

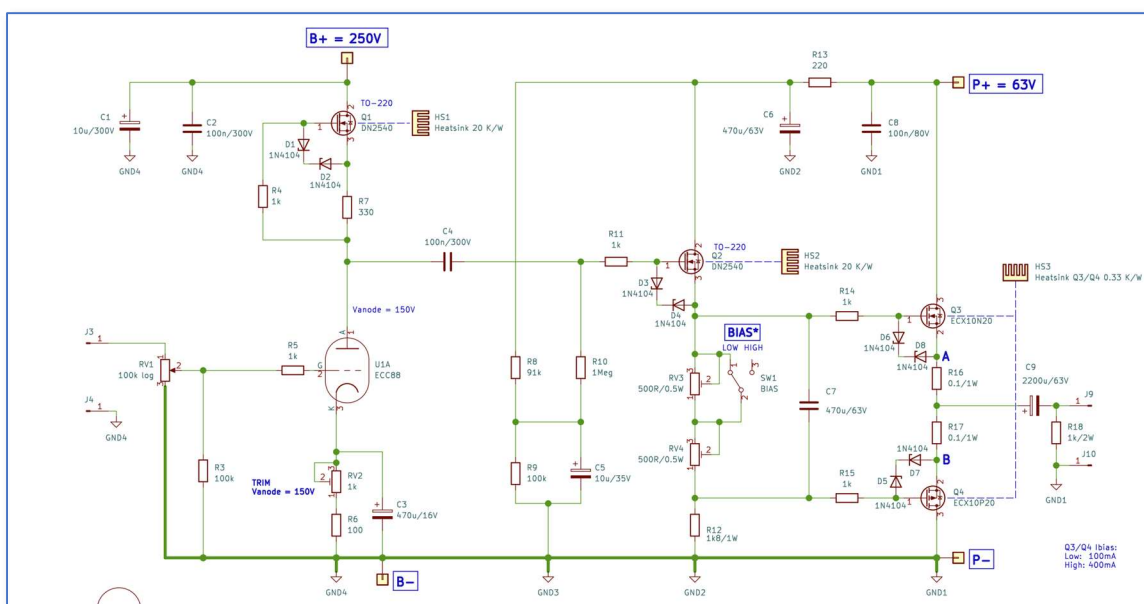
Oude techniek brengt nieuwe inspiratie

Als nieuw lid van TubeSociety begon ik in sept 2022 voor het eerst kennis te maken met buizen. Waarom? Omdat me dit altijd als kind al had gefascineerd en ik wel eens wat anders wil dan mijn *Hexfet versterker* uit 1993. Dus Menno van der Veen gemaild en er was nog plek om in te stappen in de zijn cursus.

Het project voor seizoen 2022-2023 is een hybride versterker: een buis als voortrap, mosfets als eindtrap. Het is dus niet een complete buizenversterker. Geen buizen in de eindtrap en dus geen uitgangstrafo: *OTL: Output Transformer Less*.

Helemaal prima voor mij als beginner, ik moet dit eerst maar eens gaan begrijpen. Dus iedere les bijwonen was een must.

Mijn eerste verbazing was dat de elektronica in een buizenversterker zo minimaal is. Weinig componenten rondom een buis. En mijn tweede verbazing was dat de versterkers veelal zonder printplaten in elkaar wordt gezet. Handig, snel, dat wel, maar ik had mijn bedenkingen daarbij, want ik vind het niet zo mooi.



Afbeelding 1: het officiële schema OTL-2022 versterker

In november 2022 wordt het schema gedeeld na een indrukwekkende luistersessie van deze te bouwen versterker.

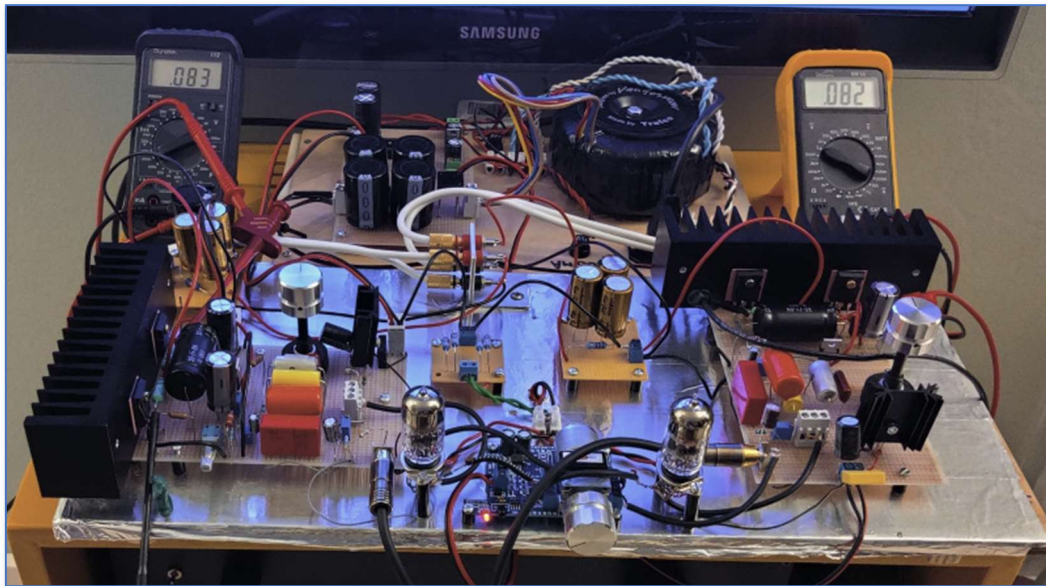
Het leuke aan de cursus bij Menno van der Veen is dat je zowel met de theorie bezig bent, wat inzicht geeft, maar dat je ook met de praktijk aan de slag gaat thuis: bouw bovenstaande versterker a.d.h.v. dit schema! Succes! Zou deze beter gaan klinken dan mijn trouwe Hexfet versterker?

