

Push-Pull tube amplifier met EL82

Eindverslag Frans Rots

Tubesociety 2025-2026

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave

Introductie.....	3
Trappen.....	4
Voorversterker.....	4
Fasedraaier.....	5
Tubebooster.....	6
Eindtrap.....	7
Ontwerp van het speaker driver gedeelte.....	7
Ontwerp van kathode circuit.....	8
Ontwerp van de biasstabilisator.....	9
Koppeling van de bias stabilisator aan de buis.....	10
Conclusie.....	11

Introductie

Het doel was om zoveel mogelijk zelf te ontwerpen.

Een aantal zaken waren op voorhand al bepaald:

- Door de voedingstrafo waren gelijkspanningen van 30, 45 en 300V mogelijk
- Door een eerdere aankoop uit een erfenis had ik EL82 buizen
- De eindtrafo was voorgedefinieerd

Een keuze die ik maakte is in het geheel geen tegenkoppeling te gebruiken

Mijn ontwerp van de versterker is opgebouwd uit de volgende trappen:

- Voorversterker
 - Deze heeft als taak een hoge ingangsimpedantie te maken en het signaal ver boven het ruisniveau te tillen. Daarnaast maakt hij de fasedraaier onafhankelijk van de bron karakteristieken
- Fasedraaier
 - In een push pull versterker heb je een geïnverteerd signaal nodig dat precies even sterk is
- Tube booster
 - Het signaal dat de buis nodig heeft is groot. Deze trap zorgt ervoor dat de fasedraaier nauwelijks belast wordt en onafhankelijk van de eindtrap en dat de fasedraaier een kleiner signaal moet bewerken (wat vervorming beperkt)
- Eindtrap
 - Het uitgangs circuit van de EL82 betreffende anode, screen en trafo is rechtstreeks gekopieerd van een ontwerp van Menno van der Veen. Het gate en kathode circuit heb ik zelf ontworpen. Daar zit ook een autobias in om de stromen van de push en de pull tube gelijk te houden. Dit om vervorming door verzadiging in de eindtrafo te voorkomen.

Op diverse plaatsen in dit verslag zijn berekeningen niet precies. Ze zijn binnen 10% correct. Door afronding wordt het wat inzichtelijker en gegeven de marges in de componenten is absolute correctheid toch een illusie.

