

De ECLL800

BiBu

Verslag Tubesociety project 2025/26

Clemens Schellens

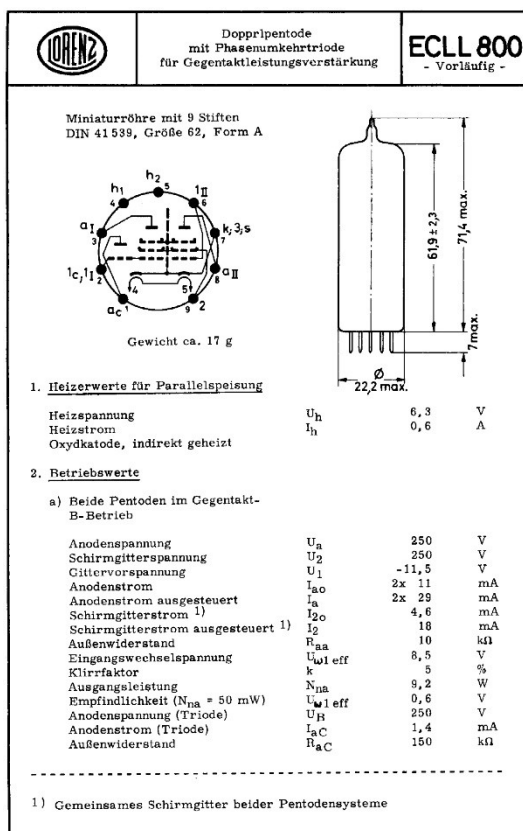
Veel dank aan Robert-Jan Hoeksma en Willem Elgersma

10 augustus 2026

1 Inleiding

Bij het zoeken naar geschikte buizen voor het project van dit schooljaar, liep ik, zoals zo vaak, tegen mijn beperkingen aan. Wat wist ik nou van buizen? Ja, hoe ze werken inmiddels zo'n beetje, van enkele wist ik zelfs wat eigenschappen en, ook handig, ik wist dat je ze gewoon met je vingers mocht aanraken, mits afgekoeld 😊 Daarom vroeg ik Willem Elgersma bij een interne buizenbeurs om tijdens zijn eigen zoektocht ook voor mij te kijken naar interessante buistypen om mee aan de slag te gaan. Ik ben hem dankbaar want hij kwam met deze bijzondere buis: de ECLL800.

2 De buizen



30, 3, 1963

1

De eindbuis is de ECLL800. Deze buis is ontwikkeld door Lorentz omstreeks 1963, niet lang voor de grote doorbraak van transistorversterkers. Hij is ontworpen om met weinig buizen en andere onderdelen een complete eindversterker te maken. Met drie buizen - een dubbeltriode en twee ECLL800's - kon een volledige stereoversterker gebouwd worden van goede kwaliteit. Hij is o.m. gebruikt in radio's van het merk Saba (o.m. in de radio Freudenstadt 16). In één ECLL800 zijn een triode en twee pentodes samengepakt. De triode is zo geconstrueerd en geïntegreerd in de buis dat deze, met een versterkingsfactor van 1, werkt als fasedraaier. De twee pentodes kunnen push pull geschakeld worden.

Om toe te kunnen met 9 aansluitpinnen is één en ander intelligent samengevoegd. Zo zijn de stuurroosters (g_1) van de triode en één van de pentodes samen aangesloten op één pin (2). Het stuurrooster van de andere pentode zit aan pin 6 om het door de triode fasegedraaide signaal te verwerken. De kathodes van alle drie de buizen komen samen met de remroosters van de twee pentodes uit op pin 7. De anodes zijn onafhankelijk van elkaar aangesloten op pin 1, 3 en 8. De schermroosters van beide pentodes zitten op pin 9. Pin 4 en 5 zijn voor de gloeidraad van deze indirect verhitte buis.

Dat zoveel aansluitingen gecombineerd zijn, maakt dat de buis niet zo maar in alle configuraties bruikbaar is. Zo zijn ultralineair en kathodefeedback onmogelijk. Ook triode modus voor de

pentodes wordt een uitdaging omdat de schermroosters van de pentode niet onafhankelijk van elkaar kunnen werken.

Hierboven zie je een deel van de datasheet met de layout van de ECLL800.

De buis die we uiteindelijk in de voortrap en voor de kathodevolgers gebruikten, is de 6SN7. Hiernaast zie je een deel van de datasheet. Voor de voortrap had ik aanvankelijk een E280F in gedachten. Deze kleine pentode heeft een hoge versterkingsfactor (u rond de 60), eigenlijk veel te hoog voor het aansturen van een ECLL800. Die overbodige versterking zou je natuurlijk kunnen benutten voor lokale tegenkoppeling, maar we willen tegenkoppeling bij dit ontwerp juist waar mogelijk vermijden om fase-effecten en verstoring van ruimtelijke weergave en plaatsing te voorkomen. Pentodes in zowel voor- als eindtrap is wellicht ook minder gelukkig. We hebben een voorkeur voor het mixen van de karaktertrekken van een triode met die van een pentode om een evenwichtige klankkarakteristiek te verkrijgen. Aangezien de eindbuis vast staat, daar draait immers de uitdaging en het hele ontwerp om, komt er in de voortrap een triode. De keuze voor de goed presterende, robuuste en betaalbare 6SN7 met een maximale versterkingsfactor van 20 is snel gemaakt.

SYLVANIA

engineering data service

SYLVANIA

6SN7GT

12SN7GT

MECHANICAL DATA

Bulb		T-9
Base		B8-6, Intermediate Shell Octal 8-Pin or B8-58, Short Intermediate Shell Octal 8-Pin or 9-11 or 9-41
Outline		9BD
Basing		Control Unipotential
Cathode		Any
Mounting Position		Any

ELECTRICAL DATA¹

HEATER CHARACTERISTICS

	6SN7GT	12SN7GT
Heater Voltage	6.3	12.6 Volts
Heater Current	600	300 Ma
Heater-Cathode Voltage (Design Center Value)		
Heater Negative with Respect to Cathode	200	200 Volts Max.
Total D.C. and Peak	100	100 Volts Max.
Heater Positive with Respect to Cathode	200	200 Volts Max.
D.C.		
Total D.C. and Peak	200	200 Volts Max.

DIRECT INTERELECTRODE CAPACITANCES

(Unshielded — approx.)

	Section 1 ²	Section 2
Grid to Plate	3.8	4.0 pfd
Input	2.8	3.0 pfd
Output	0.8	1.2 pfd

RATINGS — Each Section (Design Center Values — Except as Noted)

	Class A ₁ Amplifier	Vertical ³ Deflection Amplifier
Plate Voltage	300	300 Volts Max.
Peak Positive Plate Voltage (Alt. Max.)		1200 Volts Max.
Plate Dissipation		
Each Plate	3.5	3.5 Watts Max.
Both Plates	5.0	5.0 Watts Max.
Peak Negative Grid Voltage	20	250 Volts Max.
Carbide Current	20	20 Ma Max.
Peak Carbide Current	70	70 Ma Max.
Grid Circuit Resistance	1.0	2.2 Megohms Max.
Cathode Bias		

	Vertical ³ Deflection Oscillator	Horizontal ³ Deflection Oscillator
Plate Voltage	300	300 Volts Max.
Plate Dissipation		
Each Plate	3.5	3.5 Watts Max.
Both Plates	5.0	5.0 Watts Max.
Peak Negative Grid Voltage	20	600 Volts Max.
Average Carbide Current	20	20 Ma Max.
Peak Carbide Current	70	300 Ma Max.
Grid Circuit Resistance	2.2	2.2 Megohms Max.

QUICK REFERENCE DATA

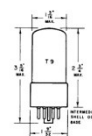
The 6SN7GT is a medium mu double triode intended for use as a resistance coupled amplifier or combined vertical oscillator and vertical deflection amplifier in television receivers. Except for heater characteristics, the 6SN7GT is identical to the 12SN7GT.

SYLVANIA ELECTRIC
PRODUCTS INC.
RADIO TUBE DIVISION
EMPORIUM, PA.

Prepared and Issued by the
TECHNICAL PUBLICATIONS SECTION
EMPORIUM, PENNSYLVANIA
SEPTEMBER 1955
PAGE 1 OF 1

QUICK REFERENCE DATA

The 6SN7GT is a medium mu double triode intended for use as a resistance coupled amplifier, or combined vertical oscillator and vertical deflection amplifier in television receivers. Except for heater characteristics, the 6SN7GT is identical to the 12SN7GT.