En dan begint het dromen: hoe wil ik de kast bouwen, welke functies moet de versterker hebben enz enz. En waar haal ik de componenten vandaan? Welke kwaliteit van condensatoren kies ik? Hoe kom ik tot een juiste keuze?

Want: in dit ontwerp zitten twee condensatoren in de signaalweg: C4 en C9. Die kunnen best de klankkleur beïnvloeden.

De aanpak

Nadat de nodige theorielessen waren gevolgd, kon het bouwen beginnen. Ik had mijzelf als leerdoel gesteld: eerst begrijpen, dan pas serieus bouwen. Daarom heb ik alles op een experimenteerprintplaat in elkaar gezet, grotendeels in de kerstvakantie.



Afbeelding 2: de versterker op een experimenteerplank. Op de voltmeter staat $\sim 80\text{mV}$ over R16 en R17, dus 400mA als Biasstroom

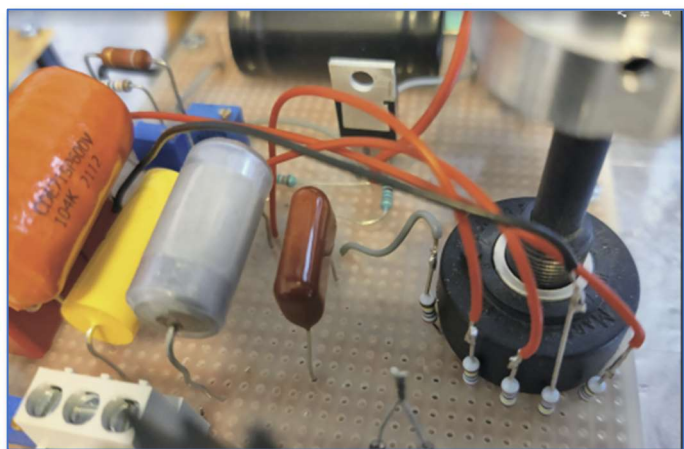
Experimenteren met condensatoren

Omdat er twee condensatoren in de signaalweg zitten, vond ik het super boeiend om eens uit te zoeken op mijn experimenteerplank of condensatoren een groot klantverschil laten horen. Daarom heb ik voor C4 en C9 met een twee draaischakelaars verschillende condensatoren in de signaalweg inzetbaar gemaakt. Voor C4 zijn dat deze types geworden:

- Wima MKP10 (rood, links onder net nog zichtbaar)
- Orange Drop (oranje)
- Philips KS 447 (geel)
- Paper in oil EHX (grijs)
- Gemetalliseerde polypropyleen (donker rood)

Afbeelding 3: Draaischakelaar voor de verschillende condensatoren

Op een rustige middag, alleen thuis, ben ik er eens goed voor gaan zitten. Welke condensator klinkt het beste? De *gemetalliseerde polypropyleen* condensator wordt direct afgeschreven. Of er is wat mis, maar deze vervormt en verzwakt het geluid, zowel links als rechts. De *Philips KS 447* vind ik wat aan de hoge kant klinken. De *Paper in oil EHX* bevat ook niet. Ik mis wat dynamiek. Dat geldt ook voor de Orange Drop, het klinkt wat minder enthousiast. De Wima MKP10 is toch wel echt de beste in deze serie. Alhoewel: het ligt wel heel dicht bij elkaar hoor!



Het fijne aan een deze experimenteeropzet is dat je makkelijk kan meten, bijregelen enz. *Dit is een goede tip als vertrekpunt voor een onervaren bouwer zoals ik.*

Ervaring opdoen door te experimenteren

We kwamen er al snel achter dat het schema wat kleine aanpassingen vereiste. Zo moesten alle fets gekoeld worden, met name Q1. Want als die goed warm wordt, verloopt de instelling van de buis van 150V naar een hogere waarde en treedt er vervorming op. En we ontdekten dat bij 400mA biasstroom de mosfet-koelblokken met gemak 60 graden worden, dus meer koeling is gewenst.

Erwin had met verschillende mosfets biasstromen gemeten met ARTA wanneer de minste vervorming optreedt: dat is bij 20mA en 80mA. Dat betekent dus een aanpassing in het schema, waardoor je de biasstroom kan instellen op deze twee standen. 20mA voor normaal gebruik, 80mA bij het beluisteren van goede muziek. Menno kwam met een aanpassing: dit doe je met een schakelaar. (zie bovenstaand schema)

Nu de experimenteerfase was afgerond, kon het grote bouwwerk beginnen.

