

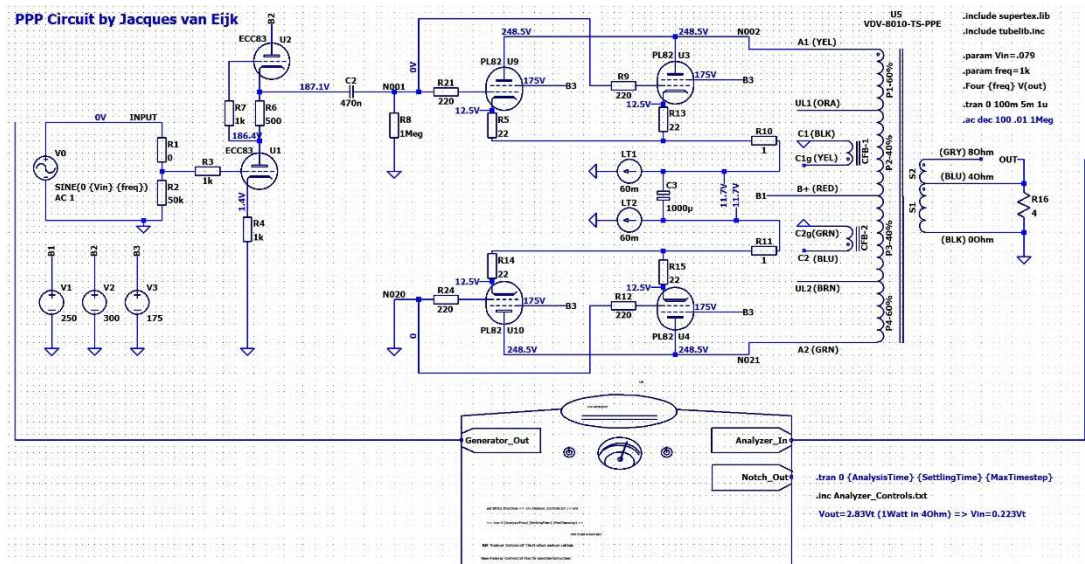
### 1. Introductie

- a. Opdracht voor dit seizoen was: "bouw een versterker met het schema van de DIYAUDIO-KISS-PP-versterker (gebaseerd op info van Bruce Heran) met de keuze uit de opties ECC83 of ECC88 en EL82 of EL84 of 6BX7 en de uitgangstrafo VDV-8010-TS-PPE". En "Keep It Stupid Simple".
- b. Daarbij de nadruk op het toepassen van LTSpice voor de bepaling van het schema.
- c. Mijn aanpak was: begin met een onderzoekje m.b.v. LTSpice om de feedback mogelijkheden met de uitgangstrafo met elkaar te vergelijken.

### 2. Onderzoek naar de feedback schakelingen met de uitgangstrafo VDV-8010-TS-PPE

- a. In LTSpice de schakelmogelijkheden met de UGT vergeleken: Geen feedback, Kathode feedback en Overall feedback o.b.v. ECC83 i.c.m. EL84 en ECC83 i.c.m. EL82.
- b. De uitkomsten zijn gepresenteerd tijdens een TS les.
- c. Belangrijkste conclusies uit deze LTSpice simulaties waren:
  - i. Om de meting telkens bij een uitgangsniveau van 1Watt in 4 Ohm te doen, diende telkens het ingangssignaal aangepast te worden.
  - ii. De schakeling met de EL84 en die met EL82 vertonen een ongeveer gelijk vervormingsniveau.
  - iii. Alle feedback modellen vertonen een vrijwel gelijk niveau van de  $D_3$  vervorming van ca. -45dB. De harmonische  $D_3$  en  $D_5$  zijn overall dominant (dit is een kenmerk van PP schakelingen).
  - iv. Overall feedback vanaf de secundaire winding van de UGT levert de laagste  $D_2$  en  $D_3$  niveaus op (de ervaring leert dat dit een versluierd geluidsbeeld oplevert).
  - v. Het laagste  $D_2$  niveau treedt op bij EL84-overall feedback en bij EL82-kathode feedback, beide met dubbele CCS aan de kathodes (dit bepaalde de keuze voor mijn EL82 schakeling).
  - vi. De EL82 schakeling met dubbele CCS (voor afregelen van de ruststroom) heeft zonder feedback een versterking van 16.1x en met kathode feedback 9.8x.
  - vii. Voorbehoud: Een simulator is niet de werkelijkheid, dus mijn onderzoeksvraag was hoe en in welke mate de LTSpice simulaties verschillen van de ARTA metingen met de fysiek gebouwde versterker.

- d. De volgende stap was de keuze maken voor een PPP – EL82 schakeling, hierdoor wordt de UGT meer laagohmig aangestuurd (minder vervorming) dan met PP. Dit schema is vervolgens geoptimaliseerd met LTSpice. Zie in fig.1: Kathode ECC83 ontkoppeld en de instelling van de EL82's gewijzigd (met CCS'n de  $I_A=30\text{mA}$  ingesteld per EL82) en lagere voedingsspanningen voor B1 (Anode) en B3 ( $G_2$ ).



Figuur 1: LTSpice schema met THD analyzer, zonder Kathode Feedback.

