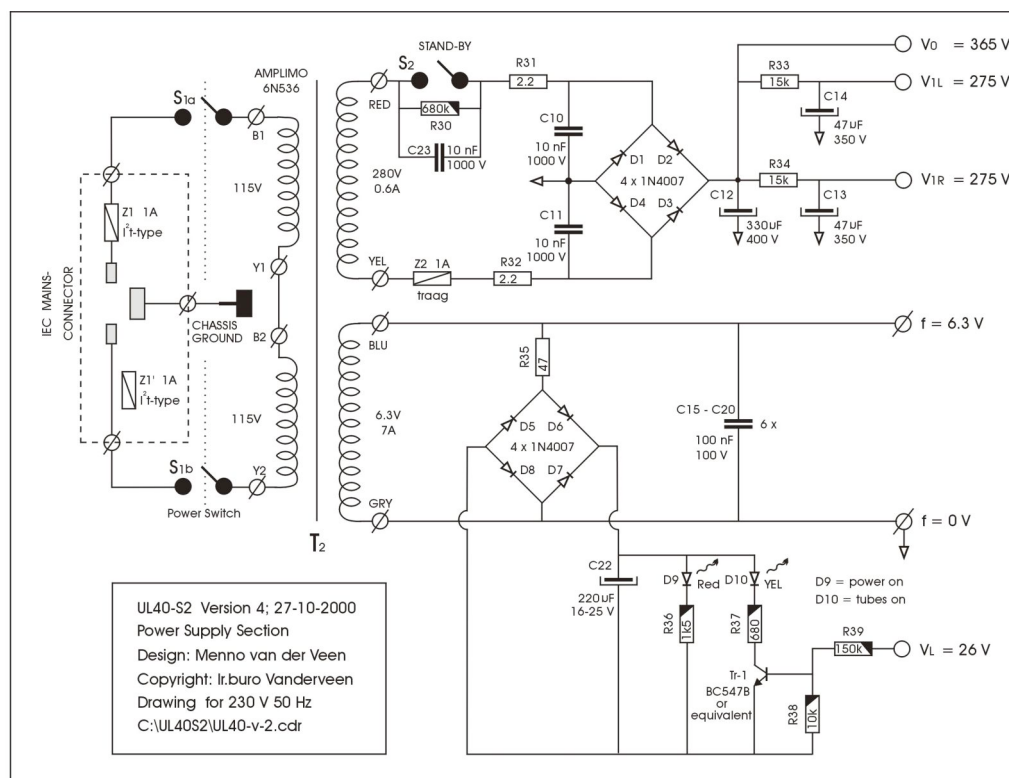


Fig-9: Oorspronkelijke voeding van de UL40-S2

Onderstaand figuur toont de hoogspanningsvoeding, waar nu de E-CHOKE aan toe is gevoegd.