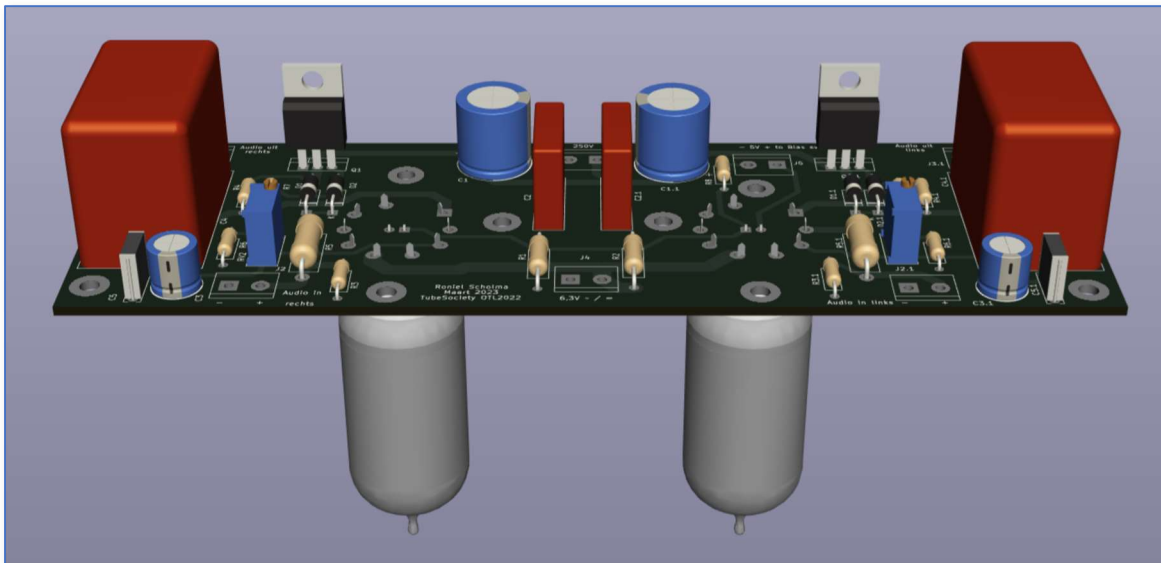
Printen maken

Omdat ik toch wel een tikje veeleisend ben, besloot ik naast het bouwen van de experimenteeropstelling ook me te verdiepen in het maken van printen. Mijn vriend raadde me KiCad aan, dus dat maar eens gedownload.

Als ik geweten had, wat ik nu weet, dan was ik anders begonnen. Wat een klus als je dit programma niet kent: Sep legde me uit: met het maken van een printplaat maak je zelf een component: dat moet aan allerlei eisen voldoen. Goede leraar! Met de hulp van Joost en Sep, internet en een grote doses doorzettingsvermogen is het me uiteindelijk gelukt: het blijkt niet zo moeilijk achteraf, als je de juiste info en route maar weet 😊

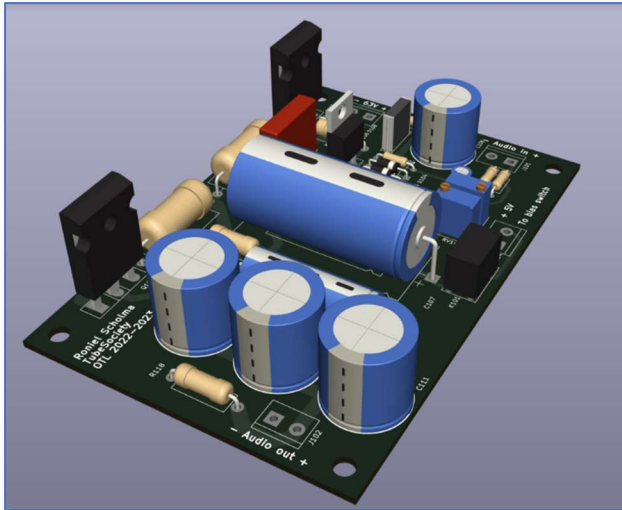
Het resultaat mag er zijn: strakke printplaten met mijn eigen naam erop. Vet trots dat het is gelukt! Met extra dank aan Joost en Sep die me de nodige uurtjes hebben geholpen. Dat is het leuke van de TS-club.

Het mooie in KiCad is dat je een 3D visualisatie kan oproepen die je alle kanten kan opdraaien. Dat geeft een heel fijn inzicht in hoe de printplaat gaat worden, wat een enorm voordeel is in het bouwproces.

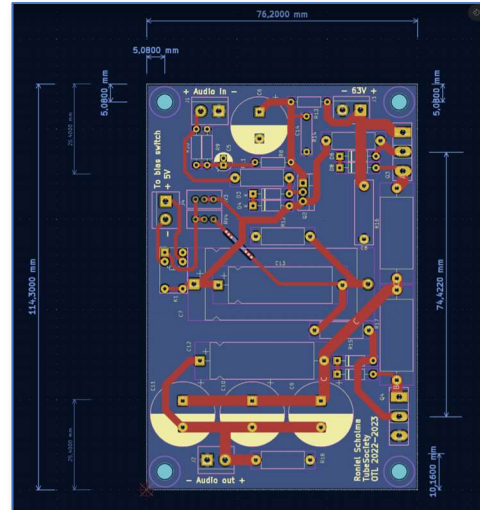


Afbeelding 4: Buisenprint: 2x 6922 Electro-Harmonix (equivalent van ecc88)

De printplaten zijn besteld bij JLPCB: binnen 2 weken is alles keurig verpakt geleverd.



Afbeelding 5: Mosfetprint: De grootste componenten zijn de elco's

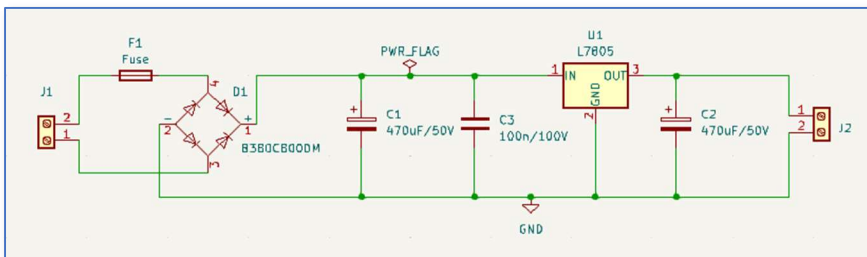


Afbeelding 6: het ontwerp van de mosfet print

De voedingen

Het standaard ontwerp van de versterker heeft 2 voedingen, ik maak er nog twee bij: een 5V en 6,3V voeding.