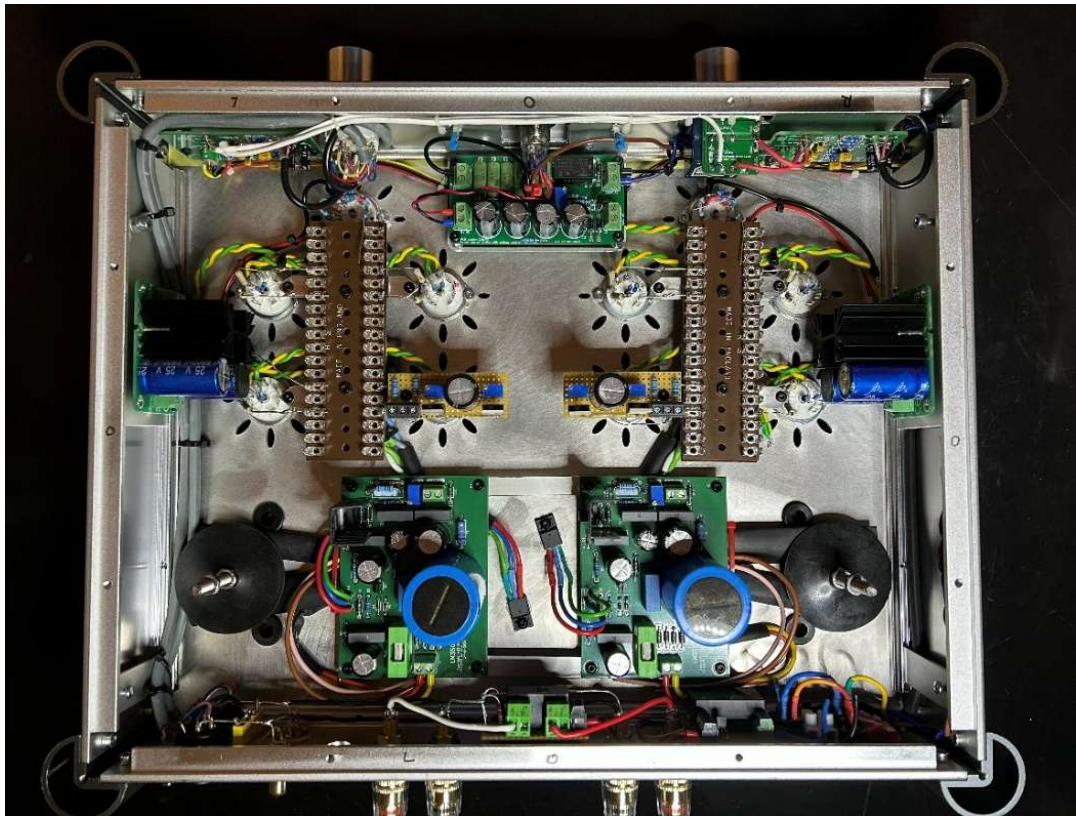
### 3. Doelstellingen voor de versterker

- Vergelijking mogelijk maken tussen de gesimuleerde en gebouwde schakeling.
- Gebouwde versie spelend, meetbaar en te beluisteren.
- Gebouwde versie eenvoudig te modificeren voor verbeteringen.
- Het oog wil ook wat, dus netjes gebouwd.

### 4. Bouw mechanisch

- Eisen en wensen:
  - Ruime kast (zie Fig.2).
  - Netjes afgewerkte kast, aluminium.
  - Alleen basis dus geen opties zoals b.v. VU-meters.
  - Zowel XLR als RCA ingang, schakelbaar.
  - Alleen 4 Ohm uitgang.
  - Voldoende koeling en ventilatie.
- Uitgangspunten:
  - Uitsparingen en gaten in de bovenplaat en ventilatiesleuven in de onderplaat met lasersnijden laten maken, daarna glaspapier afwerking).
  - Zoveel mogelijk blind monteren.

- c. Aanpak:
- i. Eerst de globale lay-out van de schakeling (in-air) en plaatsing modules en trafo's bepaald.
  - ii. Geschikt bouwpakket van een kast gezocht.
  - iii. M.b.v. Lasersnijden de gaten en uitsparingen in boven- en onderplaat laten maken. Hiervoor waren CAD-files nodig, dus diende een CAD programma gevonden te worden en dit te leren gebruiken (LibreCAD).
  - iv. Modificaties van de kast:
    - blind montage van PCB's aan de zijkanten en voorkant.
    - Extra gaten in de achterkant t.b.v. de hoofdschakelaar en de in- en uitgangs-terminals XLR en RCA.
    - In het front een extra gat voor de aan/uit schakelaar.



*Figuur 2: de kast.*

## 5. Bouw elektronisch

- a. Componenten:
- i. Waar mogelijk zijn componenten met lage toleranties en gemeten waarden toegepast.

b. Voedingen:

- i. Netvoeding: Gezekerd en toepassen inrush schakeling van Erwin voor slowstart van de hoogspanning.
- ii. Per kanaal aparte voeding omdat de EL82 veel filamentstroom gebruikt (800mA) en 4 stuks per kanaal gevoed moeten worden.
- iii. Voor de hoogspanning is de Maida geregelde voeding van Joost gebruikt om de spanning en dus de ruststroom van de eindtrap stabiel te houden bij een fluctuerende netspanning.
- iv. Tentlab 6.3Vdc voeding voor het ECC83-filament. Dit dient gelift te worden voor de kathodevolger – 2<sup>e</sup> buishelft.
- v. 2x12Vdc voor de Opamps in de PP80 ingangstrap. Dit is gerealiseerd met een enkele 230/24V AC/DC converter en secundair 24Vdc met een railsplitter/virtuele aarde TLE2426 naar -12Vdc\_0\_+12Vdc omgezet.
- vi. 12Vdc voor de ledverlichting van de aan/uit schakelaar in het front komt van de inrush schakeling.