SYLVANIA ELECTRIC PRODUCTS INC.
RADIO TUBE DIVISION
EMPORIUM, PA.
Patented and Released by The Technical Publications Section
EMPORIUM, PENNSYLVANIA
SEPTEMBER 1975
PAGE 1 OF 1

3 Blokkade

En....toen begon het grote denken, wikken en wegen, nog eens van een andere kant bekijken en eerst nog maar eens een ander klusje doen. Uitstelgedrag of builders block? Hoe dan ook: een hoop ideeën maar nog geen weerstand gesoldeerd. En dat terwijl de enkele collega studenten al eerste versies lieten horen. Foei, Clemens! Ouderejaars student Robert-Jan Hoeksma zag dit met lede ogen aan en nodigde mij uit gezamenlijk aan dit project te werken. Redder in de nood! Hij voegde niet alleen een schat aan kennis en ervaring toe, de drie bouwzaterdagen in Hoogstraten waren naast bijzonder leerzaam ook buitengewoon gezellig. Én er was al snel een werkende versterker! Nog niet optimaal en gelardeerd met een flinke dosis brom, maar al wél heel muzikaal!

4 Het ontwerp

Het begon met het ontdekken van de centrale buis. Je weet weliswaar de technische specificaties en opbouw van de ECLL800, dat wil echter nog niet zeggen dat je ook al doordrongen bent van wat je er wel en vooral ook niet mee kan.

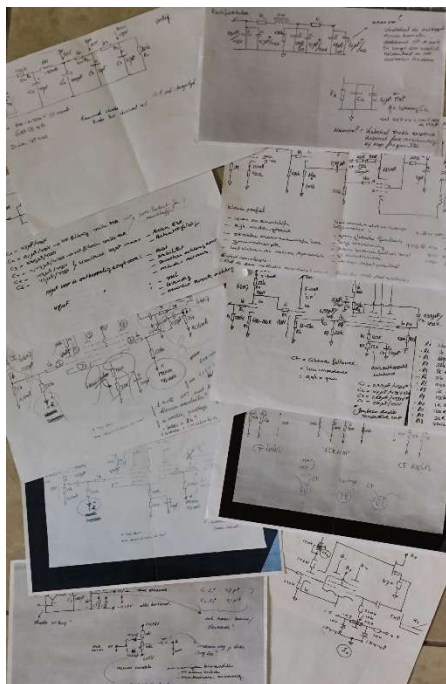
4.1 De inzet van AI

En wij waren niet de enigen, ook AI had het er in aanvang moeilijk mee. De eerste ontwerpsuggestie was dan ook onmogelijk omdat daarin geen rekening was gehouden met de verbinding tussen alle kathodes en de koppeling tussen de stuurroosters van de triode en een van de pentodes. Nadat we AI gevoed hadden met de constructie van de buis ging het beter, om niet te zeggen wonderwel! Waar AI een jaar of twee geleden op mijn vragen over het ontwerpen van buizenversterkers nog vaak ronduit bagger produceerde -volstrekt onmogelijke circuits bijvoorbeeld- is het inmiddels een volwaardige discussiepartner. Goed beargumenteerd, vanuit betrouwbare bronnen helpt het je een ontwerp op te zetten en te verfijnen. Het rekent stromen en spanningen voor je uit, suggereert biasinstellingen en doet voorspellingen over de invloed van wijzigingen op de metingen én klankeigenschappen van een versterker. Ongelofelijk. In de bijlagen tref je een aantal voorbeelden aan. Het zijn flinke lappen tekst maar je leest er snel doorheen. Het geeft je een indruk van wat ook jij met AI als discussiepartner zou kunnen. Om de waarde van dit samenspel te ontdekken, moet je het gewoon gaan doen (al moet er niets).

AI is niet feilloos, maar welke serieuze discussiepartner is dat wél (afgezien van onze Menno natuurlijk 😊)? AI is een geweldig instrument en buitengewoon nuttige aanvulling gebleken op bestaande kennis- en inspiratiebronnen. Die bestaande bronnen vormen uiteraard de basis van AI maar om te beginnen bespaart de inzet van AI je dagen-, zo niet wekenlang zoeken in boeken en op internet, daar bovenop legt AI verbanden die je zelf niet altijd ziet en combineert informatie op andere manieren zodat je tot nieuwe inzichten en oplossingen komt. Heb je aan je versterker gemeten? Met Arta, een oscilloscoop of anderszins? Geef die metingen dan per pdf terug aan AI. Je staat versteld van de analyse en suggesties voor verdere verbetering (zie bijlage 2). Om AI tot een waardevol hulpmiddel te maken is er wel werk aan de winkel. Aan de prompt (vraagstelling) moet je veel aandacht besteden: wat je er aan rommel instopt, krijg je er vanzelfsprekend ook uit, dat is bij mensen niet anders 😊. Geef AI dus een specifieke rol (een beroep, een bepaald expertisegebied), geef aan op wat voor soort bronnen het zich moet baseren, formuleer specifiek, eenduidig en zorgvuldig en let op de nuances in je vraagstelling, daar acteert AI op als geen ander. Bijlage 0 bevat zo'n prompt.

AI bouwt voort op de stappen die je eerder samen hebt gezet, herhalen is dus nagenoeg overbodig; je hoeft niet telkens een volledige en steeds groter wordende prompt te schrijven. Het ontwikkelen met behulp van AI is een itererend proces waarbij steeds kleine stapjes heen en soms ook terug gezet worden. Dat is bij ontwikkeling zonder AI overigens ook zo.

Enfin, een ontwerp met een ECLL800 als eindbuis dus. Met AI aan zijn zijde, ontwikkelde Robert-Jan het ontwerp, zowel van de voeding als van de versterker zelf. Omdat hij vanuit zijn ervaring een klankmatige voorkeur heeft voor een analoge voeding, lieten we de door Joost Breed



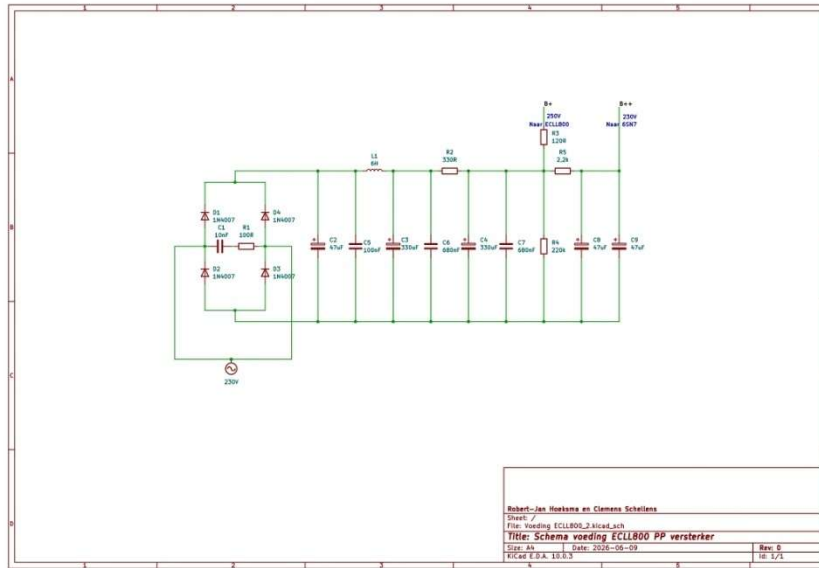
ontwikkelde Maida voeding even voor wat het was. Later zou deze -in de vorm van de HT labvoeding- nog goede diensten bewijzen in het speuren naar oplossingen voor de brom die in de aanvankelijke opzet pregnant aanwezig was.

AI discussiërend werden verfijningen aangebracht in de waardes en keuze van componenten en werd de voortrap in aanloop naar de eindtrap uitgebreid met kathodevolgers om de uitgangsimpedantie te verlagen en zo de controle over de eindbuizen te verbeteren. Een kathodevolger draagt zorg voor een lineaire en schone signaaloverdracht ten gevolge van de inherente negatieve terugkoppeling. Maar terugkoppeling, ook lokale, wilden we met mate toepassen dus was het oppassen en vooral luisteren geblazen.

Sommigen vinden de geluidswaergave met een kathodevolger te analytisch en weinig muzikaal (whatever that may be). Het uiteindelijke effect hangt uiteraard af van de totale configuratie; een (te) analytisch deel kan gemakkelijk gecompenseerd worden door een ander, minder nauwkeurig element.

Er zijn bij de ontwikkeling verschillende schema's de revue gepasseerd zoals enkele hiernaast in vogelvlucht.

