



Halfgeleider In Buizen uit

Roniel Scholma

Bouwperiode	nov 2023 – mei 2024						
Instellen en fijn afregeling buizen	mei 2024						
Eindpresentatie	25 mei 2024 in Lemmer, slotdag TubeSociety 2024						
Metingen en verslag	juni 2024						
Kosten	<table><tr><td>Elektronica</td><td>€ 837</td></tr><tr><td>Behuizing en materialen</td><td>€ 130</td></tr><tr><td>Totaal</td><td>€ 967</td></tr></table>	Elektronica	€ 837	Behuizing en materialen	€ 130	Totaal	€ 967
Elektronica	€ 837						
Behuizing en materialen	€ 130						
Totaal	€ 967						

Halfgeleider In Buizen uit: de HiBu

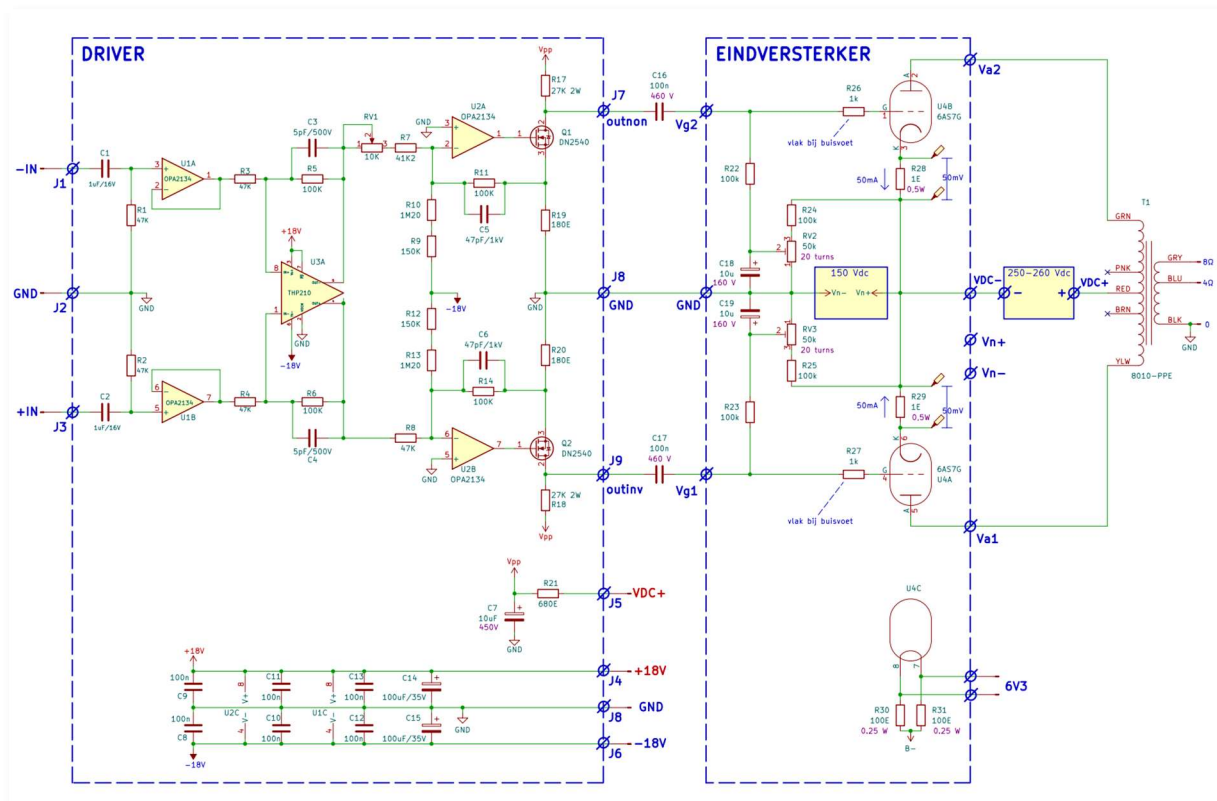
Het waarom?

Mensen vragen mij wel eens waarom ik nog een versterker bouw, want ik heb vorig jaar toch ook een mooie versterker gebouwd? Daarvoor zijn twee redenen:

- Ik wilde graag een push-pull buizenversterker *doorgronden* en vervolgens bouwen
- Ik wil leren hoe ik een versterker kan 'meten' met mijn eigen apparatuur

TubeSociety is een prachtige deskundige groep audioliefhebbers die op zeer hoog niveau, onder leiding van Menno van der Veen, samen met de docenten Sep en Joost kwaliteitsversterkers ontwerpen, testen en bouwen. Het is de plek in NL waar deze twee doelen voor mij mogelijk worden gemaakt. En ik ervaar de mensen als een enorm leuke club, het inspireert me en het geeft me een stevige uitdaging. En het leverde een prachtige HiBu versterker op in mei 2024.

Het schema en een korte toelichting



Van links naar rechts: De ingang kan symmetrisch worden aangesloten, of via RCA door de -IN aan GND te verbinden. De eerste OPA2134 staat op 1x versterken ingesteld (de verhouding van R1 en R3 zijn gelijk). Omdat de ingangstrap, de driver, zeer gevoelig is mag deze niet reageren op de ingangsbron. Daarom wordt een eerste opamp toegepast om deze ingangstrap te ontkoppelen van de bron.

De fasedraaiing (het scheiden van het positieve en negatieve signaal) wordt verzorgd door de TMP210. Dan volgt een tweede OPA2134, welke op 2x versterken staat ingesteld (R7 en R11 verhouding op 1:2) om vervolgens aan de mosfet DN2540 te worden aangeboden. De verhouding R17 en R19 = $27000/180 = 150x$. Deze brengt het audiosignaal naar 130V. De OPA2134 samen met de mosfet versterken zo'n 152x.

Via C16 en C17 ontkoppelen we de driver (spanningsversterking) van het eindversterker deel waar de buizen de prominente plek innemen. Dit deel zorgt voor de stroomversterking. De stroomversterking levert 1,5x a 2x versterking op.

De toegepaste buis is een NOS uit China: de 6N5P. Dit is een dubbele vermogens triode buis. Daarom kan één buis volstaan voor één audiokanaal. Eén triode voor het positieve signaal, één triode voor het negatieve signaal, samen in één buis. De 6AS7 is de compatible vervanger.

De grid-spanning moet bijzonder laag zijn, -130V t.o.v. de kathode. Dat is het bijzondere aan deze buis. De spanning die op Vak staat is 250V. En om de buis met deze grote spanning van +130V en -130V aan te sturen moet de driver zo'n extreem grote amplitude aanleveren. Dit lukt prima met deze mosfets, die overigens beiden een werkspanning van 200V krijgen. Tussen R17 en R18 staat 400V, oppassen dus met meten!

Terug naar de buis en haar instellingen. De kathode weerstanden R28 en R29 van beiden 1 ohm, krijgen een spanning over zich van 50 mV. Dat betekent dat door deze weerstanden 50 mA loopt. Dit wordt ingesteld met de trimpotjes RV2 en RV3. Daardoor loopt er in rust door beide triodes 50mA. Het afstellen van de 50mA is een klusje wat geduld en tijd vraagt. Als je de stroomwaarde aanpast, verandert ook de temperatuur in de buis, wat even tijd vraagt om zich in te stellen. Daarom is het afregelen van deze 2x 50mA een nauwkeurig en geduldig klusje wat niet te gehaast mag worden afgerond.

De triodes krijgen of het positieve deel of het negatieve signaal aangeboden. Het positieve signaal trekt de het audiosignaal door de uitgangstrafo en evenzo het negatieve signaal trekt ook het audiosignaal door de trafo. Daardoor ontstaat een wisselend magnetisch veld in de uitgangstransformator. Vandaar het push-pull principe van deze versterker. En een push-pull levert meer vermogen dan een single ended versterker. Hoe dan ook: het heen en weer gaan van de stroom door de uitgangstransformator wat aan de primaire kant van de wikkeling gebeurt onder een hele hoge spanning, levert aan de secundaire kant een veel lagere spanning maar veel grotere stroom op. Voldoende om een luidspreker aan te sturen. Door deze methode is geen uitgangscapacitor nodig. De uitgangstransformator moet laagohmig moet worden aangestuurd. Deze buis 6N5P doet dat.