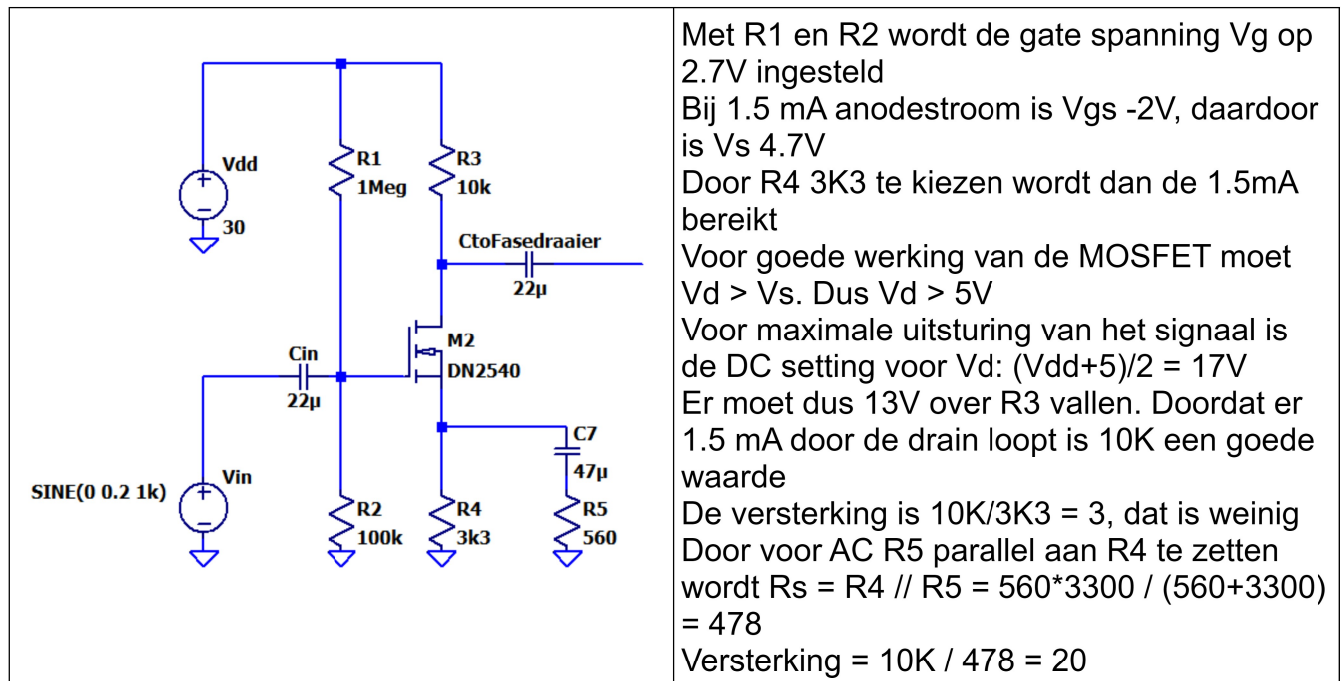
Trappen

Voorversterker

Ik heb de keuze gemaakt voor de depletion mode MOSFET DN2540. Deze heeft een aantal fijne eigenschappen:

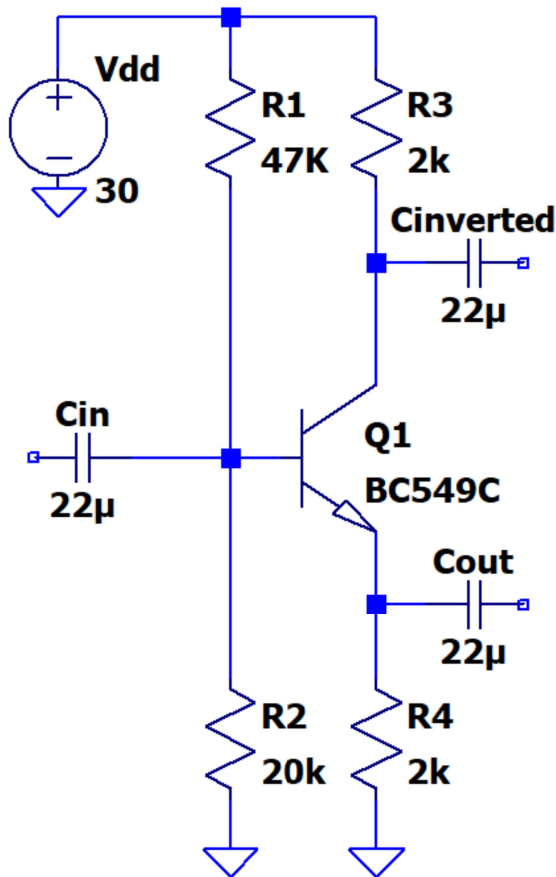
- Kan tegen hoge spanningen: V_{ds} kan meer dan 300V hebben
- V_t voor V_{gs} is -2.5 (+/- 1)
- Grote onafhankelijkheid van de stroom van V_{ds}

Het schema voor de voorversterker:



Fasedraaier

Het schema voor de fasedraaier is als volgt±



Essentieel is dat de stroom door R3(Ic) en R4(Ie) gelijk zijn en dat het signaal niet de transistor in een niet lineair gebied duwt. Met $V_{dd} = 30V$ heb ik gekozen voor $V_c = 20V$ en $V_e = 10V$, dus $V_{ce} = 10V$. Met een signaal met topwaarde 3V wordt V_{ce} $10 - 6 = 4V$.

$I_e = I_c + I_b$. Om I_c zo gelijk mogelijk aan I_e te maken moet I_b zo klein mogelijk zijn. Dit vereist een transistor met een hoge HFE. BC549C: $HFE > 500 \Rightarrow I_b \ll I_c$