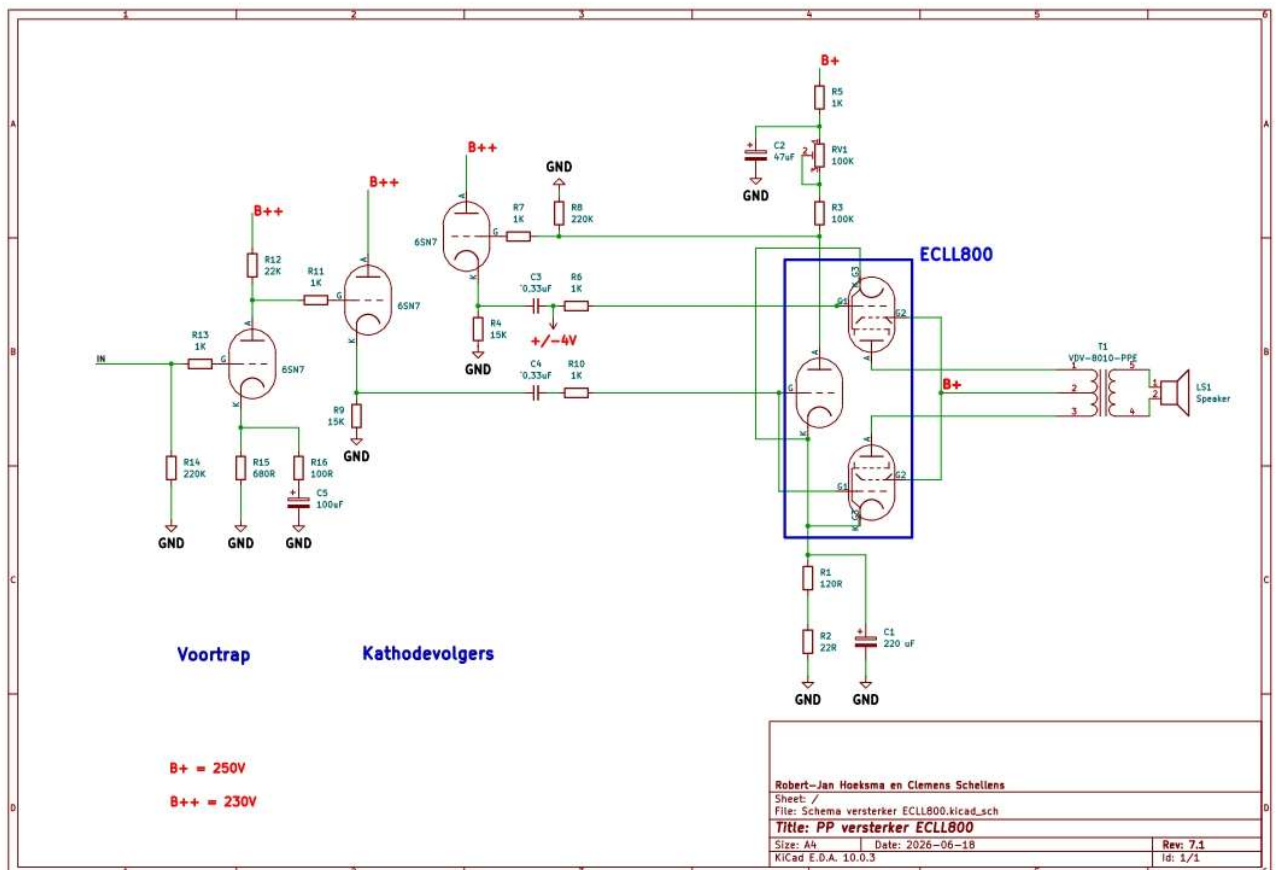
4.2 De definitieve schema's



Hiernaast zie je het definitieve schema van de analoge voeding. De voedingstrafo is de Trafco VDV Mains-E naar een ontwerp van Menno van der Veen. Een trafo met een secundaire wisselspanning van 240V / 0,4A, naast twee 6,3V / 4A uitgangen (comfortabel ruim) en nog enkele hulpspanningen voor het voeden van eventuele halfgeleiderelektronica. Ten behoeve van eenvoud en gemak is gekozen voor een diodebrug voor de gelijkrichting. Wellicht is verdere verfijning mogelijk

door het toepassen van een gelijkrichtbuis.

Dan -hieronder- het definitieve versterkerontwerp (één kanaal). De ECLL800 is, bij gebrek aan een geschikt model, in dit Kicad schema samengesteld uit modellen van twee pentodes en een triode (de buizen binnen het blauwe kader).



5 Verfijningen

Het eerste ontwerp van de voeding verdiende verdere inperking van rimpel en brom. Daartoe werden een extra elco (C4 met een MKP C7 parallel) en weerstand (R2) ingezet. Op de brom bleek dit niet erg van invloed maar de spanning werd wel vlakker. Zeker van belang want de voeding is de basis van de geluidskwaliteit, immers, met een versterker moduleren we de voedingsspanning en -stroom. Wat in de basis fout zit, klinkt zonder meer door in het eindresultaat.

Naast verdere aanpassingen in waarde- en componentkeuzes voor de verbetering van vervorming, klankkleur en ruimtelijkheid, droeg Menno twee suggesties aan om het circuit nauwkeuriger te kunnen afregelen:

- de trimpotmeter RV1 om de versterkingsfactor (ongeveer 1) van de triode te kunnen finetunen om de pentodes – fasecorrect en fasegedraaid- zoveel mogelijk in balans te kunnen aansturen (AC)
- het toevoegen van een regelbare spanningsbron (DC +/- 4 Volt) om de DC-component op het stuurrooster van de pentodes exact gelijk te krijgen en onnodige verzadiging van de uitgangstransformatoren te vermijden. Deze spanningsbronnen (voor elk kanaal één) zijn we de “Menno netwerkjes” oftewel de “Menno’s” gaan noemen.

Niet dat hij er per sé op staat (met een ondeugende blik wél natuurlijk), maar zulke suggesties van de grote leermeester neem je vanzelfsprekend over.

De aanzienlijke brom die de versterker liet horen, leek een hardnekkig probleem. Het bleek te bestaan uit zowel 50 als 100 Hz. Het maken van een audio aarde, het plaatsen van de plank op een geaarde koperfolie, het verplaatsen van de ingang, het omleggen van de 6,3V AC gloeidraadspanningsbekabeling, het tijdelijk verwijderen van de “Menno’s”: de versterker bleef onverstoord brommen. Bij de eerste tests luister je daar nog wel doorheen maar op den duur gaat dit toch behoorlijk irriteren, laat staan dat je ermee voor de dag kan komen op de slotdag. Dát zou ons niet gebeuren!

Wat de oorzaak ook precies was, de oplossing was gelukkig nabij. Inzet van twee HT labvoedingen bleek hierbij zeer behulpzaam. Eerst verving ik onze analoge voeding door hoogspanning uit de nauwkeurig geregelde en schone labvoeding. De versterker bromde lustig door. Het DC 6,3 Volt deel van diezelfde labvoeding deed echter wonderen: schoon!

◆ 8k

- ✓ hogere stroom
- ✓ lagere uitgangsimpedantie
- ✓ betere controle

☀ bas:

- strakker
- meer punch

Ik monteerde vervolgens twee Tentlabs modules op de plank en klaar was Kees (de OTL die ik daarmee wilde bouwen stond toch nog even on hold). De exacte oorzaak bleef onbekend maar we hadden nu wél een oplossing. Mogelijk is de ECLL800 door zijn compacte bouw extra gevoelig voor brom uit AC-gloeispanning, anderzijds ligt door hun grotere invloed de verdenking eerder bij de buizen in de voortrap en/of bij de kathodevolgers.

◆ 10k

- ✓ lineairder
- ! hogere uitgangsimpedantie

☀ bas:

- ronder
- minder controle
- kan “los” worden

De uitgangstransformator is vooralsnog de Trafco VDV-8010-TS-PPE, net als de voedingstrafo ontworpen door Menno van der Veen. Dit was de trafo die dit cursusjaar in bulk besteld werd. Hij heeft een ingangsimpedantie van 8 kOhm. Ten tijde van de inschrijving had ik nog geen vastomlijnd idee wat ik zou gaan bouwen dus bestelde ik deze mee.

Voor de ECLL800 zou een trafo met een 11 kOhm primaire impedantie echter optimaal zijn. Willem Elgersma bood zijn VDV1010's aan om uit te proberen en desgewenst te ruilen. Dat experiment staat op de rol. Het is immers niet evident dat dat beter gaat klinken. Zowel Menno, Robert-Jan als AI hebben daar hun bedenkingen bij. Links zie je beknopte AI bespiegelingen.

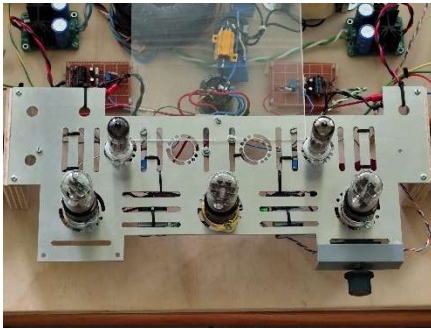
6 Bouw

6.1 Plank

We kozen er bewust voor de versterker op een plank point to point te bouwen. Zo kan je snel bouwen, het bevordert het begrip van de werking en zorgt ervoor dat wijzigingen gemakkelijk kunnen worden aangebracht. Het is immers een onderzoeksproject waarin steeds geluisterd, gemeten en weer aangepast wordt.