In het midden van de primaire wikkeling is de voeding aangesloten, die zo op haar manier aan zowel het positieve als negatieve deel haar energie de trafo in kan sturen.

De uitgangstransformator, nummer 8010, geleverd door Menno van der Veen, heeft een 4 en 8 ohms uitgang. Daarmee zijn ook 4 ohms luidsprekers aan te sturen. Je kan ook de 8020 uitgangstransformator toepassen. Deze heeft een grotere kern en functioneert schoner in het frequentiedomein, maar is ook bijna 2x zo duur.

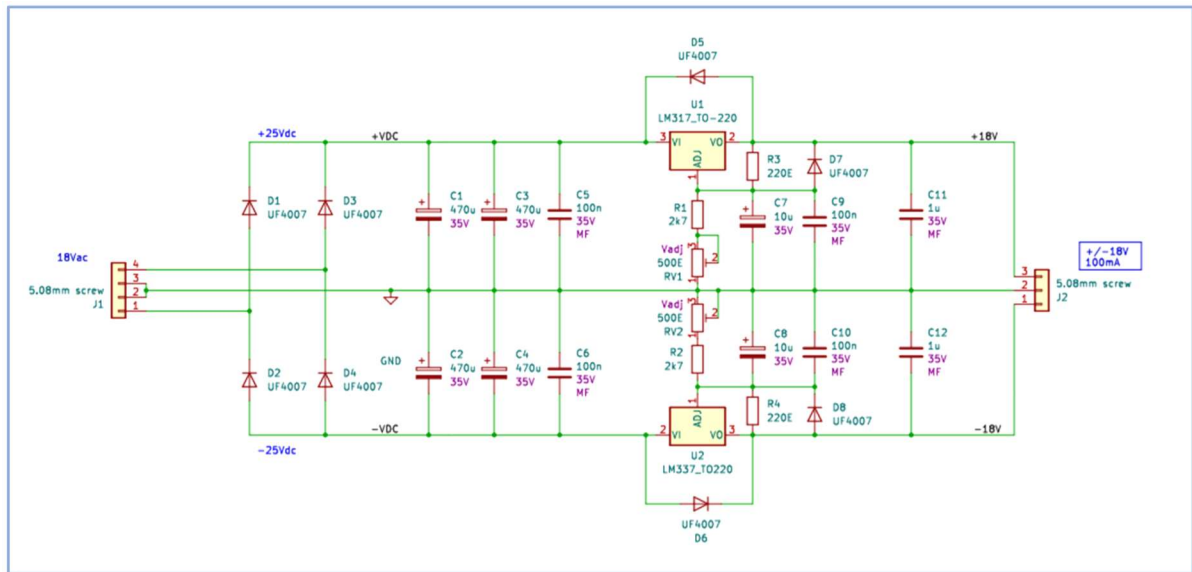
Het afregelen van de versterker

Hieronder kort de afregelprocedure van de versterker:

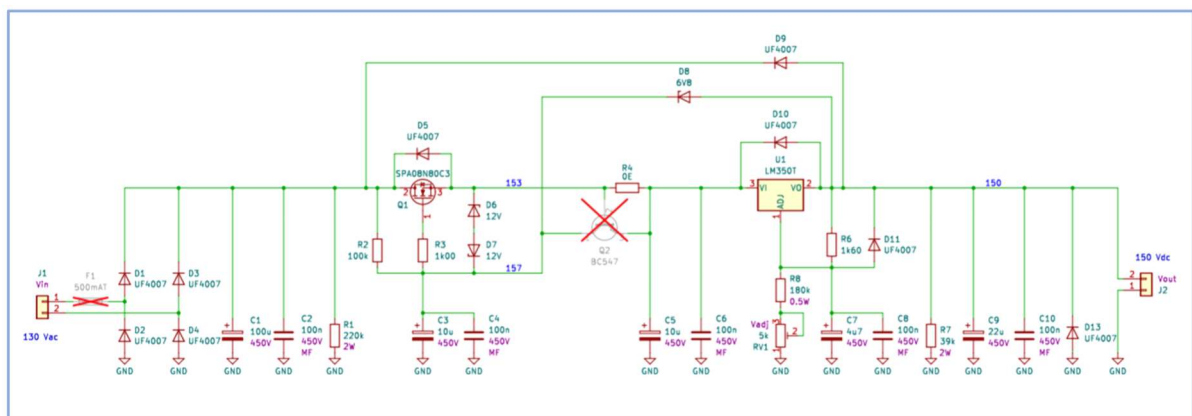
- Arta meten aan uitgang die belast is met 4 Ohm
- 1 kHz sinus met Vuit = + 6 dBV: dit stel je in met Arta, niet met de volumeknop van de versterker
- Bekijk 1 kHz spectrum
- Trim RV1 (balans) voor minimale 2-e harmonische vervorming (2 kHz minimaal)
- Arta-generator instellen voor 40 Hz
- 40 Hz sinus met Vuit = + 6 dBV in 4 Ohm
- Bekijk 40 Hz spectrum
- Trim RV2 (of RV3) (ruststromen) totdat de 2-e harmonische (80 Hz) minimaal wordt.

Het trimmen van RV2 (of RV3) is een fijn-afregeling van de gelijkheid van de ruststromen. De afregeling is traag, kost veel geduld vanwege de temperatuur aanpassing in de buis als je de ruststroom instelt. Een beetje verlopen mag het wel.