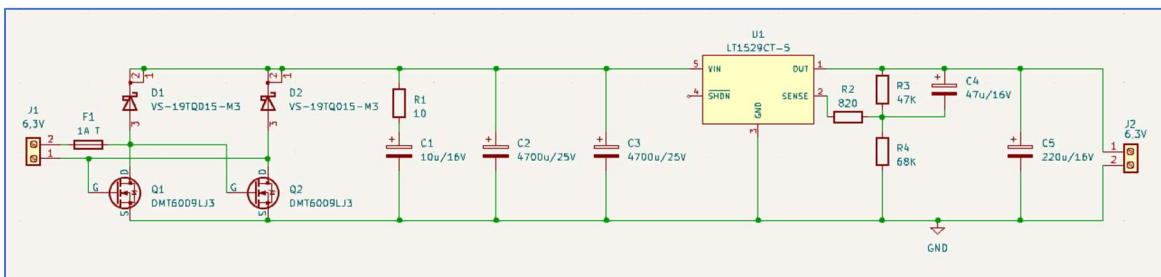
- 5V stuurspanning voor afstandsbediening en relais
- 6,3V voedingspanning voor gloeidraden van de buizen
- 63V voor stroomversterking via Mosfets
- 250V voor de buizenprint



Afbeelding 7: Een eenvoudige 5V voeding voor de afstandsbedieningsprint

6.3V gelijkspanning of wisselspanning?

In het standaard ontwerp worden de buizen met 6,3V wisselspanning gevoegd. Dan kan een 50Hz brom veroorzaken in je versterker doordat de buizen dit zouden kunnen oppikken. Daarom dacht ik: dan liever een gelijkspanning als gloeispanning voor de buizen. Via Joost ontving ik een ontwerp voor een 6,3V gelijkspanningsvoeding, welke ik zelf uitwerk in KiCad.



Afbeelding 8: De zelf toegevoegde 6,3V voeding voor de gloeispanning van de 2 buizen

Nu ik toch printplaten kan maken, was dit zo geiept. En natuurlijk is het extra leuk als ik mijn eigen aanpassingen doorvoer, daarom wordt de versterker extra persoonlijk.

Uitleg video 1: [DC supply for Vacuum tube filaments \(1/2\) - YouTube](#)

Uitleg video 2: [DC supply for Vacuum tube filaments \(2/2\) - YouTube](#)

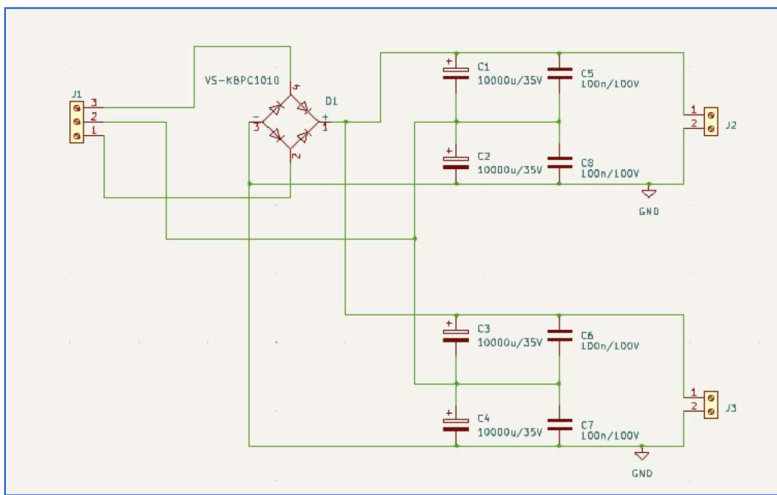
Het leuke aan zelfbouw is dat ik kan meten wat er gebeurt in deze voeding:

- Bij het opstarten van deze voeding wordt 0,54 A gevraagd aan de wisselspanningskant. De gelijkspanningskant levert dan 0,48 A
- Als de voeding is opgestart na een ruime 60 seconden, waardoor de klemspanning naar 6,3 V gelijkspanning gaat, vraagt de voeding 0,88 A en levert deze 0,75 A.

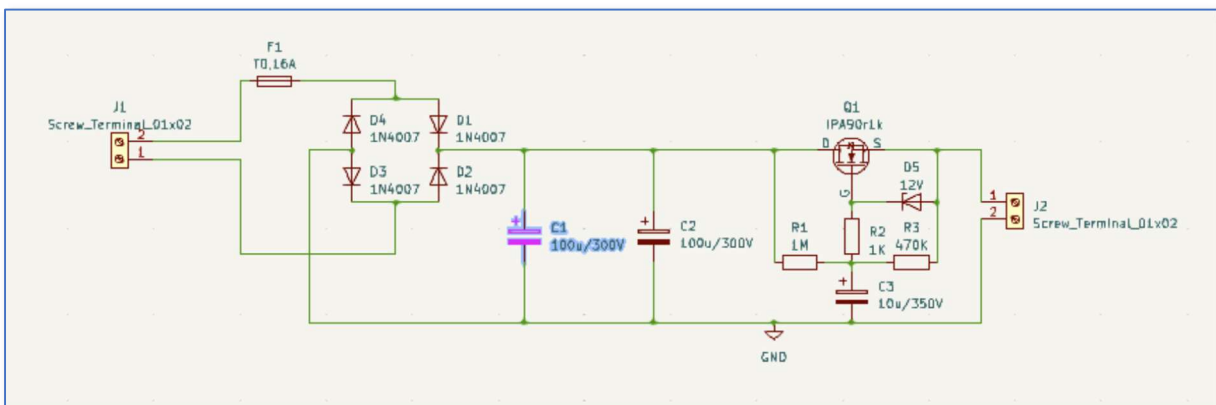
Conclusie 1: een zekering van 1 ampère is ruim voldoende.

Conclusie 2: door de bewust trage opstart van deze voeding starten de buizen ook heel rustig op en krijgen ze niet zo'n opstartpiek.

Bij voldoende koeling kan de voeding max 3 A leveren.