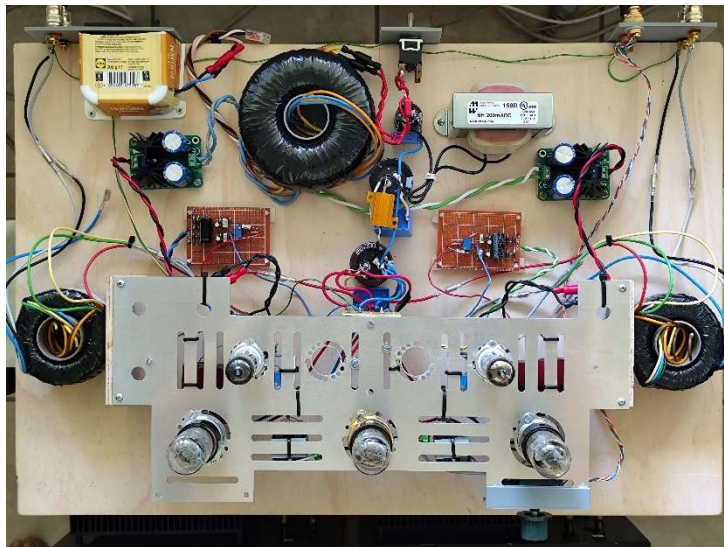
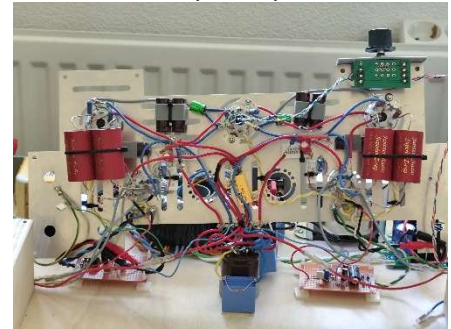


6.2 Lay-out



te schroeven en om te keren gemakkelijk bij de onderdelen van het punt naar punt circuit. Dat hangt onder de plaat en je buizen.

Een heel handig hulpmiddel voor de montage van buizen en andere onderdelen bleek de tactisch geperforeerde aluminium plaat die Robert-Jan ontwikkelde. Hij bouwde er al een groot aantal versterkers mee. Eerst op een plank en daarna eenvoudig overbrengen naar een mooie kast. Door de plaat op houten steunen te monteren en de positie handig te kiezen, kan je door de plaat los



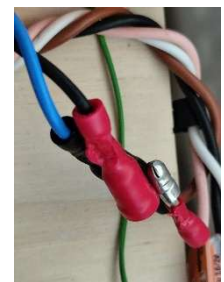
Ten behoeve van de montage van schakelaars, in- en uitgangen en potmeter ontwierp en 3D-printte Robert-Jan kunststoffen plaatjes die we aan de rand van de plank vast schroefden. Ook



voor een aantal grote onderdelen -de transformatoren en een aantal elco's- maakte hij kunststoffen houders. Dit vereenvoudigt de montage (met één centrale schroef op de plank) en maakt het mogelijk om het onderdeel eenvoudig te wisselen. Het verbinden van de transformatoren e.d. met behulp van stekkeraansluitingen zoals deze

(afbeelding rechts), vereenvoudigt het verwisselen verder.

Op een plank heb je de ruimte en die benut je dan ook. Het is relatief eenvoudig om bekabeling die elkaar kan beïnvloeden, bij elkaar uit de buurt te houden. Afscherming is op een plank wél een uitdaging. De matige afscherming van de draden van de gloeidraadspanning (we hebben ze uiteraard wel getwist) kan een van de oorzaken van de brom geweest zijn, hoewel ik de brom door het bewegen van die draden niet kon beïnvloeden.



6.3 Bouwroutine

12 april was onze eerste bouwdag in Hoogstraten. Er zouden er nog twee volgen. Die eerste dag kregen we de voeding af en hebben we de buizen en enkele andere componenten gemonteerd. In de week daarna bouwde Robert-Jan het eerste kanaal af, waarna ik hem de twee weken daarop bij mij thuis na-aapte. Bij de tweede bouwdag hadden we een eerste versie die met twee kanalen speelde. En dat klonk veelbelovend!

Ik had al verschillende versterkers gebouwd, maar had ervaring met het bouwen op een plank noch met bouwen van punt tot punt. Ik mat alle componenten door voordat we ze monteerden. Aan matching hebben we niet gedaan. Alle pootjes werden licht geschuurd voor optimaal soldeercontact en na plaatsing maar zoveel mogelijk vóór het solderen afgeknipt (minder kans op haarscheurtjes). Na montage werd de plaatsing en polariteit van de onderdelen ter controle rustig nagelopen.



We werkten hard, hebben regelmatig naar het tussenresultaat geluisterd en ik heb vooral heel veel geleerd. Het was ook buitengewoon gezellig natuurlijk. Het grappige van punt naar punt is dat je het hele onderdeel, inclusief de volle lengte van de pootjes, leert benutten. Waar je erg op moet letten is het bijtijds strategisch aanbrengen van krimpkous. Bij kruisende draden moet je extra oppassen en ik laat té gemakkelijk hoogspanningsdraden blank liggen. Voordat je iets wijzigt, trek je de stekker eruit, maar toch, een routinefoutje is snel gemaakt. Voor de slotdag bracht ik veiligheidshalve nog wat extra afscherming aan in de vorm van een stuk plexiglas en een smeerkaasbakje;

leeg, dat dan weer wel. Je weet het niet met al die grijpgrage handjes in Hichtum....

6.4 Hulpmiddelen



Voor punt naar punt is het benodigde gereedschap beperkt. Goede tangen in verschillende vormen en maten, niet te groot, zijn een voorwaarde, evenals striptangen, vooral die waarbij weinig ruimte nodig is op de draad die je wil strippen. Goede krimptangen zijn handig, specifiek voor de verschillende aansluitingen die je gebruikt. Verder uiteraard een niet te zwakke soldeerbout en litze. Aan een desoldeerapparaat heb je weinig tot niets. Derde (en vierde en vijfde...) handjes helpen enorm, je voorkomt daarmee ook later onvindbare haarscheurtjes in je soldeerwerk. Een goed uitgeruste en praktisch ingerichte werkplaats komt bij elke vorm van elektronica-bouw goed van pas. En dat

gaat in Wageningen elk jaar een stapje vooruit:



6.5 Afregelen

Het afregelen is, volgens de theorie van Menno, een kwestie van het minimaliseren van de tweede harmonische bij 1 kHz en daarna bij 40 Hz.

Bij 1 kHz voor de fijnafstelling van de versterkingsfactor van de triode oftewel fasedraaier. Die versterkingsfactor zou exact 1 moeten zijn voor een optimale weergave maar deze AC-balans wordt ook beïnvloed door de twee pentodes en andere onderdelen in het circuit.

Bij 40 Hz voor de instelling van de "Menno's"; het balanceren van de DC-ruststromen van de twee pentodes in push pull (per kanaal dus).

Door fijnafstelling met behulp van een meting van harmonische vervorming aan de uitgang, neem je alle invloeden mee voor een optimaal eindresultaat.

6.6 Uitdagingen

Maar weer weinig opgeblazen dit seizoen, afgezien van een kleine diodebrand in een van de "Menno's". Ik heb blijkbaar verdrongen wat ik op de weg daarnaartoe verkeerd deed.....

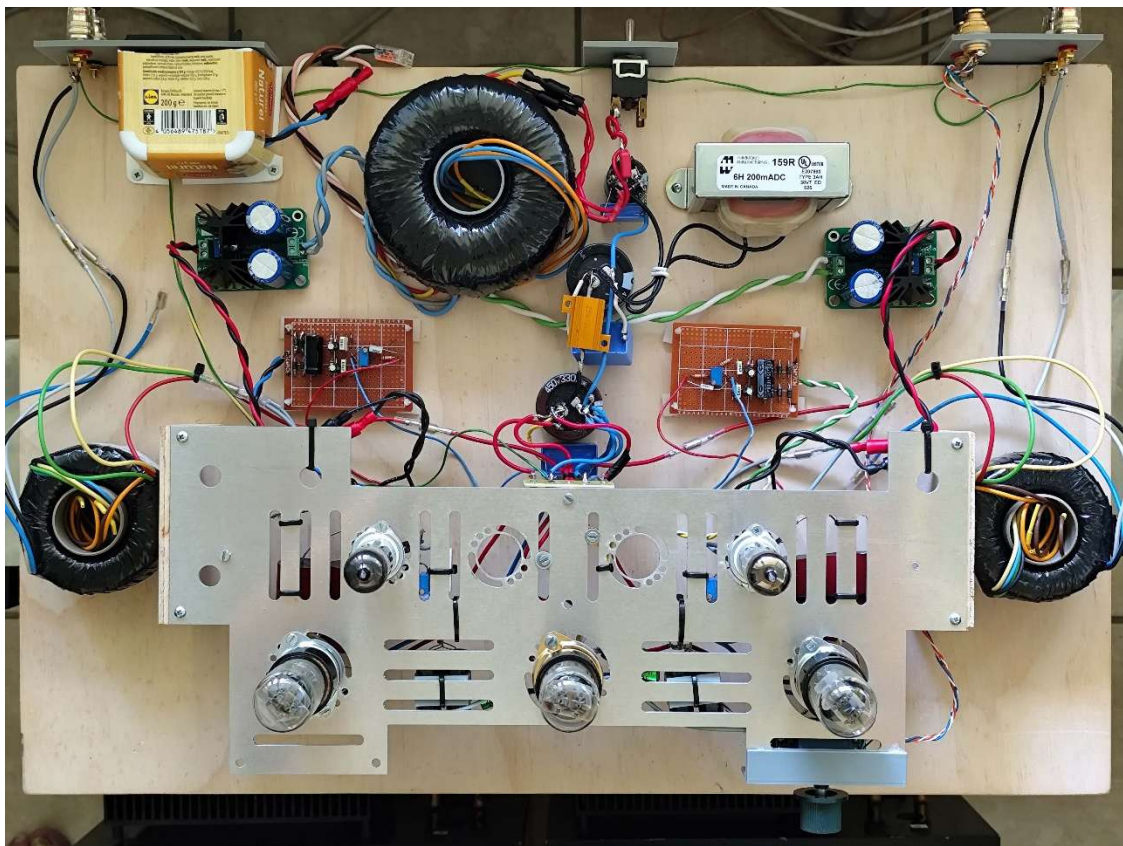
Mijn Arta kastje wil nog steeds niet deugen, het blijkt te gaan om een speld in een hooiberg. Gelukkig konden we de versterker meten en afregelen in Hoogstraten.