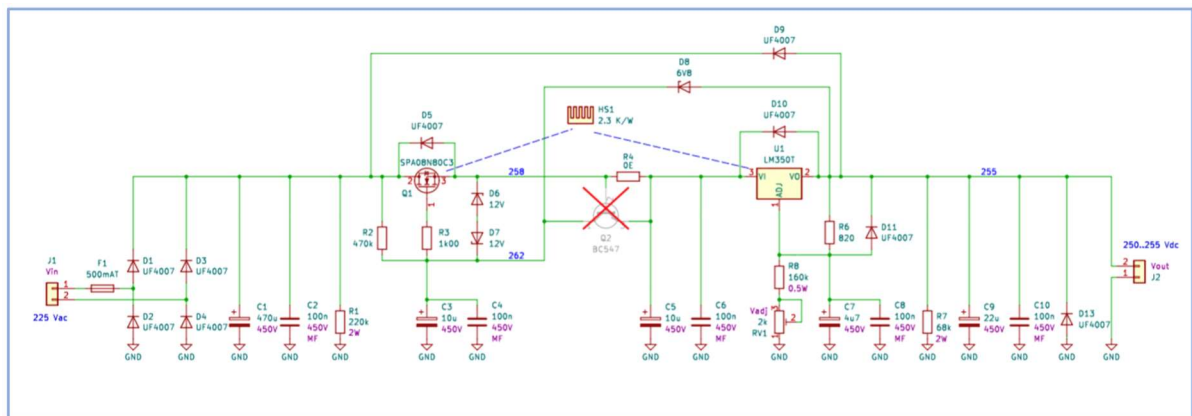
De voedingen



De 18V voeding voor de opamps, ontworpen door Erwin

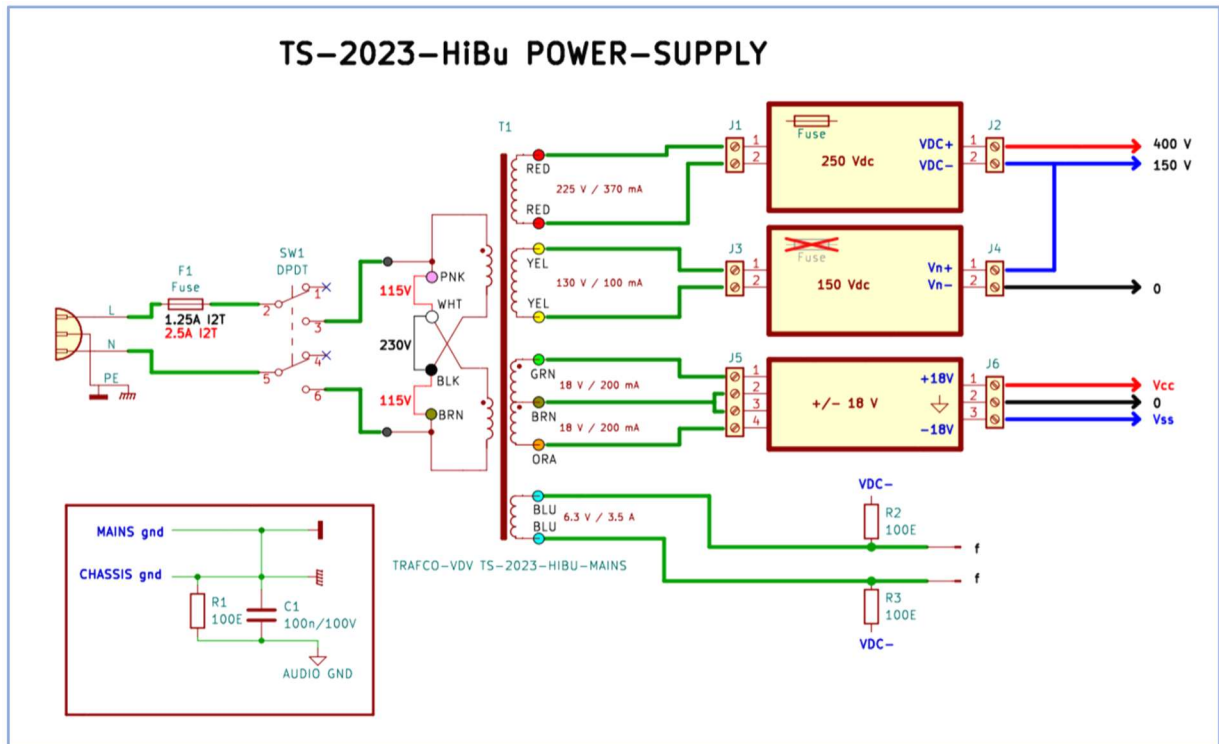


De 150V voeding, ontworpen door Joost



De 250V voeding, ontworpen door Joost

Het aansluitschema



Het bijzondere is dat de + van de 150 Vdc wordt aangesloten op de - van de 250 Vdc. Hierdoor ontstaat er tussen de 150 Vdc gnd en de 250 Vdc + een spanning van 400V. Deze spanning is nodig om de mosfets van de driver ieder een spanning van 200 V te geven.

Het uiterlijk

Ik had de volgende eisen gesteld:

- Het uiterlijk van de versterker moet een nette verzorgde uitstraling hebben in de woonkamer
- De kast moet een standaard audioformaat hebben
- Een afstandsbediening voor het volume
- Volumeknop heeft rood ledje
- 3 ingangen
- Goede koeling rondom de buizen
- De donkere buisvoet moet niet zichtbaar zijn
- Houten kast van Limba hout

Omdat het hout, geleverd door Massave fijnhouthandel in Zwolle, zo makkelijk bewerkbaar is voor mij, kon ik redelijk makkelijk aan de eerste eis voldoen.

Uit één plak van zo'n 1,5 meter en 40 cm breed en 4 cm dik is de kast gemaakt. De dikke plank is met een lintzaag in twee delen gezaagd. Het leuke is dat bij het splitsen van de plank mooie oranje kleuren zichtbaar werden. Die moesten natuurlijk in het front verwerkt worden. Thuis heb ik de twee planken op maat gezaagd.



Hierboven zie je de versterker in werking

- Twee Chinese 6N5P buizen
- In het midden de draaiknop om 1 van de 3 kanalen te kiezen
- Een volumeknop met een 2mm rood ledje
- Een dubbelpolige aan/uitschakelaar.

Op de bovenkant zit een prachtige 8 mm aluminium koelblok, gemaakt met CNC techniek door Bas Brussen. Zonder hem was de versterker niet zo mooi geworden. De glimmende bovenkant, waarin mijn naam, de versterkernaam en de maand en jaar zijn gefreesd geven de versterker een prachtige luxe uitstraling.



Het koelblok wordt gebruikt om de mosfet en de spanningsregelaar van de 250 V voeding te koelen.

De grootste uitdaging was het bevestigen van de buisvoeten, waarbij de koeling (luchtstroom) maximaal moest zijn. Er zit denk ik zo'n 8 uur werk aan de manier hoe ik dit heb opgelost. Maar het is gelukt.

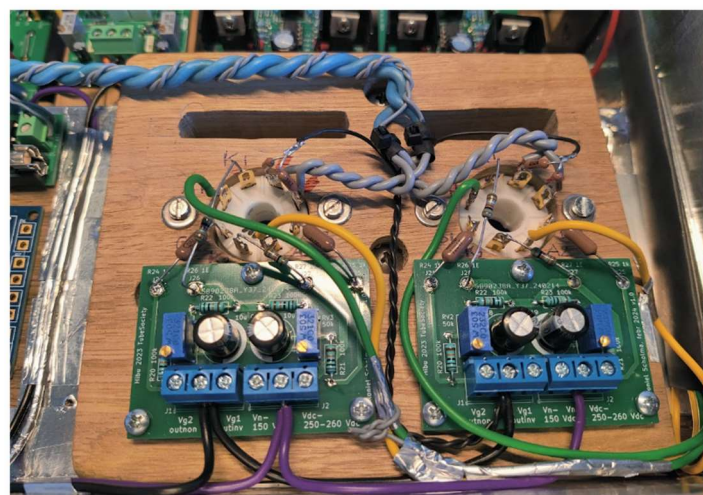
Eerst de buisvoeten een plek geven



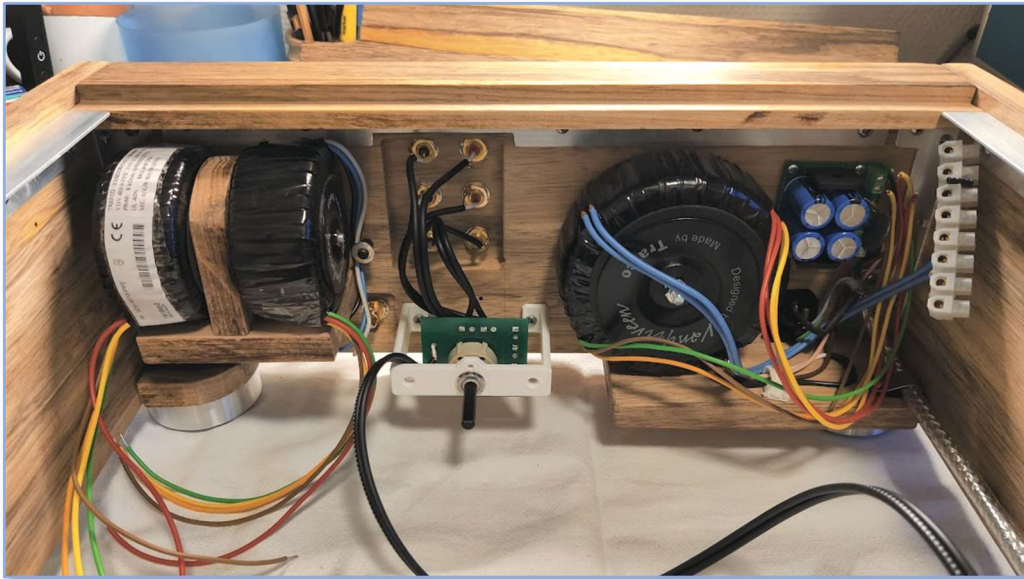
Dit is hem geworden: de binnenkant van de buisvoeten klem/houder Op de onderkant zijn de buisprinten bevestigd