c. Voortrap Versterker:

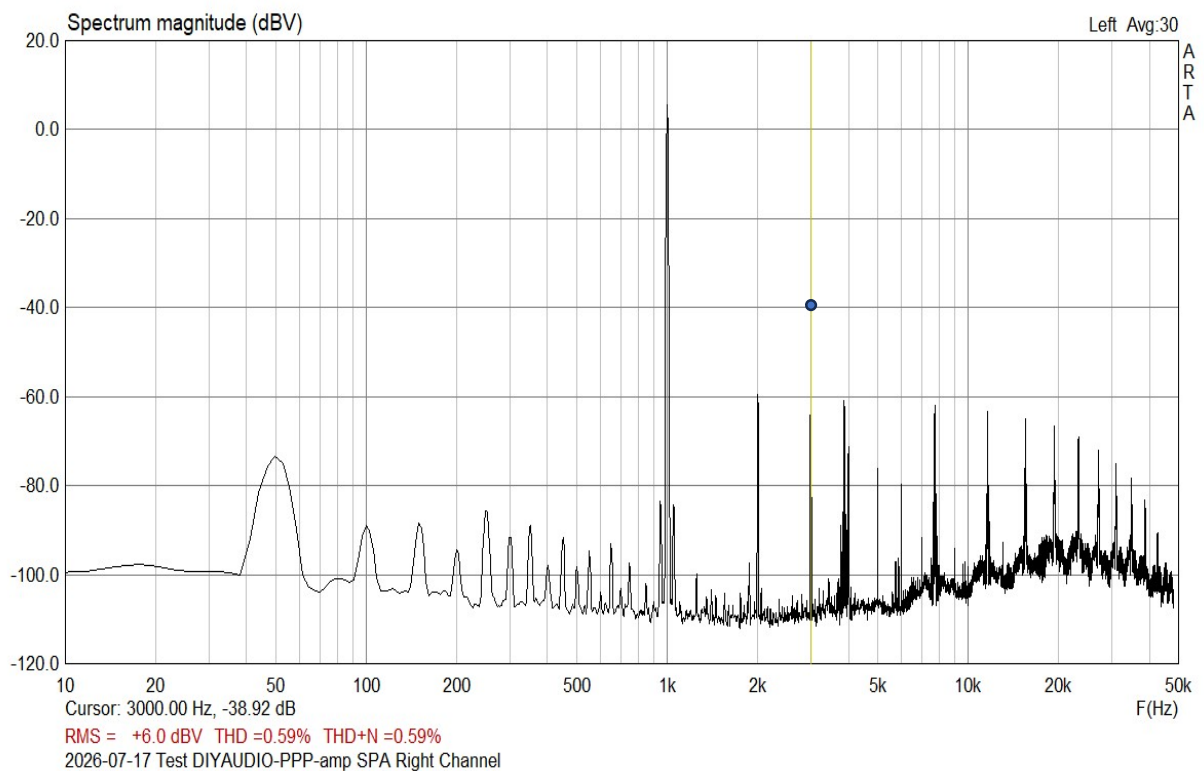
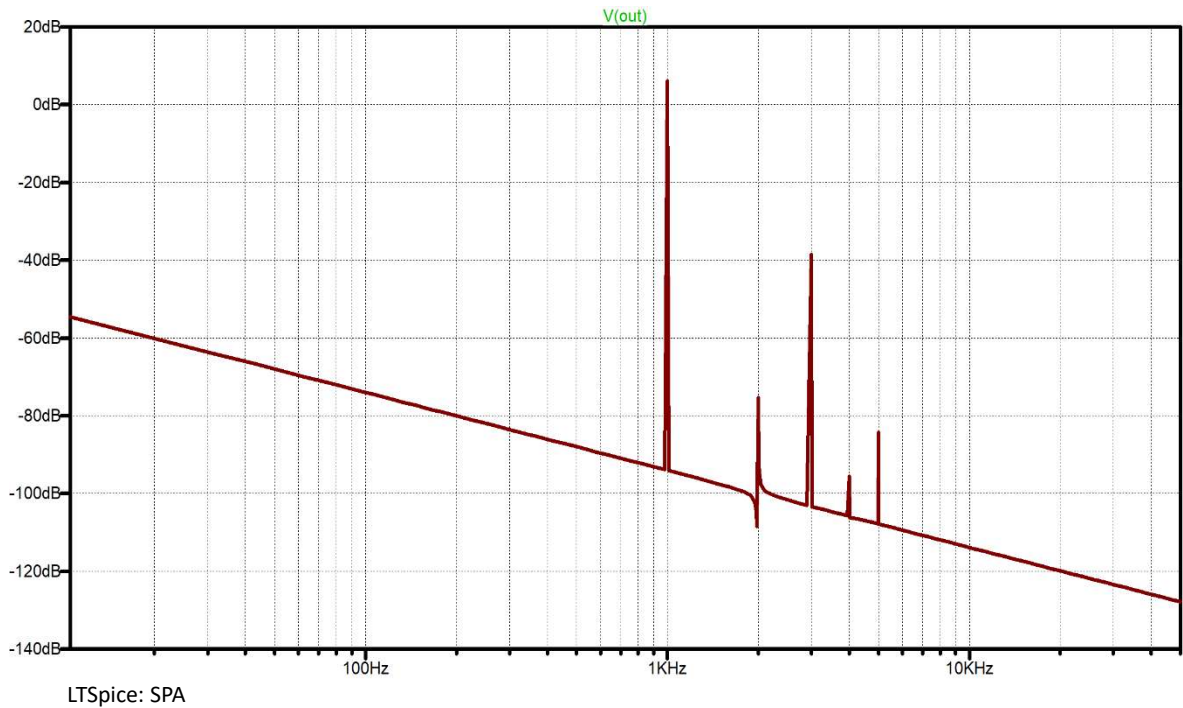
- i. I.v.m. het aansluiten van XLR ingang en linearisatie van de volume potmeter is een extra ingangstrap met voorversterker van de PP80 toegepast. Het signaal wordt van de 2<sup>e</sup> Opamp U2 doorgeleid naar de volgende voorversterkingstrap met ECC83.
- ii. Er is geen fasedraaier toegepast.
- iii. De ECC83 voorversterkingstrap (zie figuur 1) is opgebouwd met als eerste helft een triode versterker en daar 'bovenop' de tweede helft als kathodevolger voor een lage uitgangsimpedantie t.b.v. het aansturen van de eindversterkingstrap.