Bij een voorgenomen meting in Hichtum, hoorden medestudenten een oscillatie in versterker, in de buurt van een van de uitgangstransformatoren. Het bleek te gaan om zo'n 10 kHz, middenin het audiospectrum dus. Onverrichterzake -metingen hadden met deze complicatie immers geen zin en met de staart tussen de benen nam ik de plank mee terug naar huis met als eerste prioriteit het oplossen van de oscillatie. Van oplossen kwam het echter niet. De oscillatie was eenvoudigweg verdwenen en is ook nooit meer teruggekeerd, zelfs niet in het raadselachtige Hichtum. En dat ligt niet aan het feit dat ik die oscillatie zonder hulpmiddelen zelf helemaal niet kon horen.

De wegen van Versterkers zijn ondoorgrondelijk; de soort verkeert in goed gezelschap.

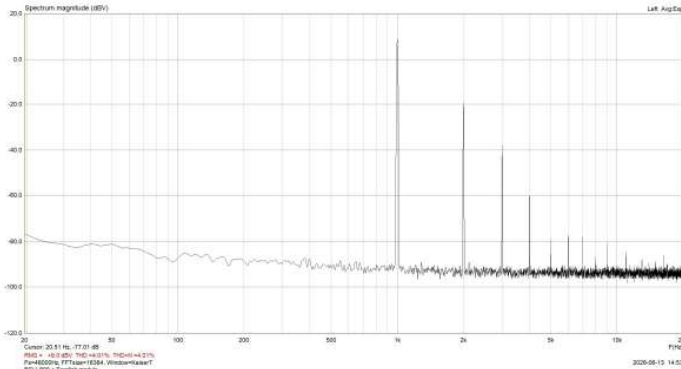
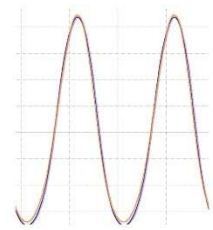
7 Resultaat

7.1 Kijken



7.2 Meten

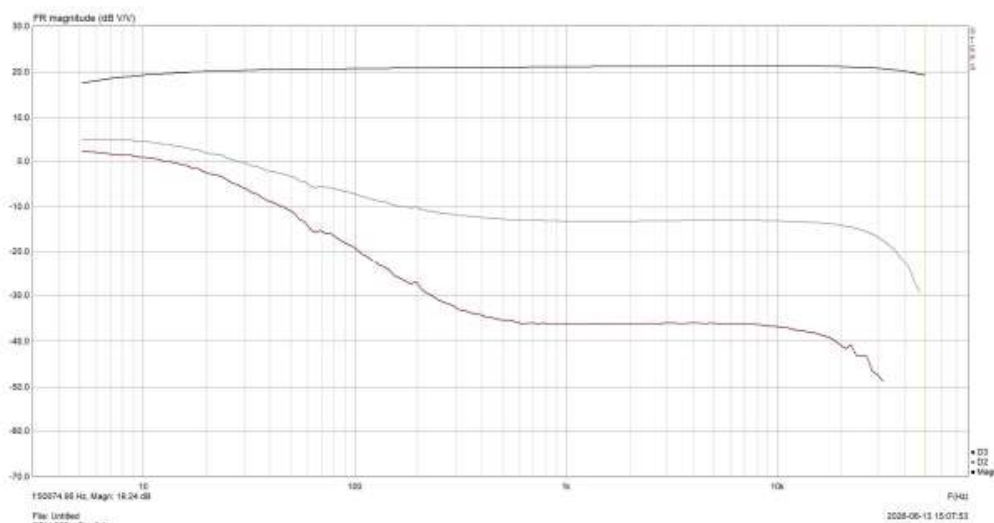
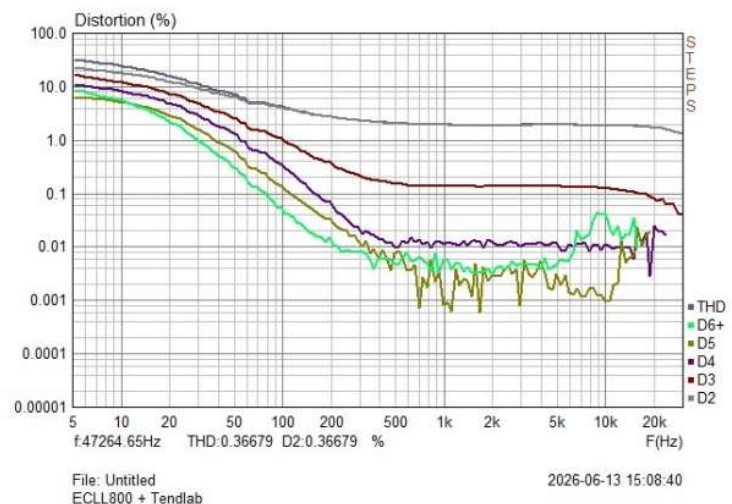
Het uitgangsvermogen bedraagt 4,15 Watt per kanaal. Dat had met de ECLL800 in theorie wat meer mogen zijn (8 tot 9 Watt). De frequentiecurve is mooi vlak, begint bij 15 Hz en loopt ver door tot zo'n 63 kHz. Ook zijn de twee kanalen (na een wisseling van buizen) zeer vergelijkbaar, echter nog niet symmetrisch. Dit ziet er aardig goed uit, al zegt dit nog niet zoveel over de uiteindelijke geluidskwaliteit.



De totale harmonische vervorming is een ander verhaal. Die ligt rond de 4 %. Dat is voor de ECLL800 zeer gebruikelijk, zelfs beter dan gemiddeld zoals te zien in de datasheet, maar voor een kwaliteitsversterker mijns inziens aan de hoge kant. We zijn bereid op dit vlak erg veel te accepteren van buizen maar deze waarde wordt misschien toch wel een beetje gortig. Uiteindelijk hangt het

klankmatige effect van de THD echter vooral af van de verhouding tussen de verschillende harmonischen en de verdeling over het frequentiebereik. Bovendien telt voornamelijk het luisteren en niet zozeer het cijfertje.

Met het afregelen (de trimpotjes op de fasedraaier en de "Menno's") kregen we de THD niet substantieel naar beneden en verschoven ook de verhoudingen tussen de harmonischen slechts beperkt. De tweede harmonische werd ook niet lager dan de derde. Het afregelen had lang niet zo'n duidelijk effect als bij de eerder gebouwde HiBu; daar kon de tweede harmonische bij zowel 40 als 1k Hz een échte duik nemen, óók ten opzichte van de derde.



6Hz-63kHz

7.3 Luisteren

Ondanks de hoge THD, klinkt deze versterker gewoon goed. Instrumenten worden mooi in de ruimte afgebeeld en hebben hun vaste plaats. Het geluidsbeeld is breed en diep. De bas gaat diep door en is voor een buizenversterker behoorlijk strak. Timbres van verschillende muziekinstrumenten zijn heel goed van elkaar te onderscheiden, misschien wel de grootste kwaliteit.

Sommige stemmen hebben nog wel iets teveel scherpte. In overleg met Al hebben we de avond voor de slotdag (een ernstige overtreding van meerdere Menno-regels) al zwetend nog twee aanpassingen gedaan:

1. ontkoppelen van de kathodeweerstand van de ECLL800 en
2. deels ontkoppelen van de kathodeweerstand van de 6SN7 voorbuis.

De vermeende scherpte nam hiermee beduidend af en de versterker kwam beter in balans.