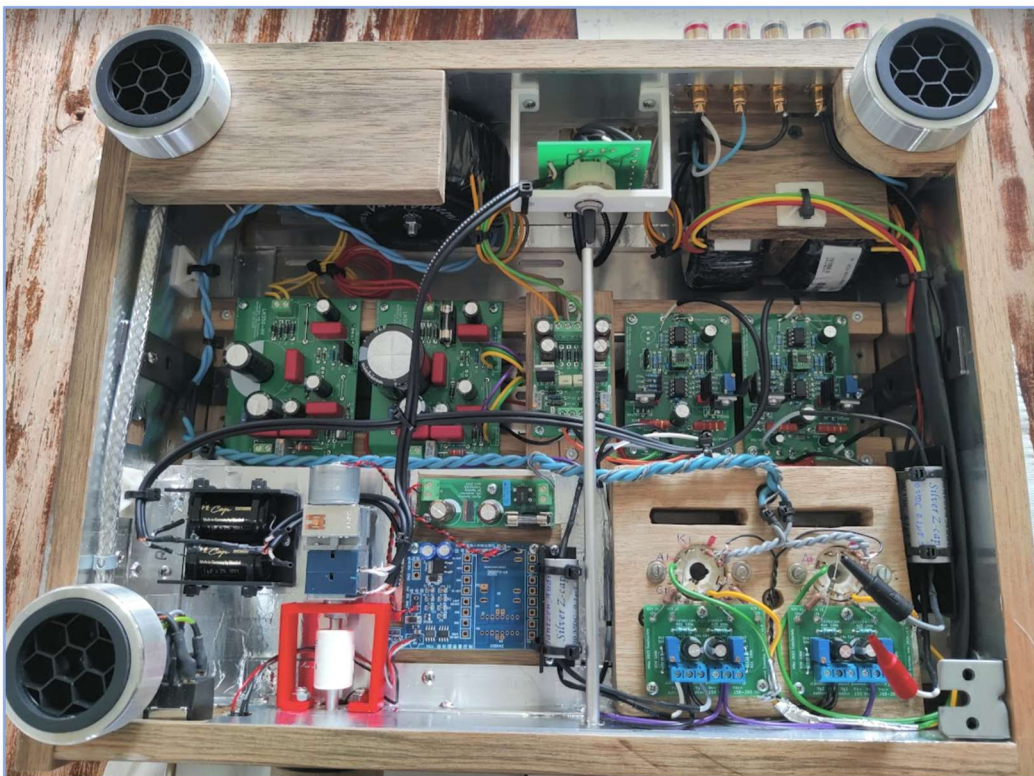
De aansluiting van de buizen. De kleine printjes zijn door mijzelf ontworpen, uiteraard onderworpen aan een strenge keuring van Menno.



De binnenkant van de kast:



Hierboven zie je links de twee uitgangstransformatoren. Rechts de voedingstransformator met mijn eigen gemaakte DC blokker met NTC. Dit voorkomt een inschakelpuls en hinderlijk gebrom van de transformator door het vervuilde lichtnet.

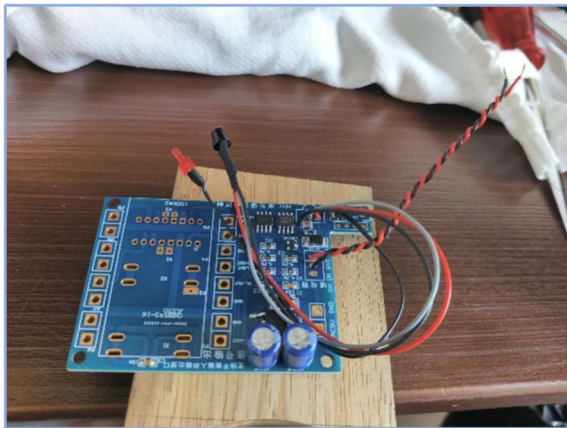
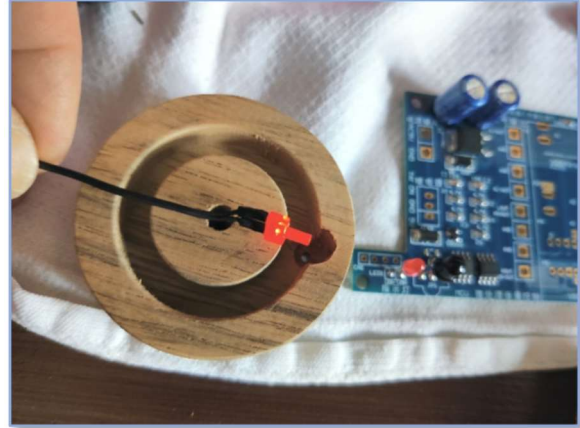
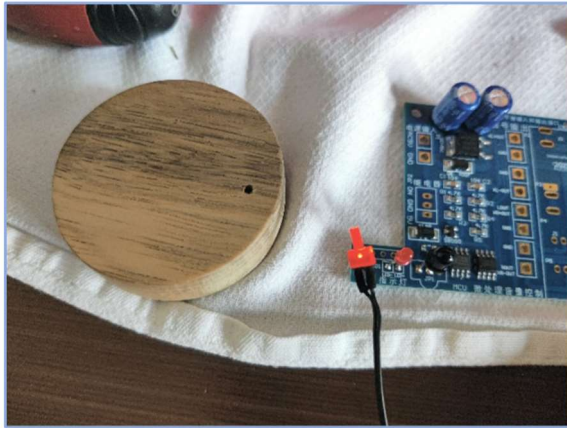


Hierboven zie je de complete opbouw van de versterker.

Uiteindelijk is het toch weer een volle kast geworden waarbij het best complex is om met 3 kanalen, een afstandsbediening en redelijk grote audio condensatoren alles netjes in te bouwen.

Een volumeknop had ik al eens eerder gemaakt. Hieronder zie je hoe dat in elkaar steekt. Met een Makita kantenfrees maak ik eerst een ronde sleuf als kabelgeleiding om daarna de ronde volumeknop uit te frezen.

De ontvanger van de afstandsbediening heeft een rood ledje dat als indicatie dient als het aanstaat. Deze vervangen we door een 2 mm rond plat ledje wat in de volumeknop komt. Want als ik hem inschakel, brandt altijd het rode ledje van de ontvanger van de afstandsbediening.