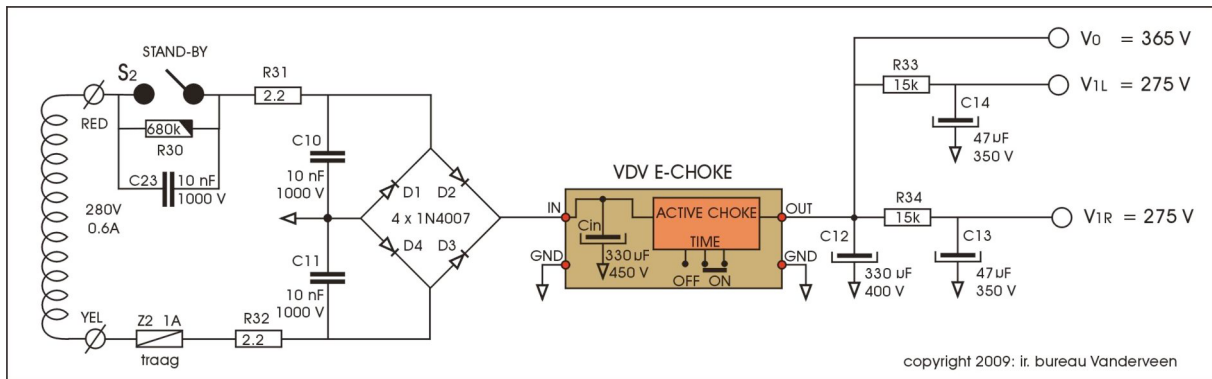


Fig-10: UL40-S2 met VDV E-CHOKE

Heel duidelijk is hier te zien dat de door de vier diodes gelijkgerichte voedingspanning nu eerst naar de E-CHOKE gaat, aldaar wordt bewerkt, en vervolgens naar de al aanwezige C12 van 330uF wordt geleid. De E-CHOKE komt dus als extra element tussen de diodes en C12.

Gelukkig is de inbouw van de E-CHOKE ook heel eenvoudig. Onderstaand figuur legt dit uit.

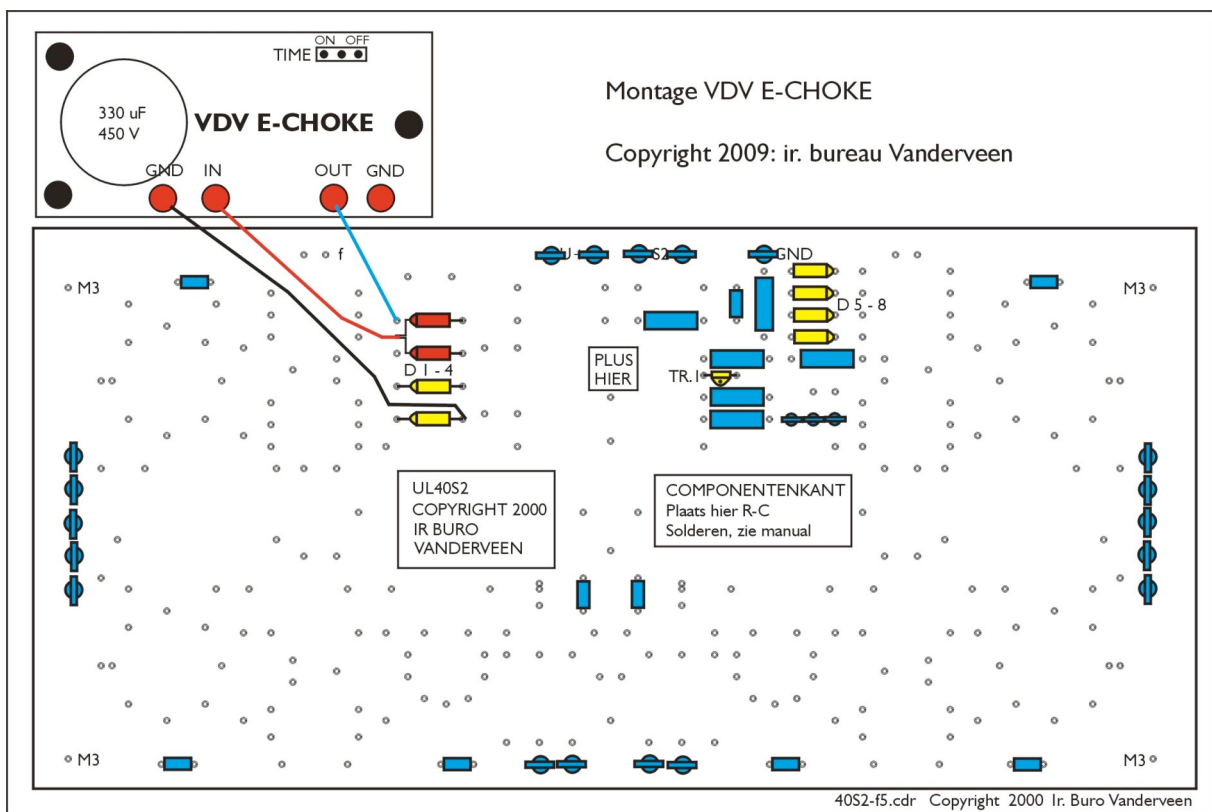


Fig-11: Inbouw E-CHOKE in UL40-S2

1) Plaats de E-choke met drie (!) plakvoetjes links boven de hoofdprint (aangegeven met de zwarte cirkeltjes). Ik gebruik drie voetjes omdat rechtsboven bij de E-CHOKE net de hoofdschroef van de uitgangstransformator zit, en daarop kun je niet zo goed plakken. Ik doe onder de plakvoetjes siliconenlijm, want die werkt beter dan de lijm van