d. Eindtrap Versterker:

- i. Dit is een Parallel Push Pullschakeling met 4 EL82's per kanaal: het stuurrooster  $G_1$  van de eerste EL82 van de ene 'helft' van de PPP schakeling ligt aan signaal- aarde, het stuurrooster  $G_1$  van de eerste EL82 van de andere 'helft' krijgt via de koppelcondensator het volledige signaal van de ECC83 voortrap.
- ii. De ruststroom wordt per helft van de PPP met een CCS (TL185) ingesteld op 60mA (30mA per EL82).
- iii. Een vaste spanning op het schermrooster  $G_2$  van alle EL82's, dus is sprake van een pentode instelling.
- iv. Kathode feedback zou toegepast worden omdat daarmee in LTSpice ontwikkeld was, maar dat leverde oscillatie op. De tijd ontbrak om dit op te lossen. De versterker én de LTSpice simulaties zijn zonder kathode feedback uitgevoerd.

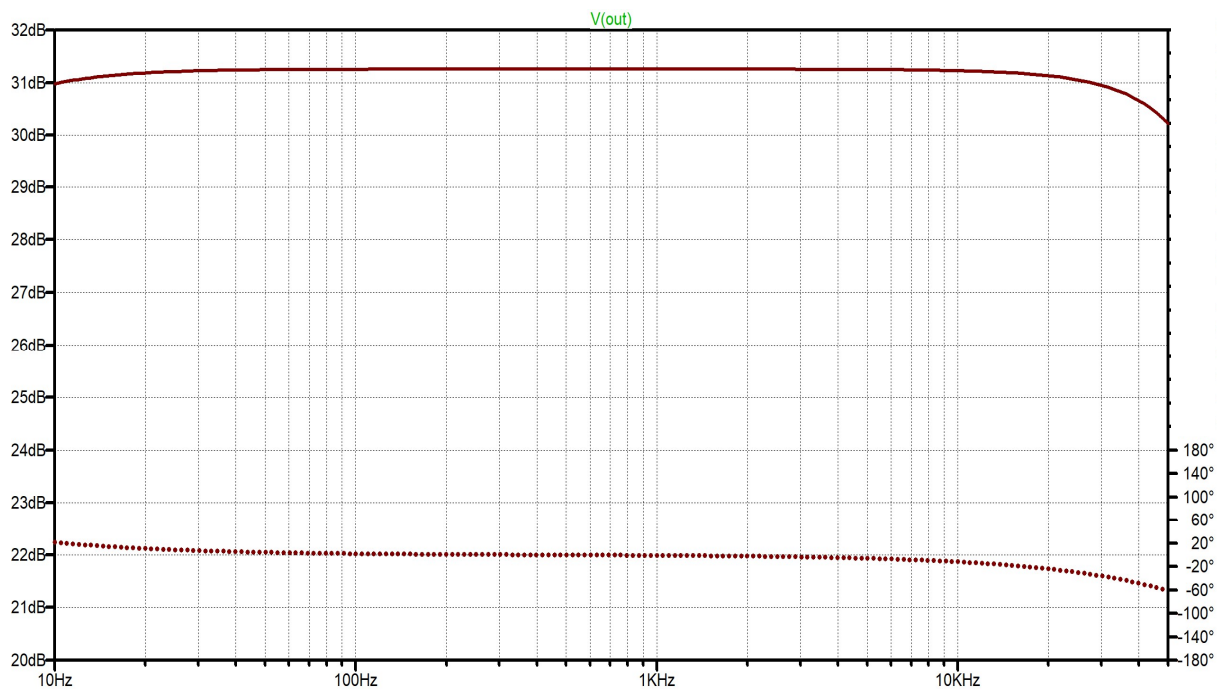
## 6. Resultaat van Simulaties, Metingen en Luisteren

- Om te kunnen vergelijken zijn de simulaties in LTSpice gedaan met de schakeling zonder kathode feedback.
- Vgl. Spectrum analyse, simulatie en ARTA:

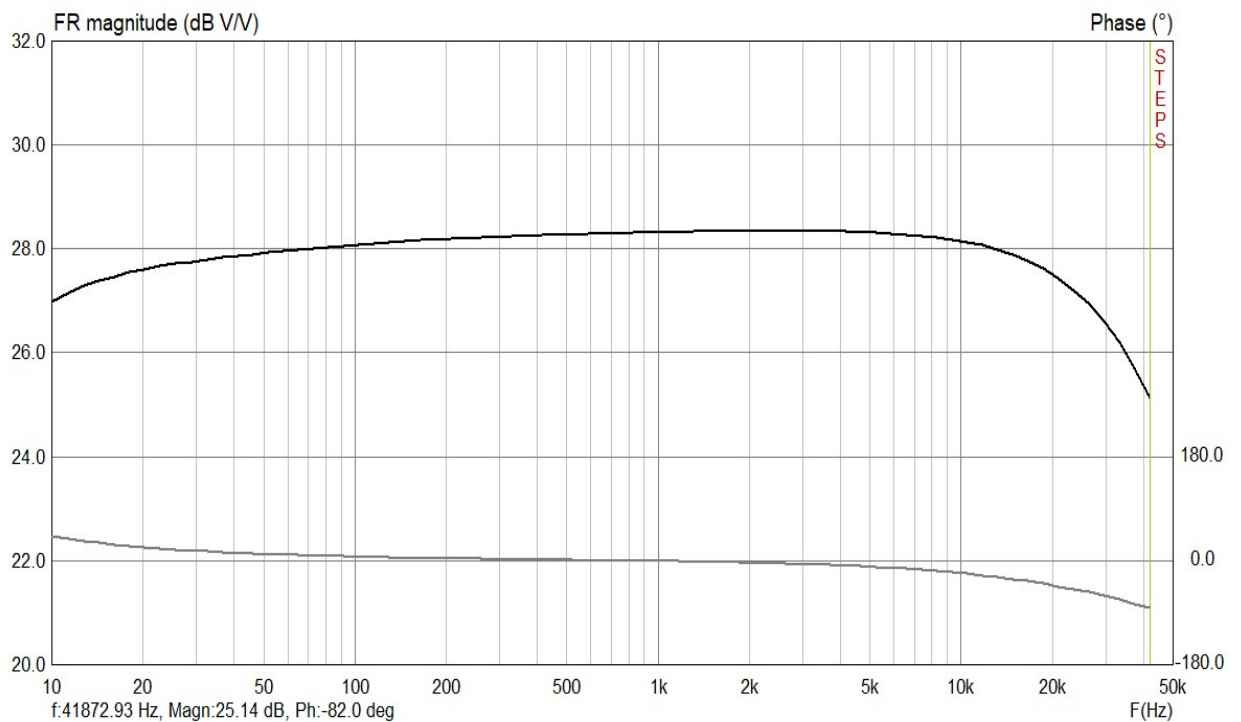


ARTA: SPA

c. Vgl. Frequentie Response en Fase, simulatie en ARTA/STEPS:



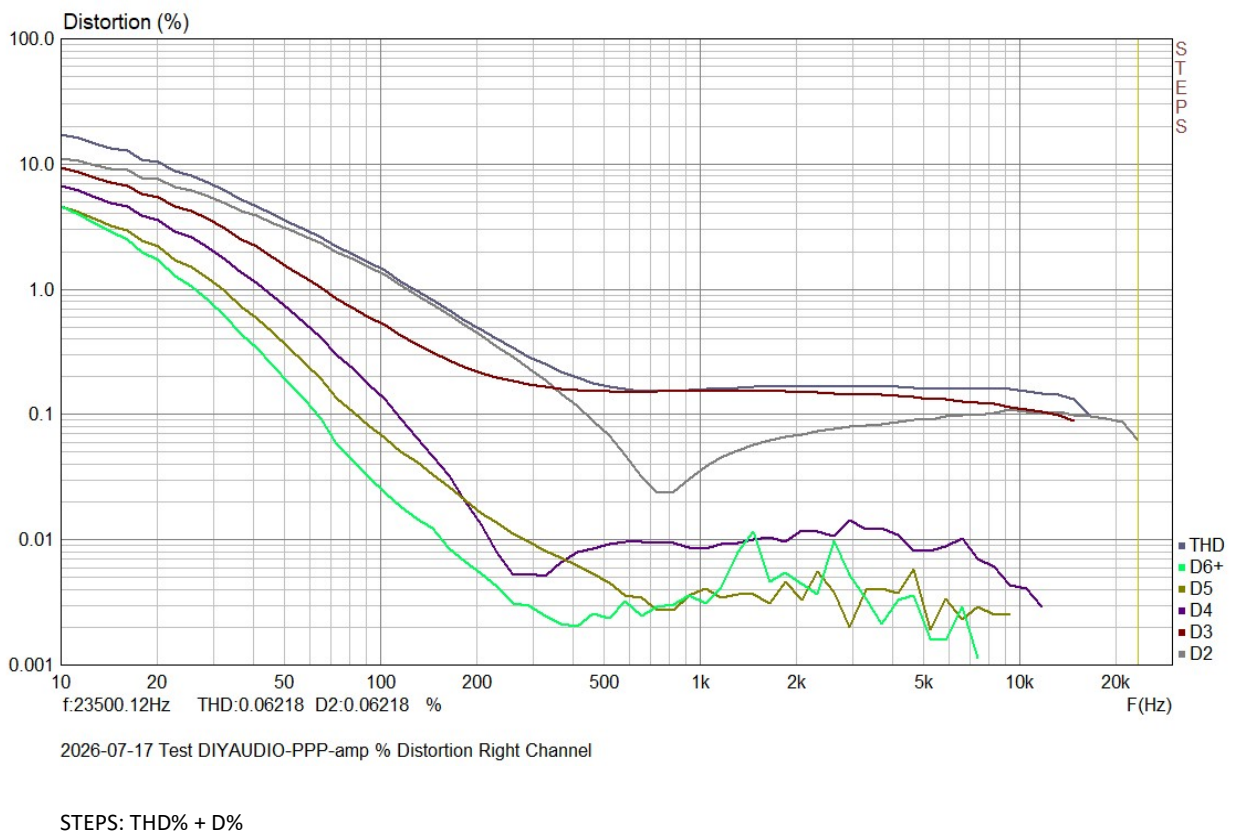
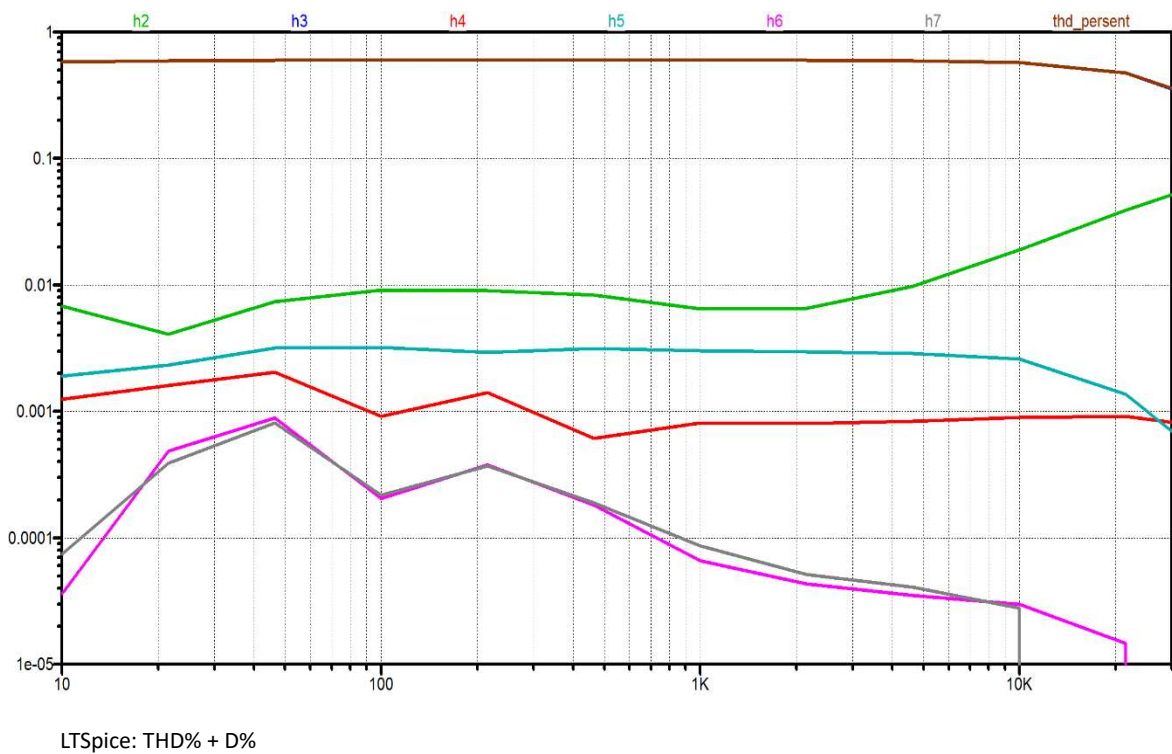
LTSpice: FR Magnitude & Fase



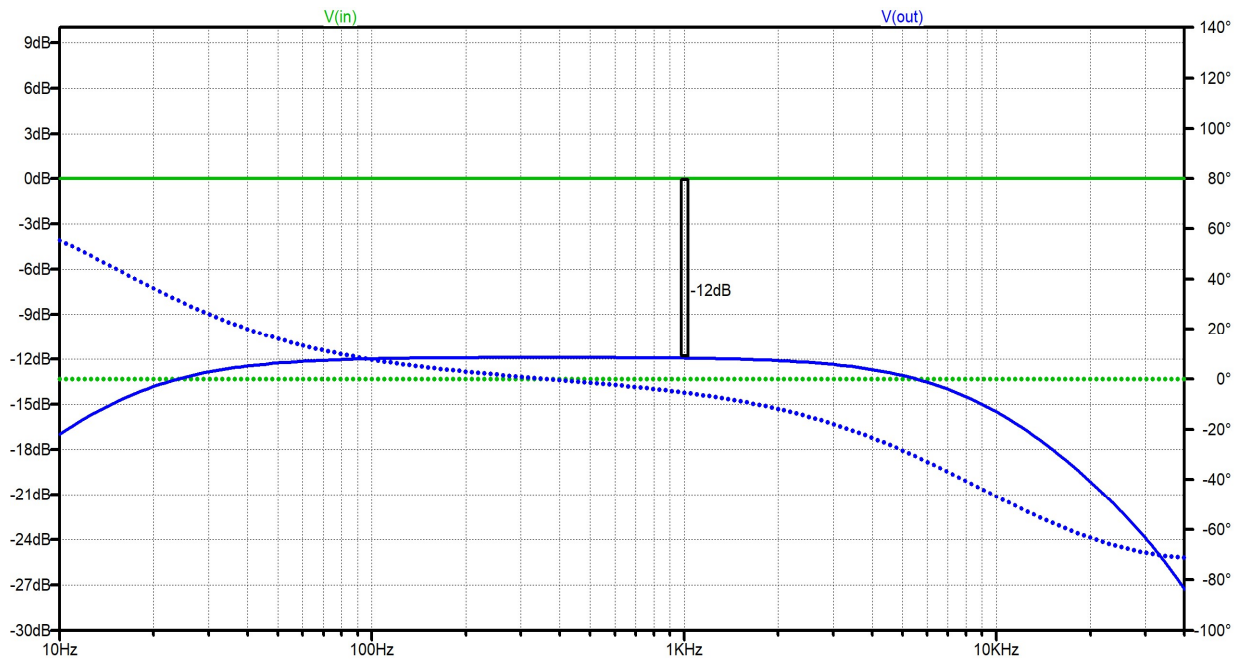
2026-07-17 Test DIYAUDIO-PPP-amp FR-mag & Phase Right Channel