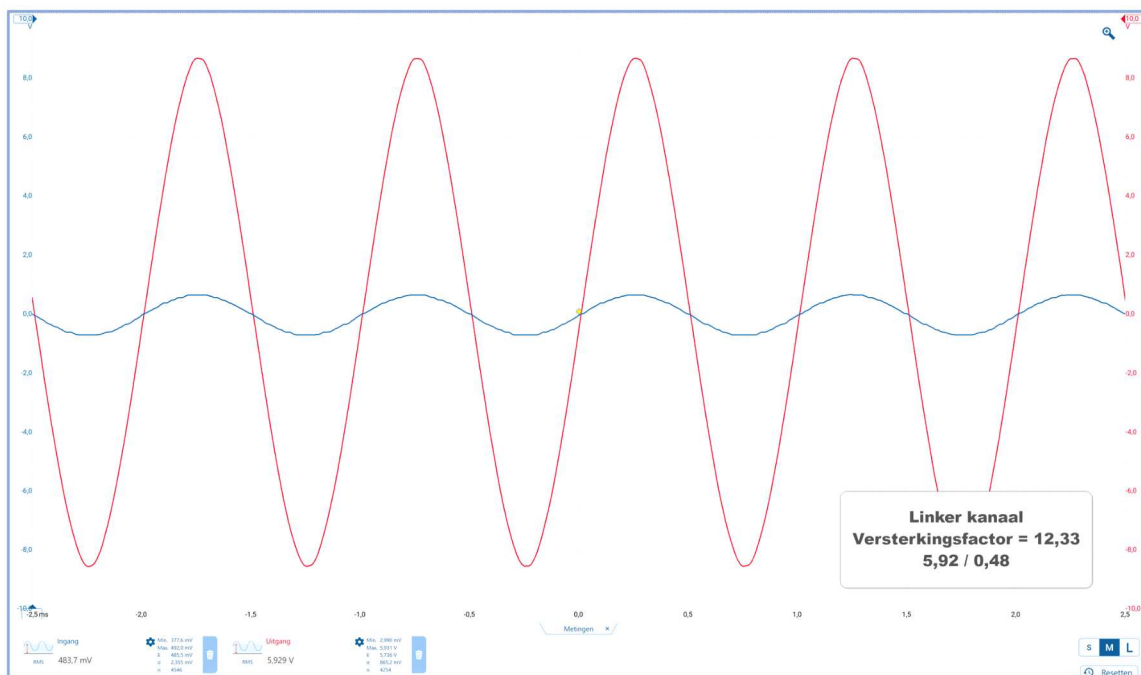
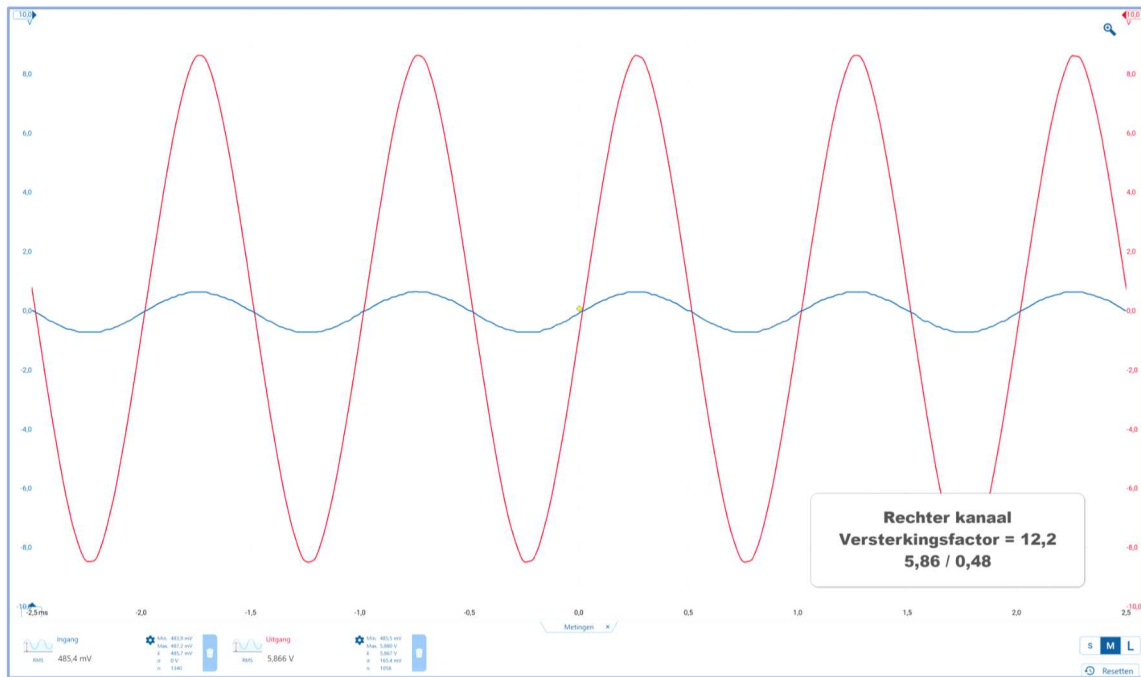


Metingen

In mei en juni 2024 heb ik flink wat tijd besteed om aan de versterker te meten, hieronder de specificaties.

- Meting bij 1 Watt in 4 Ohm, tenzij anders vermeld
- Meting aan linker en rechter kanaal
- Frequentiebereik: f-3Laag = 15 Hz ; f-3Hoog = iets voorbij de 30 kHz

Met de Picoscoop de versterkingsfactor meten: deze komt op de 12,2 en 12,3 uit

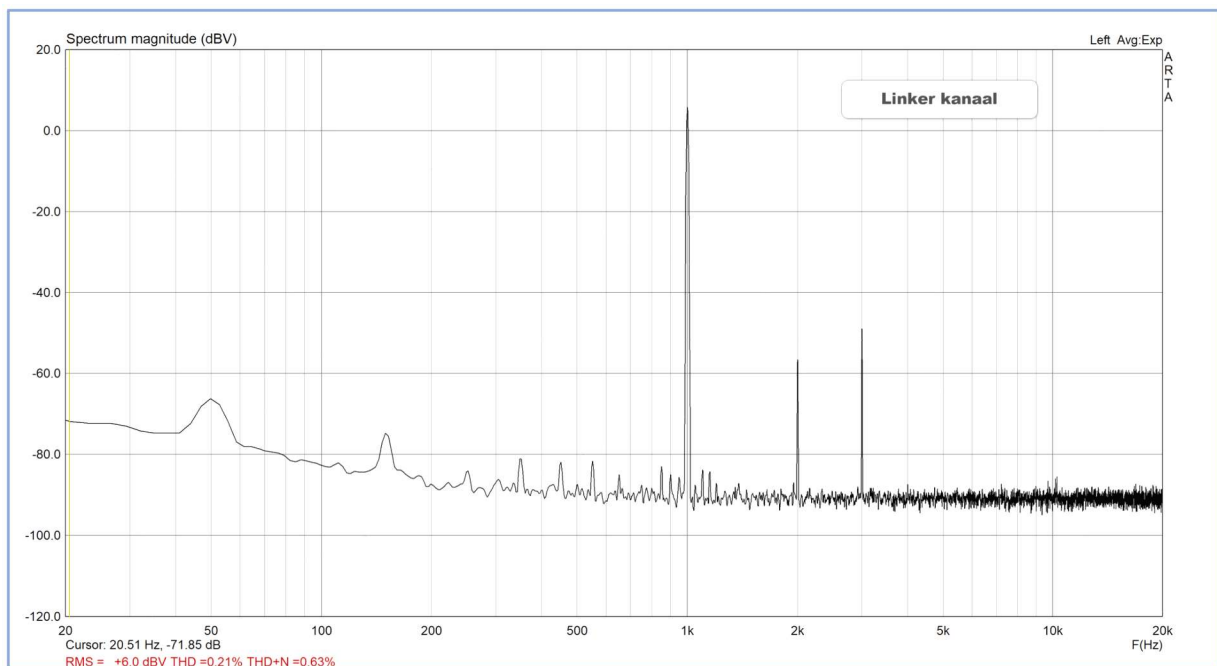
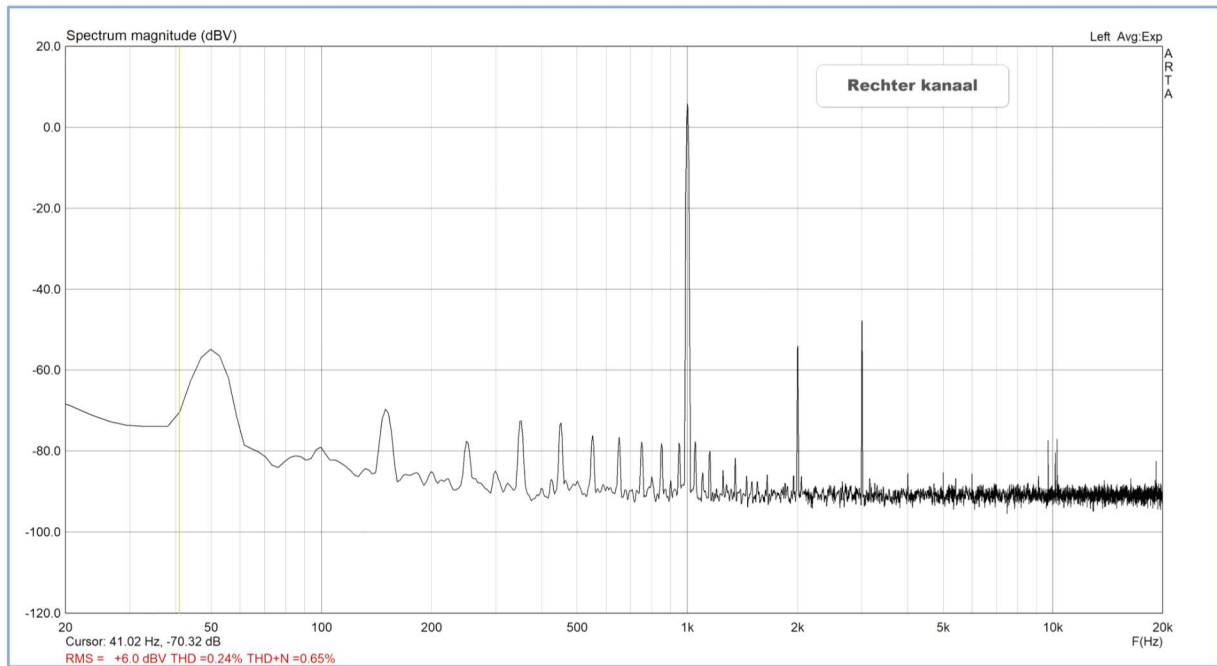