8 Slotdag

Deze versterker -om te beginnen deed hij het 😊 - scoorde bij de luistervergelijking -vergevingsgezind als mijn collega's zijn- niet eens als laatste. Én....zonder brom! Naar ons gevoel zijn er nog een aantal optimalisaties mogelijk. Dat is een kwestie van veel luisteren en in kleine stapjes aanpassingen doen.

De concurrentie was moordend, werkelijk schitterende versterkers hebben we mogen beluisteren.

En dat gelardeerd met de uitzonderlijk goede sfeer, mooie gesprekken en buitengewone gastvrijheid en verzorging door Annemieke en Menno. Wat is dit toch een bijzondere club!

9 Vervolg

Het uitproberen van de 10 kOhm uitgangstrafo's staat op de rol.

Na het vinden van de speld in de Arta zal ik de versterker opnieuw meten, inclusief de valreep-modificaties. Daaraan voorafgaand nog eens zorgvuldig afregelen.

Dan goed luisteren, wellicht finetunen op het gehoor. De buisinstellingen wil ik meten en vergelijken met de buiskarakteristieken; werken we nog wel in de optimale gebieden? Voorts opnieuw met Al in discussie over mogelijke optimalisaties. Als alles naar wens is, iets dat nog wel even kan duren, volgt het inbouwen in een kast.

10 Slotsom

Ik heb mij opnieuw enorm vermaakt, technisch maar ook op andere vlakken. Ik heb ontzettend veel geleerd, heerlijk gehobbyd en een bijzondere versterker aan mijn installatie toegevoegd. Het drietal buitengewoon gastvrije dagen in Hoogstraten zal ik nooit vergeten. Heel bijzonder wat tubegenoten belangeloos voor elkaar over hebben. Komend seizoen wordt voor mij dan ook beslist de vierde knaller, hopelijk weer niet al te letterlijk.

Bijlagen

met dank aan Robert-Jan Hoeksma

Bijlage 0

Voorbeeld van een AI prompt (de eerste voor de ontwikkeling van deze versterker)

Je bent weer de specialist in het uitdenken van de beste oplossingen voor buizenversterkers. Nu ga je alle weten van Push-Pull versterkers. Graag je advies gestaafd en gewogen voor een buizen versterker waar je gebruik gaat maken van een stel bijzondere buizen. De voortrap zal gebeuren met de E280F buis een vergelijkbare met de D3a, die we in triode stand zullen aansluiten. De eindtrap zal met de ECLL800 worden uitgevoerd. Dit is een speciale buis met twee pentodes en een triode die we gebruiken voor fasedraaiing. Geef me een advies voor de voeding, de outputtransformatoren en de instelling van de buis zodat we een mooie en zuiver klinkende versterker maken. Ik wil een versterker die open klinkt, rijk aan dynamiek en detail. Graag je advies.

Bijlage 1

We vragen AI naar de effecten van het toepassen van kathodevolgers. De toepassing van kathodevolgers heeft het in een eerder gesprek aangeraden.

Prompt: Reken door op klank de 6SN7 CF oplossing

Perfect — dit is een mooie stap, want nu gaan we niet alleen “werkt het?”, maar:

👉 hoe klinkt het precies en waarom?

We analyseren jouw gekozen oplossing:

👉 6SN7 (gain trap) → 6SN7 cathode follower → ECLL800 PP



1. Architectuur (definitief)

- 6SN7 triode 1 → lage gain ($\sim 2-3\times$)
- 6SN7 triode 2 → cathode follower
- ECLL800 triode → fasedraaier ($\mu \approx 1$)
- ECLL800 pentodes → eindtrap

👉 Belangrijk:

➡ alle “kwaliteit” wordt bepaald door de driver



2. Gain & headroom (klankbepalend)

◆ Gain

- 1e triode $\approx 2.5\times$
- CF $\approx 0.9\times$

Totaal $\approx 2.2\times$

◆ Output bij 1.5V DAC

$1.5 \times 2.2 \approx 3.3\text{VRMS}$

👉 Dat is:

- ✓ precies in het lineaire gebied
 - ✓ geen oversturing
 - ✓ geen compressie
-



3. Wat gebeurt er met vervorming?

◆ 6SN7 gain trap

- werkt bij lage swing
- lage stroom (~5–8 mA)

👉 vervorming:

➡ <0.2% (voornamelijk H2)

◆ Cathode follower

- vrijwel geen spanningsvervorming
 - alleen kleine 2e harmonische
-

👉 Resultaat driver:

➡ extreem schoon signaal



4. Interactie met ECLL800 triode

Hier zit de magie 👉

◆ Zonder CF

- hoge impedantie
 - triode vervormt meer
-

◆ Met CF

- lage impedantie ($\sim 300\text{--}500\Omega$)
 - triode wordt “gecontroleerd”
-

👉 Gevolg:

- ✓ minder vervorming
 - ✓ betere balans
 - ✓ stabiel gedrag
-

🔊 5. Eindtrap vervorming (nu anders!)

Omdat driver beter is:

◆ THD

Vermogen Zonder CF Met CF

1W	$\sim 0.3\%$	$\sim 0.2\%$
5W	$\sim 1\%$	$\sim 0.7\%$

◆ Harmonische structuur

Met CF:

- H2 blijft dominant
 - H3 daalt merkbaar
 - hogere verdwijnen
-

🎧 6. SONISCHE HANDTEKENING

Dit is het belangrijkste stuk.

◆ 6.1 Middengebied

👉 Dit wordt:

- vloeiend
- rijk
- “3D”

→ typisch 6SN7 karakter

◆ 6.2 Hoog

- zacht maar gedetailleerd
 - geen scherpte
 - geen korrel
-

◆ 6.3 Bas

- strakker dan typische buizen
 - niet overdreven
 - goed gedefinieerd
-

◆ 6.4 Dynamiek

👉 Groot verschil:

- snelle transiënten
 - geen compressie
 - goede microdynamiek
-



7. Waarom dit zo goed werkt

Je hebt nu:

◆ 1. Lage uitgangsimpedantie

→ controle over eindtrap

◆ 2. Lage gain

→ geen oversturing

◆ 3. Lineaire driver

→ eindtrap bepaalt karakter (niet driver)

8. Wat je NIET krijgt

Dit is ook belangrijk:

✗ Geen “agressieve punch”

- geen overdreven attack
 - geen transistor-achtig gedrag
-

✗ Geen “romantische overdrive”

- niet zoals 300B SE
 - meer gecontroleerd
-

9. Wat je WEL krijgt

👉 Dit is typisch high-end PP:

- transparantie
 - rust
 - ruimte
 - natuurlijkheid
 - detail zonder hardheid
-

10. Vergelijking met jouw eerdere opties

Ontwerp

Resultaat

E280F analytisch, risico op hardheid
6SN7 gain levendig maar minder controle
6SN7 + CF beste balans



11. De “sweet spot” van dit ontwerp

Je zit nu hier:

→ **PP controle + SE vloeiendheid**

Dat is zeldzaam.



EINDECONCLUSIE

👉 De 6SN7 CF oplossing is:

- ✓ technisch correct
 - ✓ optimaal voor ECLL800
 - ✓ klankmatig superieur
-

👉 En belangrijk:

→ je voorkomt alle problemen die we eerder zagen:

- oversturing
 - slechte drive
 - instabiliteit
-



Laatste stap (optioneel)

We kunnen dit nog verder perfectioneren:

👉 exacte waarden optimaliseren voor:

- minimale vervorming
- maximale dynamiek

of

👉 componentkeuze (weerstand/condensatoren) → klank tuning

Dat is echt de laatste 5% 🔥

Bijlage 2

We vragen AI naar zijn oordeel over de eerste metingen

Prompt: Ik heb een eerste meting gedaan met waveform door de output bij 1kHz te meten en Arta frequentiebereik etc. Wil je de meting eens bekijken en analyseren? Ik wil graag je conclusie.

Heel interessant — dit is een **zeer bruikbare eerste meting** en je zit al verrassend dicht bij een goed werkende versterker. Ik ga je meting scherp analyseren en meteen vertalen naar oorzaken en acties.

1. 1kHz waveform / clipping (jouw opmerking)

“naar boven headroom, naar beneden niet → clipping vroeg”

 Dit is de belangrijkste observatie van alles

Diagnose

 asymmetrische clipping

Dat betekent:

- één helft van push-pull werkt anders dan de andere
- bias / werkpunt is niet gecentreerd

Waarschijnlijke oorzaak (in jouw ontwerp)

 combinatie van:

1. te hoge B+ (zoals we zagen ~280V)
2. triode ECLL800 werkpunt te laag (Ua ~64V)
3. gedeelde kathode → versterkt asymmetrie

Wat je hoort

- minder laag

- minder “body”
 - compressie bij dynamiek
-



2. Frequentierespons

30Hz – 63kHz

● Goed nieuws

- bereik is **zeer goed**
 - geen duidelijke roll-off in midden/hoog
 - bandbreedte is ruim voldoende
-

● Maar...