STEPS: FR Magnitude & Fase

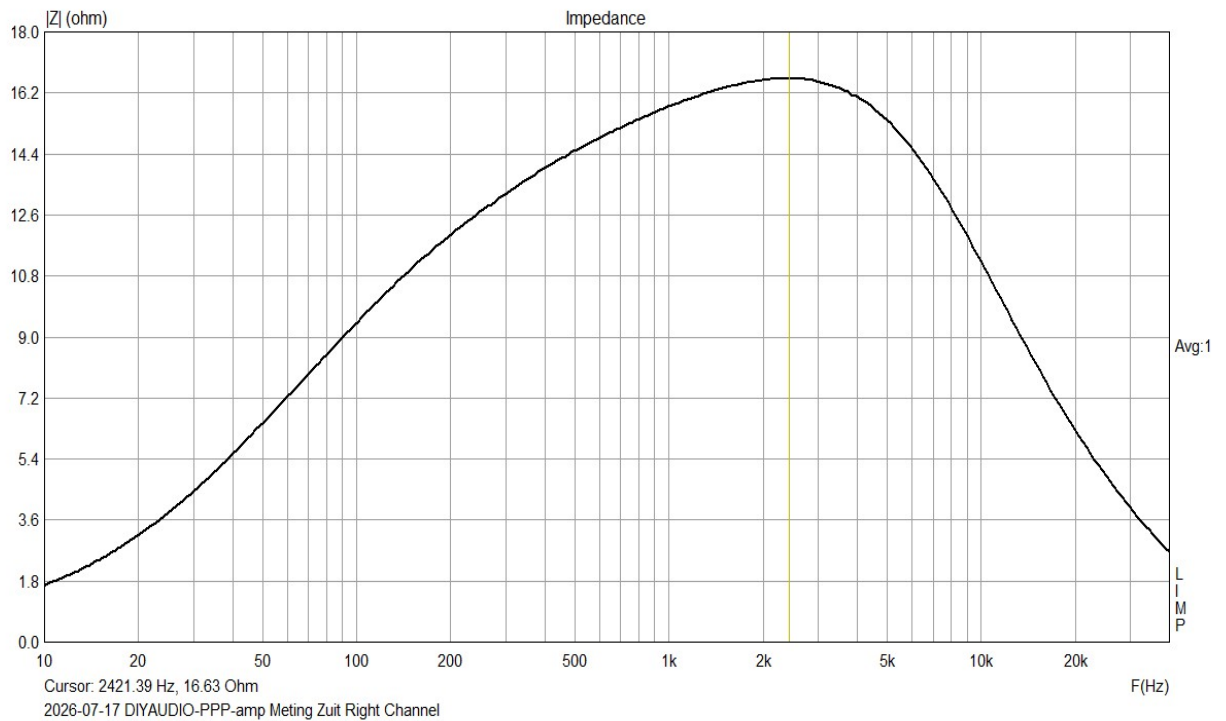
d. Vgl. Vervorming in %, simulatie en ARTA/STEPS:



e. Vgl. Uitgangsimpedantie, simulatie en ARTA/LIMP:



LTSpice: Berekenen uitgangsimpedantie:  $-12\text{dBV} = 0.25\text{V}$ , meetsignaal is 1V,  $1\text{V} - 0.25\text{V} = 0.75\text{V}$   
 dus  $0.75\text{V}$  over  $100\Omega$  betekent  $I = 0.0075\text{A}$ , dan geldt  $Z_{uit} = 0.25\text{V} / 0.0075\text{A} = 33\Omega$