Arta instellingen:

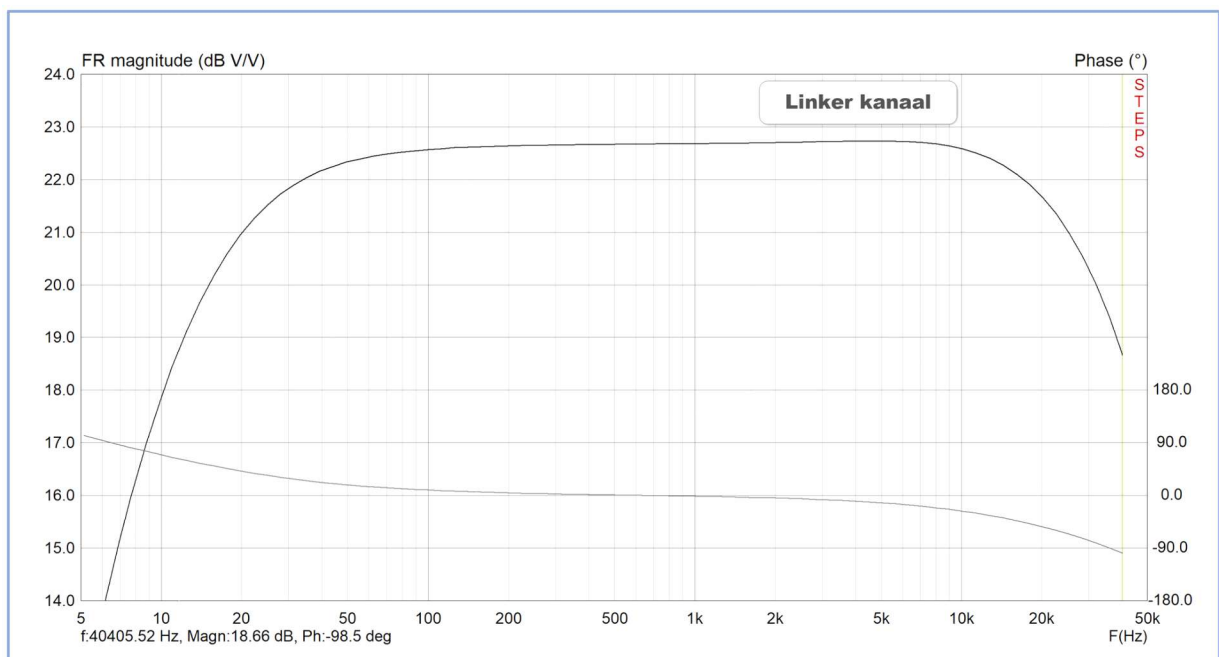
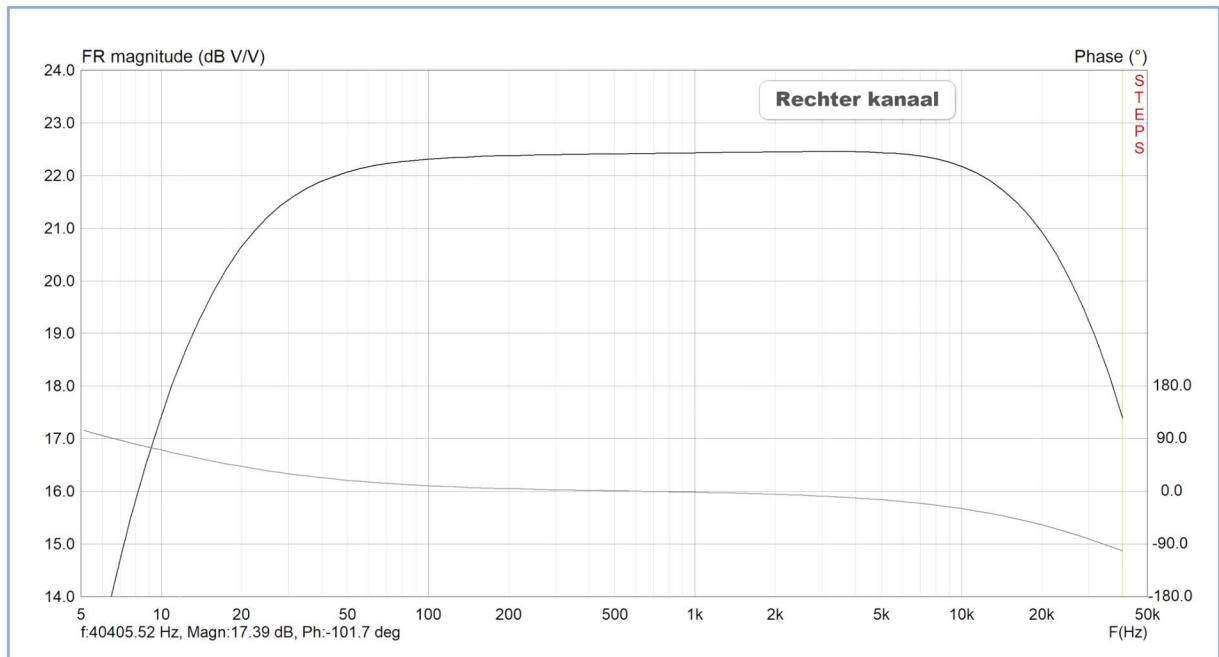
- Twee ac/dc schakelaar op DC
- Linker schakelaar Off
- Rechter schakelaar On
- Linker gain op 0.1
- Rechter gain op 1
- Met de Arta volumeknop het 1 kHz signaal afgeregeld op 6 dBV, dat is 1 Watt aan vermogen bij 4 Ohm

Versterker volume:

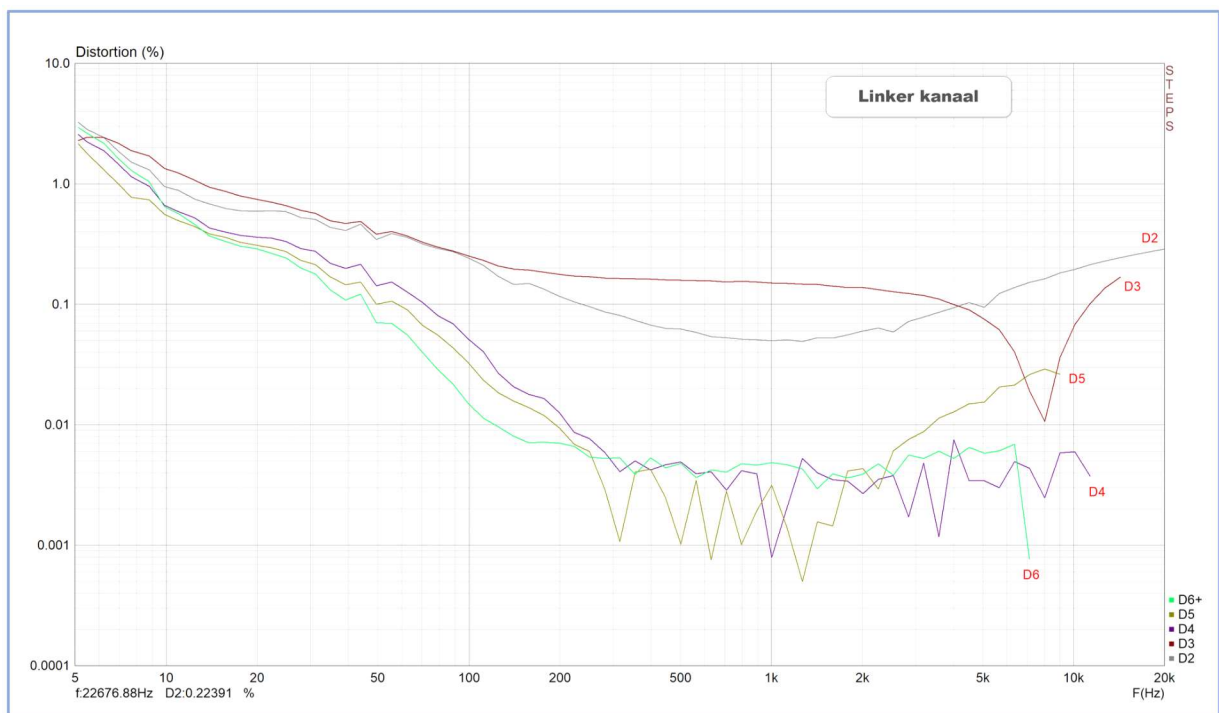
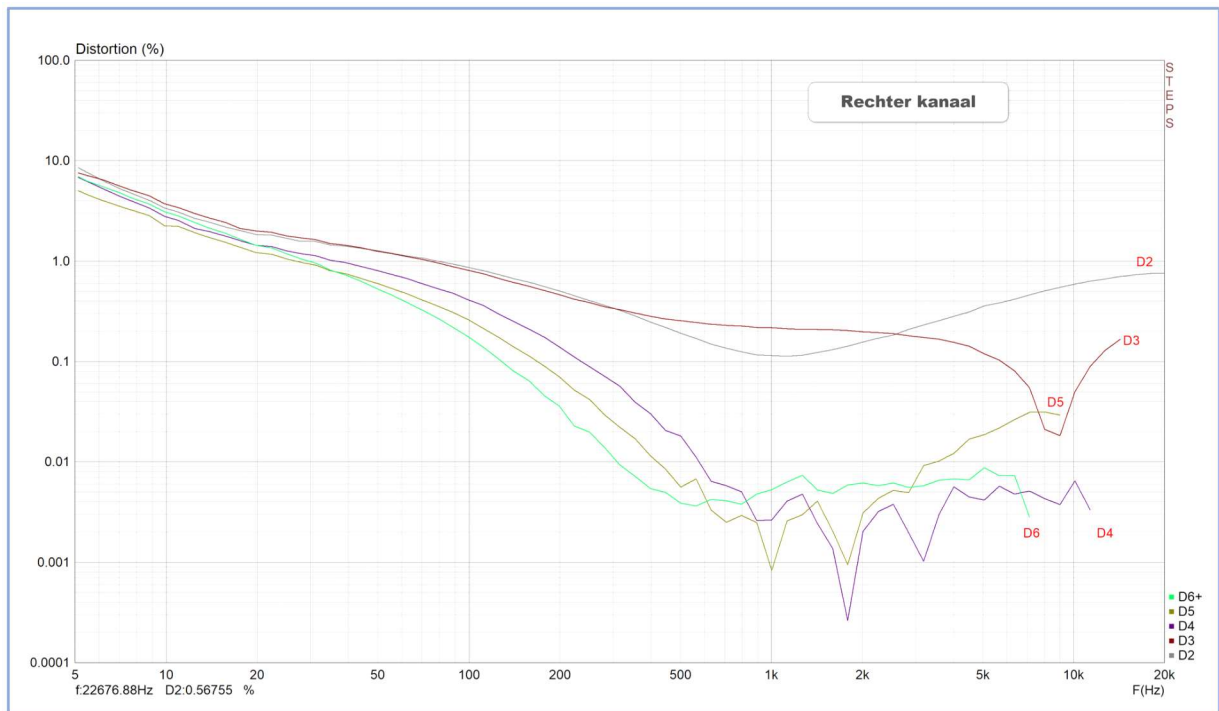
- Volumeknop versterker op maximaal ingesteld



Wat bij beide kanalen opvalt: de relatief lage vervorming van 0,24 en 0,21%.



Wat mij hier opvalt en wat bij de eerste meting v.d. versterkingsfactor ook duidelijk werd: het linker kanaal heeft een iets hogere dB V/V waarde t.o.v. het rechter kanaal.

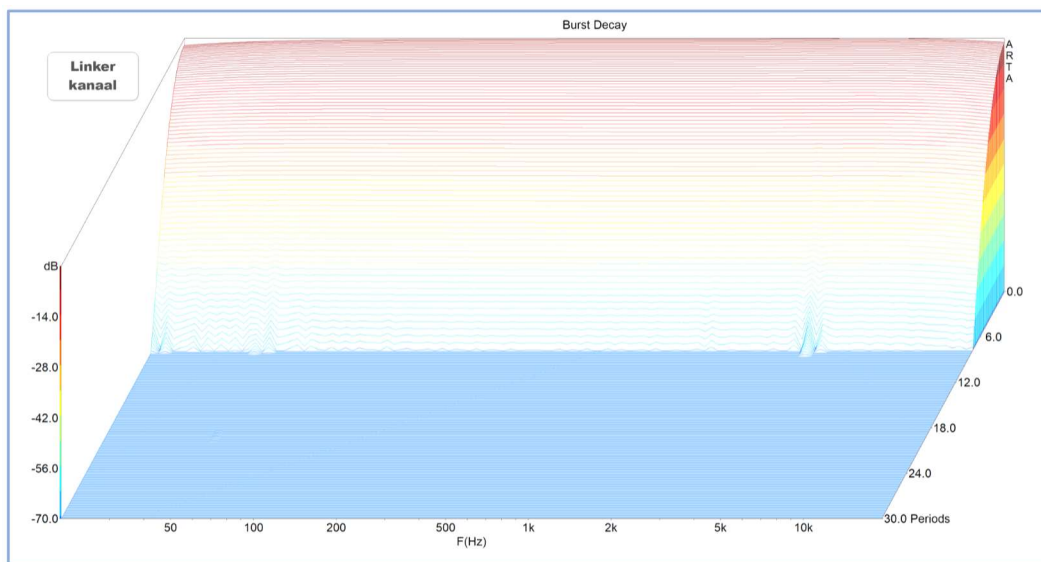
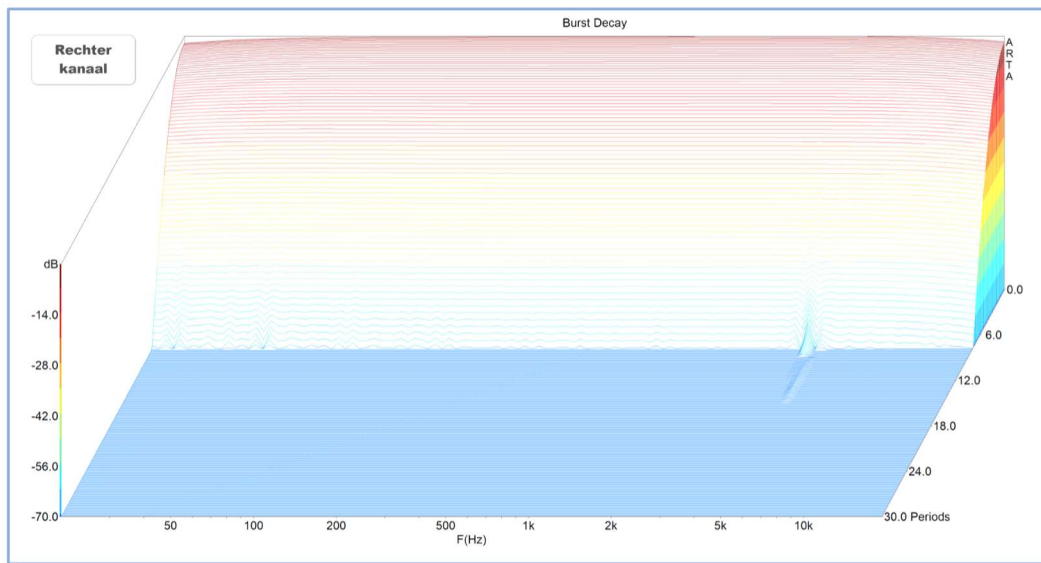


Wat hier opvalt is dat het rechter kanaal met een veel hogere waarde start, 4 tot 10% bij 5 Hz. Pas bij de 100 Hz daalt het onder de 1%.