de plakvoetjes. De verlengas van de keuzeschakelaar kun je eerst maar beter even weghalen om er goed bij te kunnen. Tijdens het drogen van de siliconenlijm kun je de E-CHOKE gemakkelijk nog iets verschuiven, zodat de verlengas van de schakelaar precies tussen een grote condensator en de elco van 330uF valt. Deze positie is door ons nauwkeurig uitgemeten, zodat alles keurig past. Laat de siliconenlijm een tijdje (enige uren) drogen.

2) Soldeer de twee bovenste gelijkrichtdiodes aan de LINKERKANT los van de print. Monteer ze in de lucht met een draad aan elkaar en leidt die draad naar het IN-contact op de E-CHOKE (rood getekend in figuur). Isoleer met krimpkous de koppelverbinding van de twee diodes met de draad.

3) Soldeer een draad tussen GND op de E-CHOKE naar de rechterkant van de onderste diode (zwart getekend in figuur).

4) Soldeer een draad tussen OUT op de E-CHOKE naar de printbaan waar oorspronkelijk de linkerkanten van de twee bovenste diodes gesoldeerd zaten (blauw getekend in figuur).

Hiermee is de montage van de E-CHOKE klaar. Natuurlijk alles goed controleren, maar deze montage is de eenvoud zelve, dus het kan bijna niet mis gaan.

Afregelen

Alleen het tijdgedrag van de E-CHOKE is instelbaar door het omzetten van een koppelbrugje tussen de drie tijd-pinnetjes, rechts boven op de E-CHOKE print. Ik geef hieronder enige adviezen voor instelling bij de UL40-S2.

a) TIME = OFF voor de UL40-S2 in basisuitvoering, met kathode weerstand en kathode elco. Ook in de UL40-S2 met Super Triode Schakeling moet deze instelling worden gebruikt. Wordt ook de auto-bias schakeling gebruikt, en zijn de ruststromen per eindbuis kleiner dan 60mA, dan is deze stand ook correct.

b) TIME = ON geldt voor de UL40-S2 met ruststromen groter dan 60mA per eindbuis. De versterker werkt dan nagenoeg helemaal in klasse A en dan is dit optimale instelling.

Het volgende wat ik opschrijf, doe ik met enige aarzeling en ik hoop dat de mensen die dit stukje nodig hebben het met zeer grote aandacht lezen. Uiterste zorgvuldigheid is geboden.

Waar gaat het om: in de super triode instelling is bromspanning op de voeding nodig om de inwendige weerstanden van de eindbuizen met P5 precies gelijk af te regelen. De E-CHOKE haalt al die brom weg, dus hoe moet je dan afregelen? Dat beschrijf ik nu.

- 1) Zet de versterker UIT en zet de tijdinstelling van de E-CHOKE ook uit, dus de OFF-stand gebruiken !!
- 2) Verbind na enige minuten (de elco's zijn dan ontladen) met een hulpdraadje tijdelijk de IN en OUT van de E-CHOKE met elkaar. Daardoor wordt de E-CHOKE buiten werking gesteld en heb je dus weer brom.
- 3) Zet de versterker weer aan en regel P5 af op minimale brom uit de luidspreker. Daarmee zijn de inwendige weerstanden van de eindbuizen optimaal aan elkaar gelijk.
- 4) Zet de versterker weer uit en wacht enige minuten.
- 5) Haal vervolgens de tijdelijke verbinding tussen IN en OUT van de E-CHOKE weer weg.
- 6) De Super Triode modus is nu optimaal ingesteld en de eventuele restbrom wordt door de E-CHOKE tot een absoluut onhoorbaar niveau teruggebracht.