LIMP: Uitgangsimpedantie  $3\Omega < Z_{uit} < 16.6\Omega$

- f. Vergelijking van de LTSpice simulaties met de ARTA metingen leverde het volgende inzicht op:

| Vergelijking LTSpice simulaties met ARTA/Scope metingen |                                  |                                  |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Parameter                                               | LTSpice                          | ARTA/Scope                       |
| Spectrum Analyse                                        | D2 t/m D7 < -60dBV<br>D3= -38dBV | D2 t/m D7 < -60dBV<br>D3= -39dBV |
| THD % overall                                           | 0.70% / -43dBV                   | 0.59% / -44dBV                   |
| D%                                                      |                                  |                                  |
|                                                         | D2 0.007%                        | 0.03%                            |
|                                                         | D3 0.609%                        | 0.18%                            |
|                                                         | D4 0.001%                        | 0.009%                           |
|                                                         | D5 0.003%                        | 0.003%                           |
|                                                         | D6 0.0001%                       | 0.0028%                          |
|                                                         | THD 0.609%                       | 0.18%                            |
| FR magnitude 20Hz ⇔ 20kHz                               | 31dBV: -0.1dBV ⇔ -0.2dBV         | 28,3dBV: -0.7dBV ⇔ -0.8dBV       |
| Phase 20Hz ⇔ 20kHz                                      | 0°: +10° ⇔ -24°                  | 0°: +30° ⇔ -40°                  |
| Versterking belast 4Ω A                                 | 35x                              | 22x                              |
| Versterking belast 4Ω dBV                               | 31dBV                            | 28.3dBV                          |
| Zuit @ 1kHz                                             | 33Ω                              | 16.6Ω                            |

Tabel 1: resultaten vergelijking LTSpice – ARTA.

- i. In de FFT spectrum analyses @ 1kHz is het niveau van de hogere harmonischen bij de ARTA metingen hoger m.u.v. D3.
  - ii. Het niveau van de D's in % is vooral bij lage frequenties hoger, waar de invloed van de UGT in praktijk een grote rol speelt en in de simulaties niet.
  - iii. Het percentage THD (Total Harmonic Distortion) gemeten met een signaal van 1kHz is in beide gevallen ongeveer gelijk (verschil ca. 0.1%).
  - iv. Bij de meting met 'stepped sinus' verschillen m.n. de D3 en THD waarden.
  - v. Het frequentie bereik verschilt niet veel: de ARTA metingen tonen een iets grotere afval (0.6dBV) bij 20Hz en 20kHz dan de LTSpice simulaties.
  - vi. Fase af- en oploop is bij de ARTA metingen sterker (ca. 20°).
  - vii. De versterkingsfactoren verschillen ca. 3dBV.
  - viii. De uitgangsimpedantie is niet goed vergelijkbaar. In LTSpice is deze zeer hoog en vertoont in LIMP een sterk frequentie afhankelijk verloop.
- g. Luisterend beoordelen en vergelijken met de andere versterkers op de TS-slotdag leverde de volgende indrukken op:
- + Ruimtelijk stereobeeld.
  - + Los van de weergevers.
  - + Details goed aanwezig.
  - Weinig tot geen controle van de basweergave dus slordig, (dempingsfactor is < 0.25).
  - Aanwezig midden, schel met een scherp randje, (vorming D3 >> -80dBV en D5 ca. -84dBV dus hoorbaar).
  - Stoorsignaal (hoge toon) en brom (50Hz) hoorbaar in rechterkanaal.

## 7. Conclusies

- a. Door vertragingen bij het lasersnijwerk van de kast is de versterker in krap 3 weken (af)gebouwd. Daardoor ontbrak de tijd om naar de oorzaken van de kathode feedback oscillatie, het stoorsignaal en de (versterkingsafhankelijke) brom te zoeken.  
De versterker speelde direct en op een redelijk niveau. De warmteontwikkeling na enkele uren was normaal en gaf geen problemen. De huidige status is wel een goed uitgangspunt voor verder onderzoek en verbeteringen.
- b. De resultaten van de simulaties in LTSpice zijn goed te vergelijken met die van de fysieke metingen (ARTA, Oscilloscoop).
- c. LTSpice kan prima gebruikt worden bij het ontwerpen van een versterker schakeling en de simulaties geven een goede indruk van de kwaliteit van het ontwerp. De 80/20 regel toepassend kan gesteld worden dat de simulatie de werkelijkheid voor meer dan 80% benaderd. Bijkomend voordeel is dat ontwerpen met LTSpice ook rook en knallen voorkomt.
- d. De kast is geslaagd en heeft voldoende ruimte voor modificaties.
- e. De versterker is nog niet af!

## 8. Hoe verder

- a. Allereerst de oorzaak opzoeken van de fluittoon (oscillatie) en de brom die volume afhankelijk is.
- b. Dan het kathode feedback probleem oplossen.
- c. Daarna opnieuw een vergelijking maken tussen de LTSpice simulatie uitkomsten en de ARTA metingen aan de versterker.
- d. Rest nog vele mogelijkheden om het geluid te verbeteren, bijvoorbeeld:
  - i. Ontkoppelen van de kathodeweerstand van de ECC83 triode schakeling.
  - ii. De kathode feedback uit de UGT aan/uitschakelen.
  - iii. De EL82's in UL of Triode schakelen.
  - iv. Een vorm van overal feedback waarbij afgetapt wordt van de primaire kant van de UGT (toegepast in mijn PP80 – 2019 versterker).
  - v. TRANS feedback toepassen.
  - vi. De fasedraaiër op de PP80 voorversterker PCB gebruiken om de eindtrap anders aan te sturen.
  - vii. Andere werkpunt van de EL82's kiezen.
  - viii. EL88's gebruiken i.p.v. EL82's.
  - ix. Betere autobias toepassen.
- e. Voor de beoordeling van de aanpassingen zullen de oren een grote rol spelen.