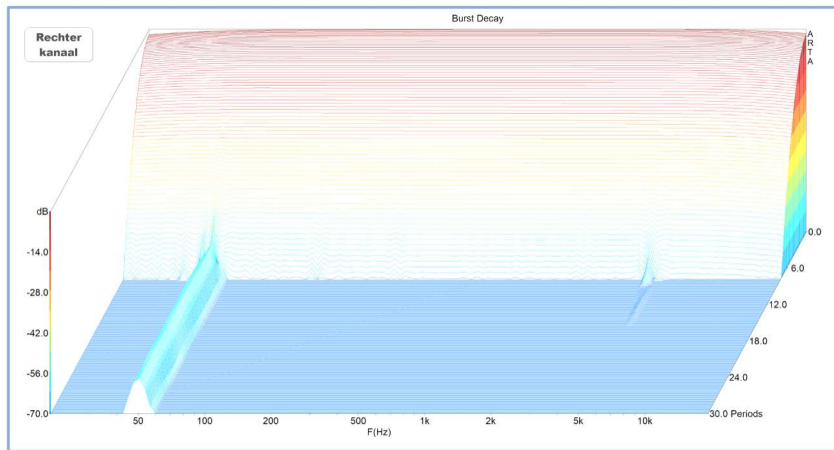
Het linker kanaal zit bij 15 Hz onder de 1%. Ik heb wat geëxperimenteerd door de interne signaalkabels iets te verleggen: dan daalt de storing merkbaar in de metingen.

Aanvulling Menno: in deze metingen zijn de ruststromen per buis-helft al niet meer gelijk, wat de hogere vervorming bij lage frequenties (onder 1 kHz (bovenste figuur) en 100 Hz (onderste figuur)) veroorzaakt.

Opmerkelijk is echter dat deze redelijk grote laagfrequent vervorming nauwelijks als storend wordt ervaren (soms zelfs als aangenaam "buizen-warm" wordt aangeduid).



Met de **onderstaande meting** heb ik, door de signaalkabels te verleggen, voor mijzelf aangetoond dat een brom makkelijk opgepikt wordt. In het onderstaande plaatje wordt dat duidelijk.
Als de signaalkabels te dicht bij de 6,3 V van de buis komen, welke 50 Hz bevat, krijg je onderstaand beeld.



Het is interessant om te zien hoe gevoelig afgeschermd signaalkabels zijn. Dat is een les die ik leer uit deze metingen.

In een volgende versterker zal o.a. de focus liggen op optimale bekabeling.

Opmerking Menno: het kleine "staartje" bij 5 kHz is een mechanische resonantie van het stuurrooster.

De **uitgangsimpedantie** meting krijg ik **niet** voor elkaar helaas.

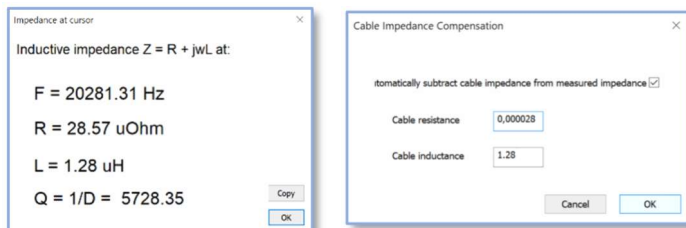
Arta instellingen:

- Beide koppel schakelaars AC/DC schakelaars op DC
- Beide schakelaars op ON
- Beide gain draaiknoppen op 1
- Volume Arta op Cal.

Versterker:

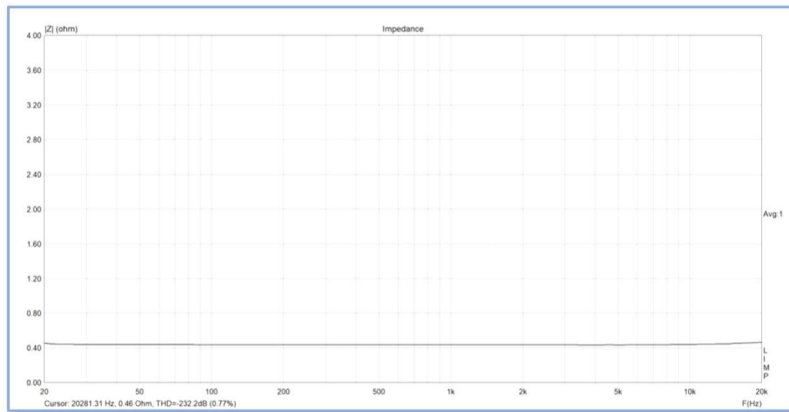
- Geen dummy load
- Geen ingang aangesloten
- Volume dicht

Limp gekalibreerd: eerst kabel weerstand gemeten; 28 uOhm, ingevuld en vinkje houdt rekening met kabelweerstand aangezet.



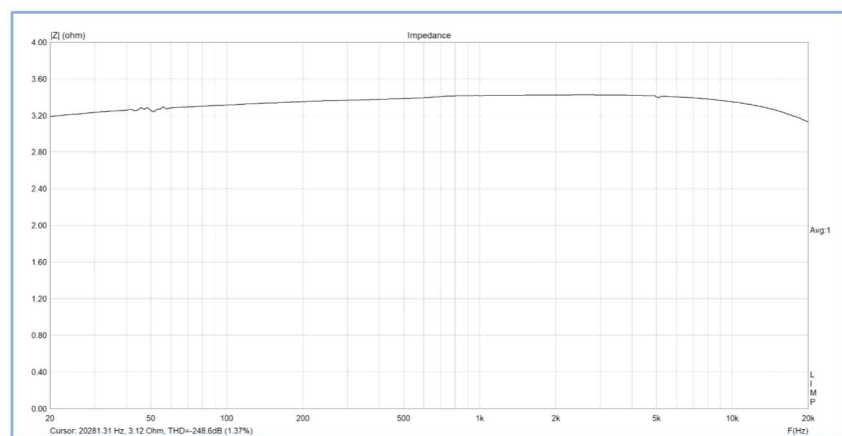
(Het maakt wel uit of je een komma of punt gebruikt! Je moet een punt invullen)

Dat levert dit plaatje op:



Dit plaatje hier links klopt nog wel.

Dit plaatje rechts klopt niet.
Na verschillende pogingen:
Ik laat het los.



En wat vind ik van de versterker?

Detail! Veel meer detailweergave in het hoog en laag. Ik vergelijk dit met de [OTL-2022 versterker van vorig seizoen](#), lees hier mijn verslag.

Is deze beter dan de OTL? Nee, het is anders: de emotie die de OTL weergeeft, dat beleef ik minder sterk bij de HiBu. Maar de frisheid en de nauwkeurigheid is heel prettig en rijk en dat mis ik dan weer bij de OTL.

Juist omdat de HiBu een rijkere detailweergave heeft is mijn vrouw hieraan verknocht geraakt. Van haar mag de OTL de woonkamer uit. Reden: ze is deels slechthorend, ongeveer 30% aan verlies in het midden en hoog. Door de HiBu hoort ze beter de zang, kan ze woordelijk verstaan wat er wordt gezongen, iets wat bij de OTL haar maar deels lukt. Ik kan me heel goed inleven in haar keuze. Maar toch zal ik regelmatig de HiBu vervangen door de OTL. Want het zijn beiden topklasse versterkers waar ik trots op ben.

En wat bracht je dit afgelopen cursusjaar?

- Het bracht mij nieuwe kennis over het instellen van een push-pull versterker.
- En doordat ik Arta heb gebouwd en daarmee zelf heb kunnen meten aan mijn versterker, heb ik meer inzicht en begrip gekregen van wat er gebeurt in zo'n apparaat. Dat is gelukt door lang te werken aan een goede spectrum magnitude, de FR magnitude en andere metingen. Dat geeft inzicht en dat was mijn doel om dit te leren afgelopen seizoen.
- Het kunnen meten is nog wel een pittig klusje geweest waarbij ik de hulp van de TS-leden nodig had. Want er zijn zoveel instellingen te maken. Maar juist door fouten te maken, dit te delen met de TS-leden en de antwoorden weer te bestuderen, ben ik er in geslaagd de belangrijkste metingen af te ronden.