Afbeelding 9: de 63V voeding, waarbij extra ontworpen C's zijn toegevoegd en links en rechts van elkaar zijn gescheiden. Reden: 4 elco's bij elkaar passen niet in de kast, dus dan maar allemaal op één rijtje



Afbeelding 10: de 250V voeding. C1 heb ik dubbel uitgevoerd t.o.v. het originele ontwerp. Beetje meer afvlakking.

Dit bovenstaande ontwerp van Menno zorgt ervoor dat de 250V voeding ook rustig wordt opgebouwd.



Afbeelding 11: Alle voedingen op de zelfgemaakte printplaten, handig met schroefklemmen en zekeringen

De voedingen zijn klein en lekker compact, met bevestigingsgaten en mijn eigen naam erop.

De 6,3V (links onder op de bovenstaande foto) mist hier zijn koellichaam, maar die moet er zeker op!

De kast, de eisen, de echte uitdaging

Ik had mezelf deze uitgangspunten opgelegd:

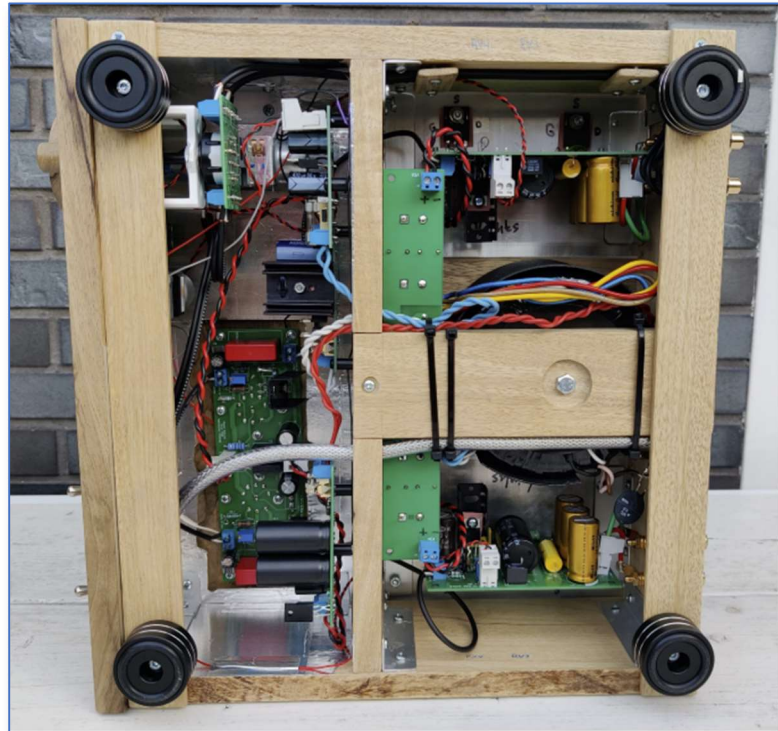
- Max 36 cm breed, max 34 cm diep, max 18 cm hoog inclusief voetjes
- Houten kast met een bijzondere houtuitstraling
- Eigen volumeknop maken
- Volumeknop moet rood ledje hebben
- Volume afstandsbediening
- Twee ingangen

Dat de kastafmetingen achteraf gezien me heel wat hoofdbreken hebben gekost mag duidelijk zijn aan de inhoud van de kast! Propvol. Maar ook dit is gelukt. *Tip voor de lezer: maak een wat ruimere kast!*

Afbeelding 12: het interne binnenwerk van de versterker:

Links zie je de spanningsversterker (met de 2 rode C4-WIMA condensatoren) en drie voedingsprinten

Rechts de Menno van der Veen trafo en mosfet printen en de 63V voedingsprint.



Afbeelding 13: de binnenkant van mijn volumeknop: een rood ledje geeft een mooi effect

Sommige TS-ers wilden weten hoe ik de volumeknop heb gemaakt: met een *kantenfrees van makita*. Je ziet hierboven een rood brandend ledje wat in de volumeknop wordt vastgelijmd. De gleuven in de volumeknop en kast dienen als uitsparing waar het extreem dunne kabeltje doorheen gaat bij het draaien aan de volume.

De uiteindelijke versterker



Afbeelding 14: de uiteindelijke versterker. Zwevende koelblokken voor extra goede koeling. Lima als houtsoort.

Hierboven zie je de versterker zoals deze nu in de woonkamer pronkt. Het houtsoort heet Limba, gekocht bij [Masave Fijnhouthandel](#) in Zwolle. Het splintert nauwelijks, heel fijn om in te frezen vanwege zijn dichte houtstructuur en het heeft prachtig kleurlijnen van nature.

De buizen staan bewust niet symmetrisch opgesteld na overleg met mijn vrouw: dat geeft een wat speels karakter, dat vinden we mooi. Twee simpele schakelaars van goede kwaliteit die een heerlijk klik-geluid geven bij de bediening.