Als men bovenstaande stappen niet volgt (bijvoorbeeld TIME=ON, of men maakt een verbinding met GND), dan overlijdt de E-CHOKE. Dit verklaart mijn aarzeling, maar ik vind dat het precies omschreven staat, dus als men deze stappen goed volgt, kan er eigenlijk niks mis gaan. Maar de ervaring heeft me geleerd dat Ik heette in mijn studententijd niet voor niets "Menno blow-up" omdat ik in mijn leerweg heel wat elektronica om zeep heb geholpen. Ach ja, goede oude tijd ?!

Subjectieve evaluatie

De enorm grote winst die de E-CHOKE brengt is echt niet alleen de afwezigheid van hoorbare brom. De winst is dat men stukken dieper in de stilte van het geluidsbeeld kan luisteren en daardoor veel meer details kan waarnemen. De ruimte tussen de instrumenten wordt doorzichtiger en schoner. Hiervoor heb ik dit al verklaard vanuit de metingen in het tijdsdomein. Een plotseling stoppend signaal blubbert in de voeding niet na, er ontstaat echte stilte waar ruimte is voor de waarneming van micro details. Dit is ook de verklaring waarom voedingen met smoorspoelen (mits correct ingesteld) zo overduidelijk beter klinken. Mijn E-CHOKE doet dat ook, zonder de heftige nadelen van gewone smoorspoelen. De winst is dus: veel beter waarneembare micro details.

Inbouw in andere versterkers

Natuurlijk kan de E-CHOKE ook in andere buizenversterkers worden ingebouwd. De belangrijkste voorwaarde is dat de voedingsspanning niet groter is dan 450V en de stroomvraag niet groter dan 500mA. Is hieraan voldaan, dan kan men na de al aanwezige gelijkrichting de E-CHOKE plaatsen en de uitgang ervan naar de al aanwezige hoogspanning condensator voeren. Deze procedure is precies gelijk aan de bouw in de UL40-S2, waarvan figuur 10 het hoofdprincipe aangeeft.

Er is echter nog een andere overweging. Gelijkrichting met halfgeleider diodes verdragen de redelijk grote C-in van 330uF zonder problemen. Als echter de gelijkrichting in de versterker met buizen plaatsvindt, dan kon de ingangscondensator van 330uF wel eens een te grote capaciteit zijn,

waar de gelijkrichtbuizen niet zo goed tegen kunnen. Buizenboeken geven vaak een maximale C-in aan, bijvoorbeeld 47uF komt vaak voor. Werkt men met buis gelijkrichters, dan kan men C-in van de print loshalen en er een kleinere waarde voor in de plaats solderen. De voorwaarde waaraan dan voldaan moet worden is dat de rimpelspanning op deze nieuwe condensator niet groter mag zijn dan 15Vtt, omdat anders de elektronische smoorspoel buiten zijn regelgebied komt.

Een voorbeeld: stel men bouwt een versterker die slechts 50 mA vraagt. Hoe groot moet dan de ingangscondensator zijn?

Deze wordt: $330\mu\text{F} \times 50\text{mA} / 500\text{mA} = 33\mu\text{F}$. In andere woorden: De ingangscapaciteit is evenredig met de stroomvraag. Wordt deze kleiner dan 500mA, dan wordt de ingangscondensator evenredig kleiner.

Met dit gegeven kan ieder nu zelf uitrekenen welke waarde C-in moet hebben, en daarmee wordt de VDV E-CHOKE ook voor gelijkrichtbuizen inzetbaar.

In alle toepassingen dient C-uit 330uF/450V te zijn, omdat het tijdgedrag van de E-CHOKE hierop is afgeregeld en geoptimaliseerd.

Verkrijgbaarheid

Ga naar "ORDER" op deze website.