Onder ~50–80 Hz zie je:

- lichte opbouw / instabiliteit
 - geen strakke lijn
-

👉 Dit wijst op:

➡ **outputtrafo + werkpunt + tegenfase balans**



3. Spectrum (harmonischen)

(pagina 2)

◆ Wat zie je

- duidelijke 2e harmonische
 - daarna aflopende reeks
-

Dit is goed

 typisch buizenkarakter

Maar

- harmonischen zijn relatief hoog
 - ruisvloer iets verhoogd
-

 wijst op:

 niet optimaal werkpunt (weer B+)

4. Burst decay (pagina 3)

Observatie

- lage frequenties hebben “staarten”
 - energie blijft hangen
-

Interpretatie

 dit is belangrijk:

 laag is niet strak gedempt

Mogelijke oorzaken:

1. voeding (nog niet stabiel genoeg)
 2. PP balans niet goed
 3. outputtrafo gedrag
-

 past PERFECT bij jouw luisterindruk:

“wel bas maar niet wat ik verwacht”



5. Vervorming (pagina 4)

◆ THD gedrag

- hoog bij lage frequenties ($>1-10\%$)
 - daalt naar $\sim 0.01-0.1\%$ middengebied
 - stijgt weer bovenin
-

👉 klassiek patroon, maar:



Probleemgebied

< 100 Hz:



vervorming te hoog



Dit is de kern

👉 jouw probleem zit in:



laagfrequent gedrag + bias + voeding



6. SAMENVATTENDE DIAGNOSE



Wat is GOED

- ✓ bandbreedte (top!)
- ✓ middengebied schoon

- ✓ driver (6SN7) werkt goed
 - ✓ PP principe werkt
-

Wat is NIET goed

1. Asymmetrische clipping

→ bias / werkpunt fout

2. Te hoge B+

→ alles verschuift

3. Slechte laagcontrole

→ PP balans + voeding + OT interactie

7. ROOT CAUSE (belangrijkste conclusie)

👉 Alles wijst naar één centrale oorzaak:

Werkpunt van de eindtrap klopt nog niet

en dat komt door:

➡ te hoge voedingsspanning + verschoven triodepunt

8. CONCRETE ACTIES (in volgorde!)

1. B+ omlaag naar ~250V

Dit is cruciaal

2. Daarna opnieuw meten

- waveform
 - THD
 - frequentie
-

3. Dan pas beoordelen

9. Wat gaat er gebeuren na fix?

Je zult zien:

- symmetrische clipping
 - THD laag ↓
 - laag strakker
 - meer outputvermogen
 - betere balans
-

EINDECONCLUSIE

 Je meting laat zien:

 ontwerp werkt fundamenteel goed

MAAR:

 werkpunt staat verkeerd → daardoor klinkt het nog niet goed

Belangrijk

Dit is GEEN slecht resultaat — integendeel:

 je zit al in de fase van **fine tuning**

Als volgende stap

Als je straks:

- beide kanalen hebt
- B+ hebt gecorrigeerd

👉 doe dezelfde meting opnieuw

Dan kunnen we:

➡ hem echt naar **high-end niveau trekken** (vervorming + klank optimaliseren)

Bijlage 3

We vragen AI naar meer onderbouwing van het effect van hogere harmonischen

Prompt: In de bijlage de laatste schema's. Let op de RK van de ECLL800 is volledig ontkoppeld. Met 2H bedoelde ik geen choke maar 2de harmonische. Kan je meer uitleg geven over je passage over 3de en 5de harmonische? Graag zou ik dit wat meer onderbouwd zien en waar je die wijsheid vandaan haalt want dat is erg interessant.

Nu wordt het interessant, want nu hebben we het niet meer over schema's maar over **waarom bepaalde versterkers als "muzikaal", "vol", "scherp" of "steriel" worden ervaren.**

En ik ben blij dat je doorvraagt naar de onderbouwing, want er wordt in audioland enorm veel geroepen over harmonischen zonder dat men uitlegt waar het vandaan komt.

Eerst jouw actuele schema

Ik zie in het laatste schema dat:

- de eerste 6SN7 triode werkt met:
 - $R_a = 22k$
 - $R_k = 680\Omega$
 - géén bypass C
- de tweede 6SN7 is een cathode follower
- de ECLL800 heeft:
 - $120\Omega + 22\Omega$
 - waarbij de $220\mu F$ nu over het 120Ω deel staat

Dat verklaart uitstekend waarom Clemens direct meer body hoorde.

Waar komt die theorie van H2, H3 en H5 vandaan?

Niet uit hifi-forums.

Maar uit:

- Crowhurst
 - Norman Koren
 - Menno van der Veen
 - Ojala
 - Geddes
 - psychoakoestische studies van BBC en Bell Labs
-

H2 (2e harmonische)

Voorbeeld:

1000 Hz

→ versterker maakt erbij:

2000 Hz

Ons gehoor vindt dat prettig omdat:

2:12:12:1

een octaaf is.

Muzikaal volledig consonant.

Daarom ervaren we H2 als:

- warmte
 - body
 - rijkdom
 - "gloed"
-

Een beetje H2:

0,2% tot 2%

wordt vaak als aangenaam ervaren.

H3 (3e harmonische)

1000 Hz

→ 3000 Hz

Verhouding:

3:13:13:1

Dat is geen octaaf.

Het ligt dichterbij een kwint, maar niet exact.

Ons gehoor ervaart dit als:

- articulatie
- focus
- presence

Maar teveel H3:

- scherp
 - wit
 - mechanisch
-

Bij stemmen:

H3 geeft vaak het effect van:

"de zanger stapt naar voren"

maar teveel:

"de zanger schreeuwt"

H5 (5e harmonische)

1000 Hz

→ 5000 Hz

Nu komen we in een gebied waar het oor extreem gevoelig wordt.

H5 wordt ervaren als:

- hardheid
 - glans
 - scherpte
-

Niet per se veel energie.

Maar het oor detecteert het onmiddellijk.

Waarom klinkt Patricia Barber goed?

Omdat haar opnames vaak:

- weinig compressie
- weinig agressieve mastering
- veel natuurlijke H2 van de opnameketen

bevatten.

Dus zelfs als jouw versterker wat H3 produceert:

wordt dat gemaskeerd.

Waarom kan Bocelli scherper klinken?

Veel moderne klassieke crossover-opnames bevatten:

- digitale compressie
 - presence boost rond 2-5 kHz
 - veel galmenergie
-

Dan telt de versterker-H3 op bij de opname-H3.

En dan krijg je:

"het wordt net teveel"

Waarom denk ik niet direct aan meer H2?

Omdat jullie juist geschreven hebben:

Patricia Barber is prachtig.

Dat is een enorme aanwijzing.

Als H2 echt te laag was:

zou Patricia ook mager klinken.

Maar dat doet ze niet.

Dus ik vermoed eerder:

niet te weinig H2

maar

iets teveel H3/H5.

Waar kan die H3 vandaan komen?

In jouw ontwerp zie ik drie kandidaten.

1. De eerste 6SN7

Deze draait verrassend lineair.

$R_a = 22k$

$R_k = 680\Omega$

geen bypass.

Dat produceert weinig H2.

Dat is op zich mooi.

Maar soms bijna té schoon.

2. De ECLL800 triode

Dit is de interessante.

Deze triode werkt niet lineair zoals een normale ECC83.

De karakteristiek is vreemd.

En als de anodeweerstand niet exact optimaal is, stijgt H3 sneller dan H2.

3. Menno-netwerk

Dit is nog steeds een verdachte.

Niet omdat het H3 maakt.

Maar omdat faseverschuiving rond 10-50 kHz ons oor soms interpreteert als scherpte.

Hoe zou ik experimenteren?

Niet meteen met een $22\mu\text{F}$ over de hele 680Ω .

Dat is te grof.

Ik zou eerder proberen:

680Ω

parallel

$100\Omega + 22\mu\text{F}$

Dan krijg je:

- iets meer H2
 - nauwelijks meer gain
 - veel subtieler
-

Wat ik eigenlijk het liefst zou meten

Niet de frequentierespons.

Die ken ik al.

Maar een FFT van:

- 1 kHz
- 1W uitgangsvermogen

Dan zien we direct:

- H2
 - H3
 - H5
-

En dan kunnen we objectief zien:

of Bocelli scherp klinkt omdat:

- H3 hoog is
 - H5 hoog is
 - of iets anders.
-

Mijn gevoel op basis van jullie beschrijvingen?

Niet te weinig H2.

Maar een klein overschot aan H3 in combinatie met bepaalde moderne opnames.

Dat zou ook verklaren waarom:

- Patricia Barber geweldig klinkt
- José James geweldig klinkt
- Bocelli soms randjes heeft

Dat patroon zie ik vaker bij versterkers die technisch heel netjes zijn afgeregeld, maar net een klein beetje "vergevingsgezindheid" missen.