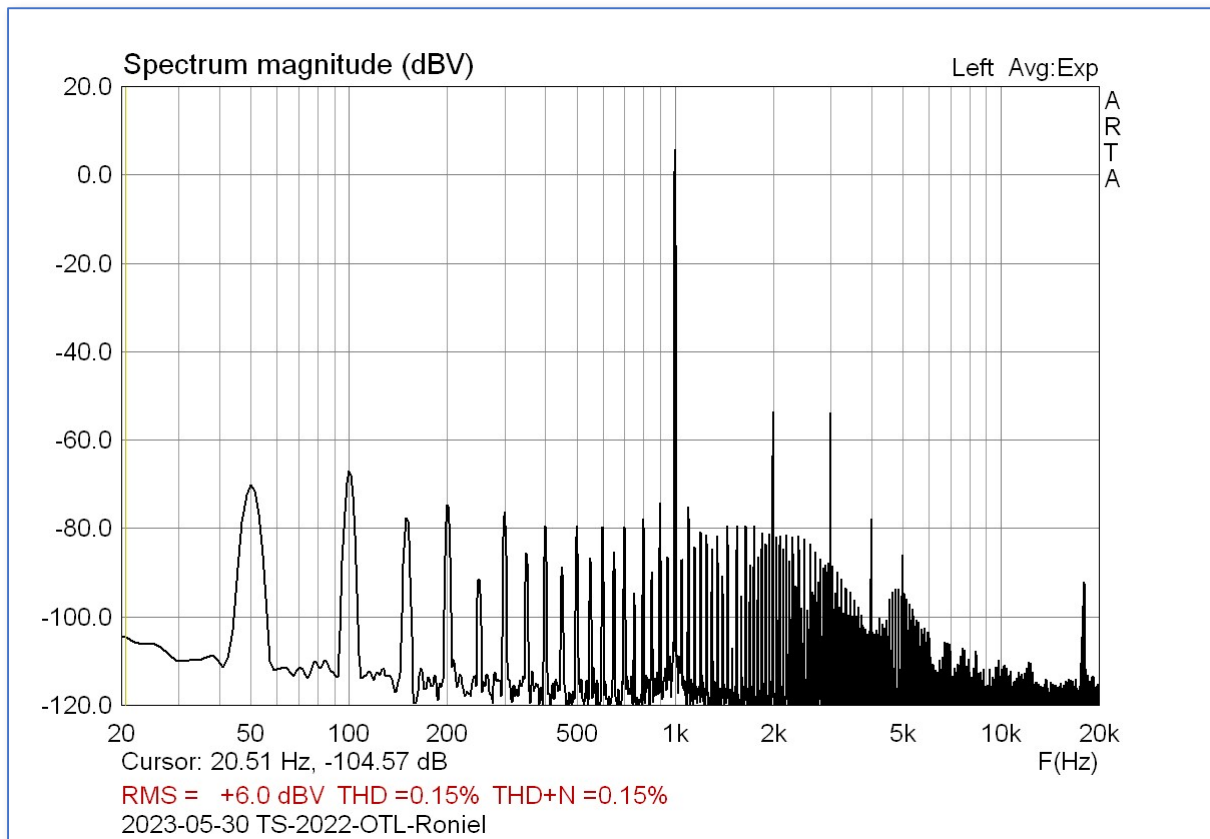
De bediening is simpel:

- Aan/uitschakelaar
- Bias schakelaar voor 100 mA en 400 mA
- Volumeknop met led, bedienbaar via afstandsbediening
- Kleine draaischakelaar voor 2 bronnen, geplaatst onder de volumeknop

Metingen

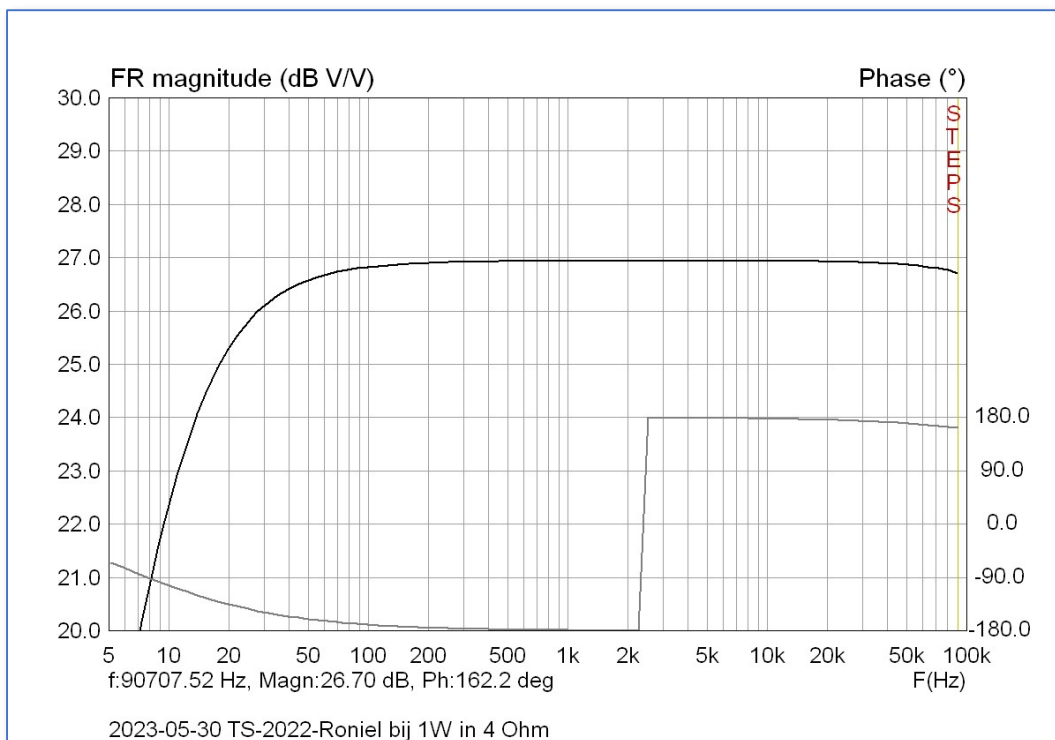
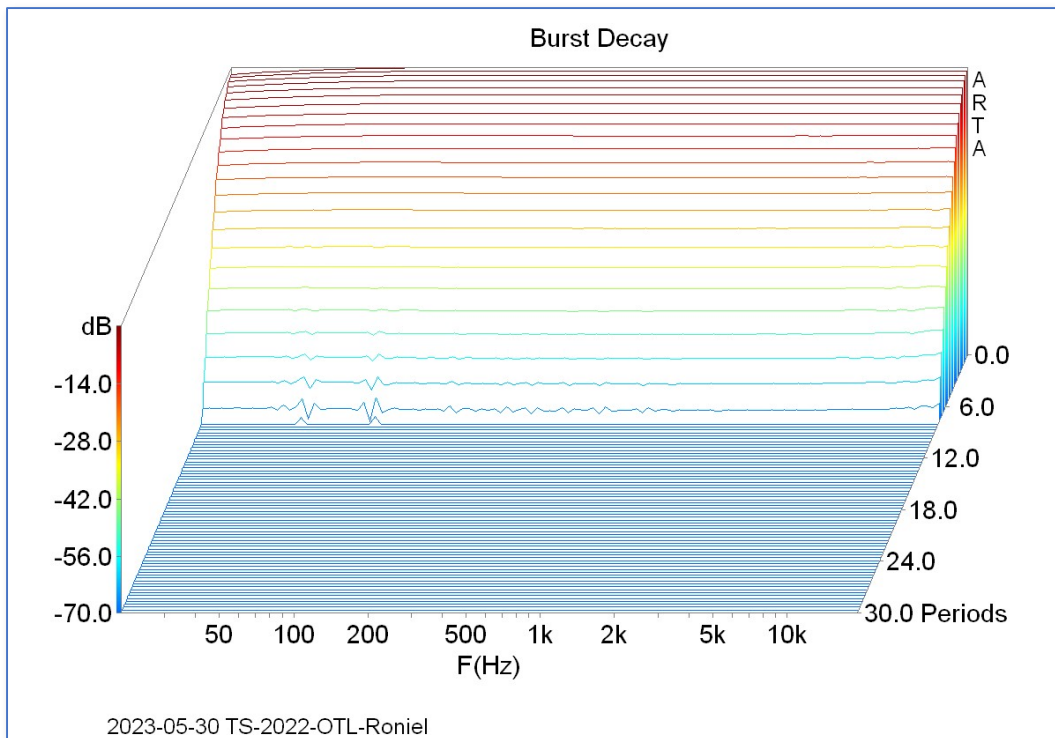
Op 30 mei 2023 heeft Menno de versterker gemeten, hieronder de specificaties

- meting bij 1 Watt in 4 Ohm tenzij anders vermeld
- meting aan linker kanaal
- metingen bij hoge bias instelling (80 mV = 400 mA ruststroom)
- 1 kHz levert 40 Vtt = 50 W in 4 Ohm
- Frequentiebereik: f-3Laag = 13 Hz ; f-3Hoog = 300 kHz

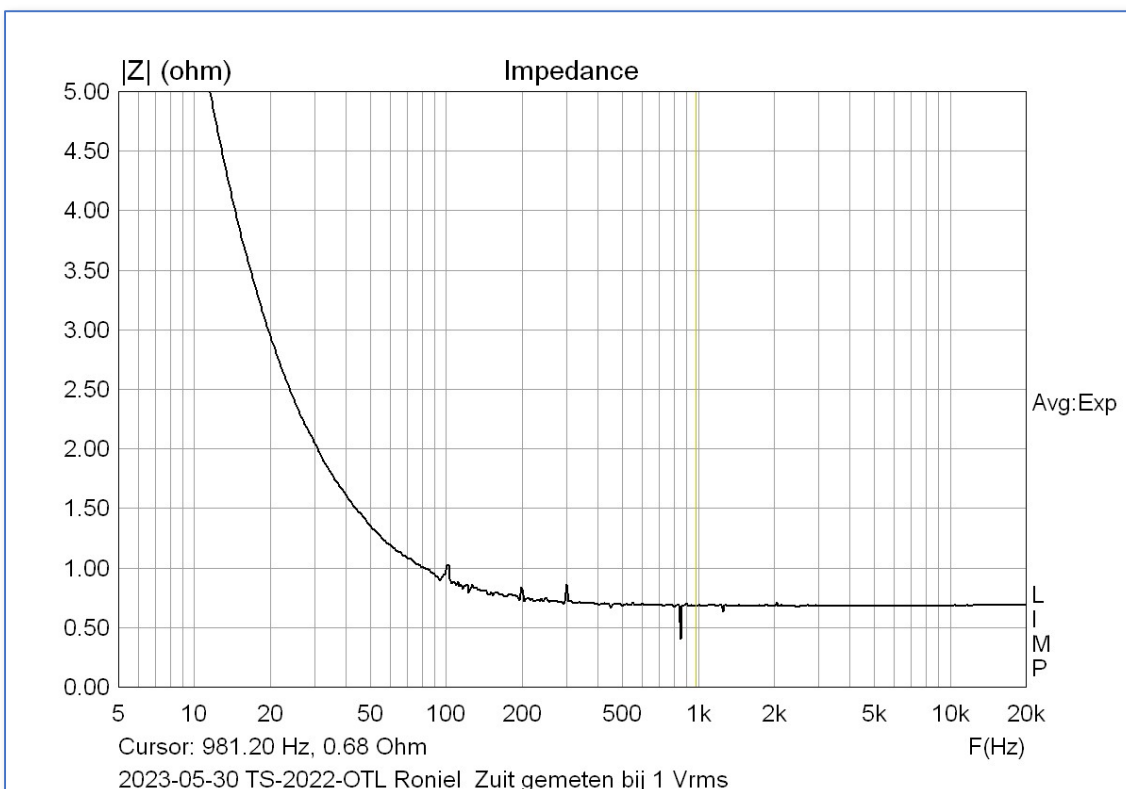
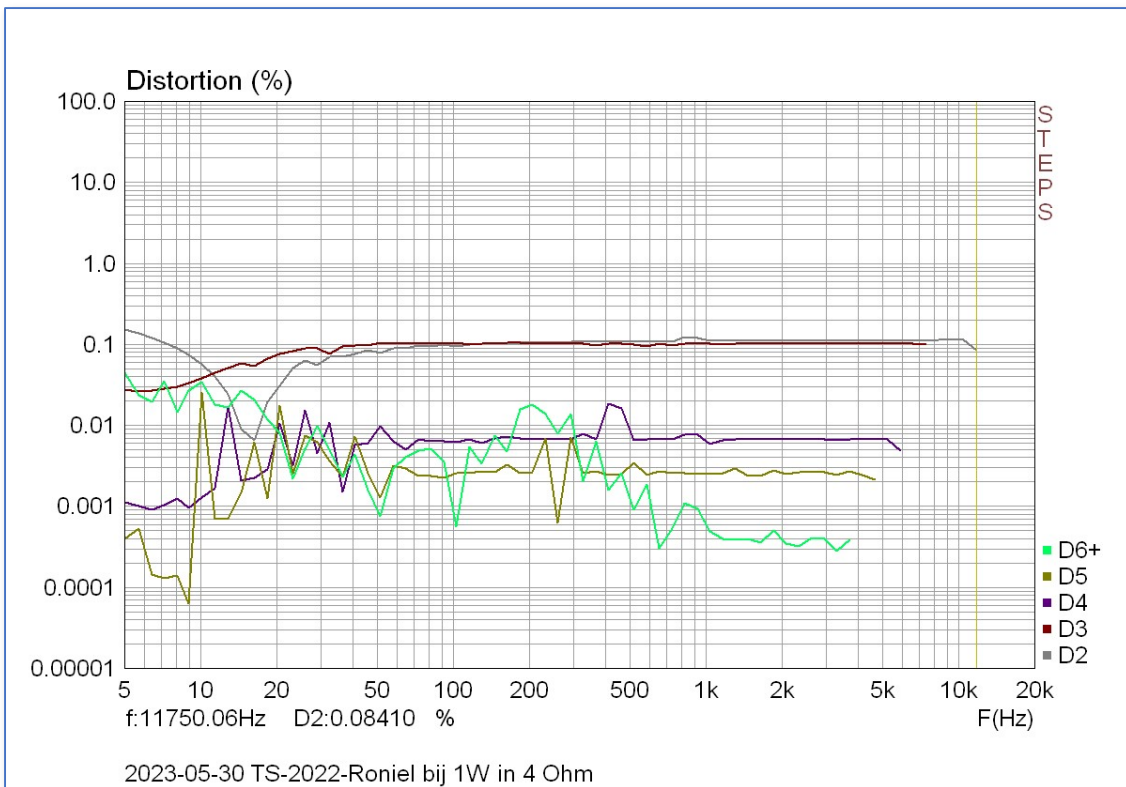