Bijlage 4

Voorbeeld van een advies van AI in de laatste fase van de fijnafstemming

Prompt: In de bijlage de meting die gemaakt is voordat de bypass is aangepast. Van de huidige situatie heb ik geen meting.

Dit is een heel waardevolle meting, juist omdat hij gemaakt is **vóór** de laatste wijziging met de kathode-ontkoppeling. Daardoor kunnen we nu theorie en luisterindruk naast elkaar leggen.

1. Wat ik zie in de FFT

Op pagina 2 zie je duidelijk:

- 1 kHz fundamenteel
- 2 kHz (H2)
- 3 kHz (H3)
- 4 kHz (H4)
- 5 kHz (H5)

Wat mij opvalt:

- H2 zit rond -20 dB
- H3 rond -40 dB
- H4 rond -50 dB
- H5 rond -60 dB

Dat is eigenlijk een vrij klassieke buizenverdeling.

Dus mijn eerdere vermoeden van "veel te veel H3" wordt door deze meting niet bevestigd.

Integendeel.

De harmonische ladder valt netjes af.

2. Wat de meting wél laat zien

De belangrijkste aanwijzing staat eigenlijk op pagina 4.

Daar zie je dat:

- D2 domineert
- D3 ligt duidelijk lager
- D4 en D5 nog veel lager

Dat betekent:

👉 de versterker heeft een overwegend **2e harmonische karakteristiek**.

En dat past veel beter bij:

Patricia Barber klinkt geweldig

dan bij een versterker met veel H3.

3. Dus waarom klinkt Bocelli soms scherp?

Hier wordt het interessant.

Ik denk dat de verklaring ergens anders zit.

Kijk naar de frequentierespons

15 Hz – 63 kHz

Dat is uitzonderlijk breed.

Voor een kleine PP buizenversterker zelfs verrassend breed.

Wat betekent dat?

De versterker:

- maskeert weinig
 - laat veel opname-informatie door
-

Dat klinkt prachtig op:

- Patricia Barber
 - José James
 - Jef Neve
-

Maar minder vergevingsgezind op:

- Bocelli
- moderne digitale opnames
- opnames met presence-boost

4. Waarom de laatste wijziging zo logisch klinkt

Jullie hebben nu de kathode-ontkoppeling veranderd.

In feite hebben jullie:

- meer open-loop gain gekregen
- meer H2 toegestaan
- minder kathodedegeneratie

En wat gebeurde er?

Piano heeft meer body

Stem heeft meer gewicht

Dat is exact wat ik verwacht zou hebben.

5. Wat ik nu denk

Ik denk niet dat jullie probleem primair H3 of H5 was.

Na het zien van deze meting zou ik mijn eerdere hypothese aanpassen.

Mijn huidige hypothese is:

👉 vóór de wijziging was de versterker gewoon iets te "schoon".

Niet scherp.

Niet hard.

Maar net iets te gecontroleerd.

Daardoor miste je harmonische dichtheid.

6. De opmerking over Bocelli

Nu wordt het speculatiever.

Omdat die meting van de huidige toestand ontbreekt.

Maar ik vermoed dat de lichte scherpte die je nu nog hoort eerder komt van:

kandidaat 1

Menno-netwerk iets te agressief afgeregeld.

Jullie hebben hem ingesteld op:

laagste THD @ 40 Hz

Dat is technisch correct.

Maar laagste THD is niet altijd de mooiste klank.

Dat heb ik vaker gezien.

kandidaat 2

6SN7 eerste trap is nog steeds volledig onge-bypassed.

Dat betekent:

- extreem lineair
 - weinig H2
-

kandidaat 3

De ECLL800 heeft inmiddels meer H2 gekregen.

Maar de 6SN7 niet.

Daardoor krijg je een interessante mix:

- eindtrap voller
 - ingangstrap nog steeds analytisch
-

7. Wat zou ik nu doen?

Niet meteen de Menno-netwerkjes.

Niet meteen voeding.

Niet meteen B+.

Ik zou eerst een experiment doen met de eerste 6SN7.

Niet volledig bypassen.

Maar:

680Ω

parallel

$100\Omega + 22\mu\text{F}$

Dat is een zeer milde gedeeltelijke bypass.

Waarom?

Omdat je dan:

- een beetje H2 toevoegt
 - nauwelijks meer gain krijgt
 - de lineariteit grotendeels behoudt
-

8. Wat ik uit de meting vooral meeneem

De grootste verrassing voor mij is eigenlijk dit:

De FFT laat geen versterker zien die "scherp" zou moeten klinken.

Integendeel.

De harmonische structuur is behoorlijk gezond en klassiek buisachtig.

Daardoor denk ik dat jullie nu niet meer bezig zijn met het oplossen van een fout.

Jullie zijn bezig met **voicing**.

En dat is een heel andere fase.

Mijn voorlopige conclusie:

1. De wijziging aan de kathode van de ECLL800 was waarschijnlijk de juiste richting.
2. De oude meting laat geen problematische H3/H5-structuur zien.
3. De lichte scherpte die nog resteert zoek ik eerder in:
 - de zeer lineaire eerste 6SN7,
 - of de afregeling van de Menno-netwerkjes,
 - dan in de eindtrap zelf.

- Ik zou vóór alle andere experimenten de gedeeltelijke bypass op de eerste 6SN7 proberen. Dat is de kleinste ingreep met de grootste kans op precies het effect dat jullie beschrijven: nét wat meer vlees, zonder verlies van ruimte en detail.

Vervolg prompt:

Begrijp ik het goed dat als je meer H3 hebt dan H2 de zanger naar voren stapt?

Ja, maar met een belangrijke nuance.

De uitspraak:

"meer H3 dan H2 en de zanger stapt naar voren"

is een vereenvoudiging van wat er psychoakoestisch gebeurt.

Wat doet H2?

Neem een stem op 500 Hz.

H2 produceert:

$$2 \times 500 = 1000 \text{ Hz} \quad 2 \times 500 = 1000 \text{ Hz} \quad 2 \times 500 = 1000 \text{ Hz}$$

Dat is exact een octaaf.

Ons gehoor ervaart dat als:

- warmte
- grootte
- body
- rijkdom

De stem wordt niet noodzakelijk luider.

Ze wordt groter.

Alsof de zanger in een grotere ruimte staat.

Wat doet H3?

Diezelfde 500 Hz geeft:

$$3 \times 500 = 1500 \text{ Hz} \quad 3 \times 500 = 1500 \text{ Hz} \quad 3 \times 500 = 1500 \text{ Hz}$$

Dat ligt precies in het gebied waar het menselijk oor extreem gevoelig is.

H3 geeft:

- articulatie
- focus
- presence
- verstaanbaarheid

De stem wordt niet groter.

Maar wel duidelijker.

Daarom krijg je vaak de indruk:

de zanger komt naar voren

terwijl de SPL helemaal niet stijgt.

Een praktisch voorbeeld

Stel:

Versterker A

- $H_2 = 1\%$
- $H_3 = 0.1\%$

Dan hoor je:

- warme stem
- veel lichaam
- iets verder achter het luidsprekervlak

Vaak omschreven als:

"muzikaal"

Versterker B

- $H_2 = 0.2\%$
- $H_3 = 0.5\%$

Dan hoor je:

- meer focus
- meer articulatie
- stem komt dichterbij

Vaak omschreven als:

"live"

of

"direct"

Wanneer wordt het vervelend?

Wanneer H3 te hoog wordt.

Dan krijg je:

- witte stemmen
- scherp
- vermoeidheid

Het bekende:

"hij staat in mijn gezicht te zingen"

Interessant voor jullie versterker

Jullie beschrijving:

Patricia Barber prachtig

maar

Bocelli soms wat scherp

past eigenlijk niet bij een versterker met extreem veel H3.

Want dan zou Patricia ook hinderlijk worden.

Wat ik eerder vermoed is:

- voldoende H2
- bescheiden H3

- zeer brede bandbreedte
- weinig maskering

waardoor slechte opnames sneller door de mand vallen.

Dat zie ik ook terug in jullie FFT. H2 is dominant, H3 ligt aanzienlijk lager.

Een andere interessante observatie

De verhouding H2/H3 is vaak belangrijker dan de absolute waarde.

Bijvoorbeeld:

H2	H3	Klank
1%	0.1%	warm
1%	0.5%	levendig
1%	1%	direct
0.2%	1%	hard

Daarom klinkt een triode vaak anders dan een pentode.

Een triode produceert meestal relatief veel H2.

Een pentode relatief meer H3.

En nu wordt het leuk:

Door de ECLL800 kathode verder te ontkoppelen hebben jullie waarschijnlijk juist:

- H2 laten stijgen
- de verhouding H2/H3 verbeterd

Dat zou perfect verklaren waarom Clemens onmiddellijk zei:

"de piano heeft nu body"

Dat is een klassieke beschrijving van een toename van de tweede harmonische, niet van een afname van de derde.