Hierboven zie je dat er nog wat netbrom signalen optreden. Dit valt buiten het hoorbare gebied. Dit is iets om de komende periode als uitdaging op te pakken via het ARTA-2 project.

Verder valt op dat de 2^e en 3^e harmonische aanwezig zijn, maar de 4^e en 5^e snel terugvallen in kracht. Dit is gewenst, omdat de 2^e en 3^e harmonische aangenaam zijn om te horen, hogere harmonische wil je niet horen. Dit wordt ook wel de klassieke *Jean Hiraga benadering* genoemd.



Hierboven zie je dat het -3dB punt optreedt rond de 15Hz. Menno had in zijn metingen aangetoond dat dit op 13Hz lag. Dit is wel ruim buiten het hoorbare gebied. Mijn luidspreker haalt dat niet. M.a.w.: deze versterker is uitermate geschikt om heerlijk diep laag weer te geven, en dat doet ie!



De impedantie van de versterker loopt zichtbaar op naarmate de frequentie lager wordt. Dat is te danken aan de uitgangselco's, die in mijn versie op 3000 μ F zijn gezet. Bij een hogere waarde zal de oplopende impedantie naar een lagere frequentie schuiven, wat wel de moeite waard is bij een volgende bouw van deze versterker. Daarom is zelf printplaten maken zo fijn: het is zo aangepast en toegepast.

En wat ging er dan mis tijdens het bouwen?

Genoeg! Meer dan genoeg. Een kleine greep van mijn frustraties waar je als onervaren bouwer gewoon doorgeen moet:

- Niet doorhebben dat de 250V voeding een kapotte mosfet had, waardoor er een inschakelplop ontstond
- Bij de eerste geluidstesten een brontoon uit de speaker horen: na vele uren zoeken bleek de geluidsbron de oorzaak, niet de versterker
- Op alle printplaten de pootjes van de mosfets verkeerd om gezet: dus pootjes buigen 😊



- En nog tal van andere kleine dingen. En daar leer je van.

En wat vind ik van de versterker?

WOW! Wat een geluid geeft deze weer op dezelfde geluidsbron en dezelfde speakers. Iedereen hier thuis was er even enthousiast over toen we met z'n allen op een zondagmiddag van de eerste buizenklanken zaten te genieten.

Bij film en goede muziek is de beleving zoveel beter dan mijn Elektuur Hexfet uit 1993. Het laag is veel voller, krachtig en snel, het midden en hoog is aangenaam, rijk aan details zonder vervelend te worden. De gitaren komen veel beter naar voren en in alles overtreft deze hybride versterker de oude Hexfet.

Ik blijf me met regelmaat verbazen over de kwaliteit van dit eenvoudige ontwerp: dat deze oude techniek zo'n prachtig geluid kan voortbrengen had ik nooit gedacht!

En wat bracht je dit afgelopen cursusjaar?

Inspiratie, nieuw audio enthousiasme, kennis van buizen, ervaring opdoen in het meten van de kwaliteit van je versterker, en vooral een hele leuke club met mensen om mee samen te pionieren. Het leverde me een schitterend seizoen op een mooie eindversterker!