DC instelling:

$$V_b = 20/67 * 30 = 9$$

$$V_e = 9 - 0.6 = 8.4$$

$$I_e = 8.4 / 2k = 4.2mA$$

$$V_c = 30 - 4.2mA * 2k = 21.6$$

AC instelling:

$$\text{Eis: } V_c > V_e + 4$$

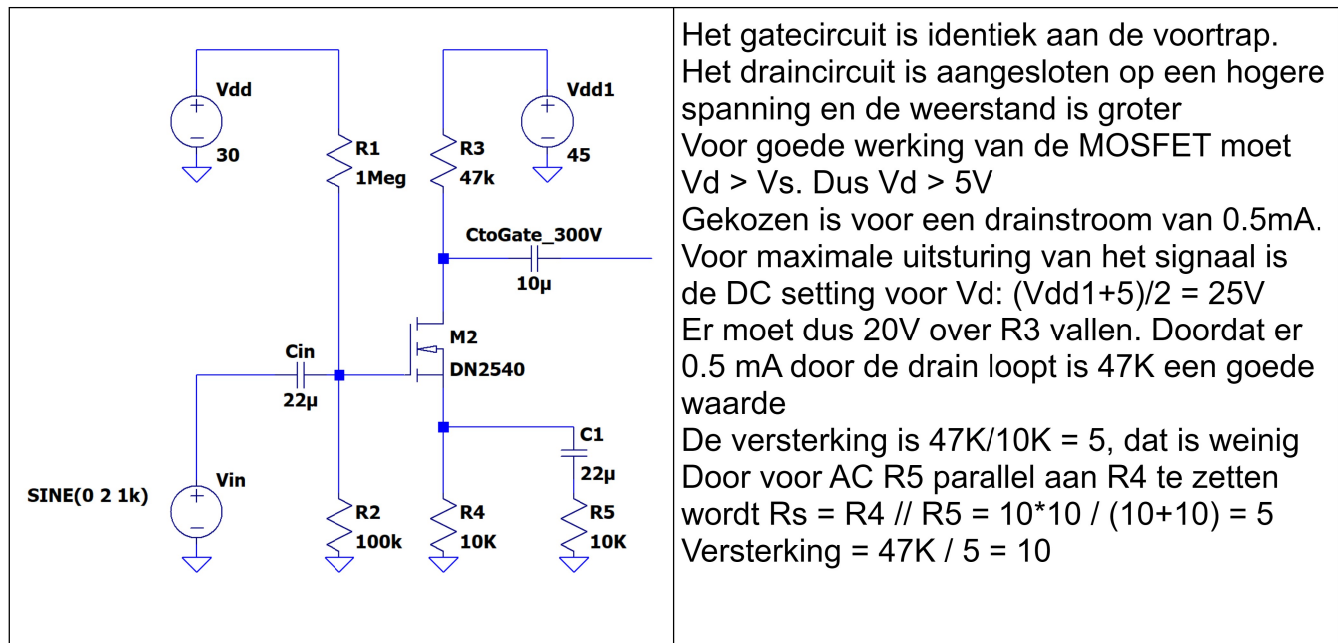
Met V_{ac_max} = maximale amplitude van signaal:

$$21.6 - V_{ac_max} > 8.4 + V_{ac_max} + 4$$

$$V_{ac_max} = 9.2 / 2 = 4.5$$

Tubebooster

De tube booster lijken veel op de voortrap, maar er zijn wat essentiële verschillen:



De gewenste maximale amplitude van het signaal dat de buis ingaat is 18V omdat daarboven gatestroom gaat ontstaan (V_{gs} wordt positief) die vanwege de hoge weerstanden aan de gate een DC verstoring oplevert.

Met een ingangssignaal heeft een maximale amplitude van 1.8V wordt deze maximale 18V bereikt.

De condensator naar de gate is een 300V exemplaar. De reden hiervoor is dat $V_{dd1} = 45V$ ook veranderd kan worden naar b.v. 300V. In dat geval kan de versterking van de eindtrap significant vergroot worden. En ook dat het AC signaal veel minder ruimte van de DC ruimte nodig heeft wat vervorming kan reduceren.

Bij 300V wordt DC setting voor V_{dd} : $(300+5)/2 = 150V$

Er moet dus 150V over R_3 vallen. Doordat er 0.5 mA door de drain loopt is 300K een goede waarde

De versterking is $300K/10K = 30$, dat al meer

Door voor AC R_5 parallel aan R_4 te zetten wordt $R_s = R_4 // R_5 = 10*10 / (10+10) = 5$

Versterking = $300K / 5 = 60$

Er kan dan met veel kleiner signaal in de voorgaande trappen gewerkt worden wat vervorming reduceert en de buis kan dan zwaar overstuurd worden.

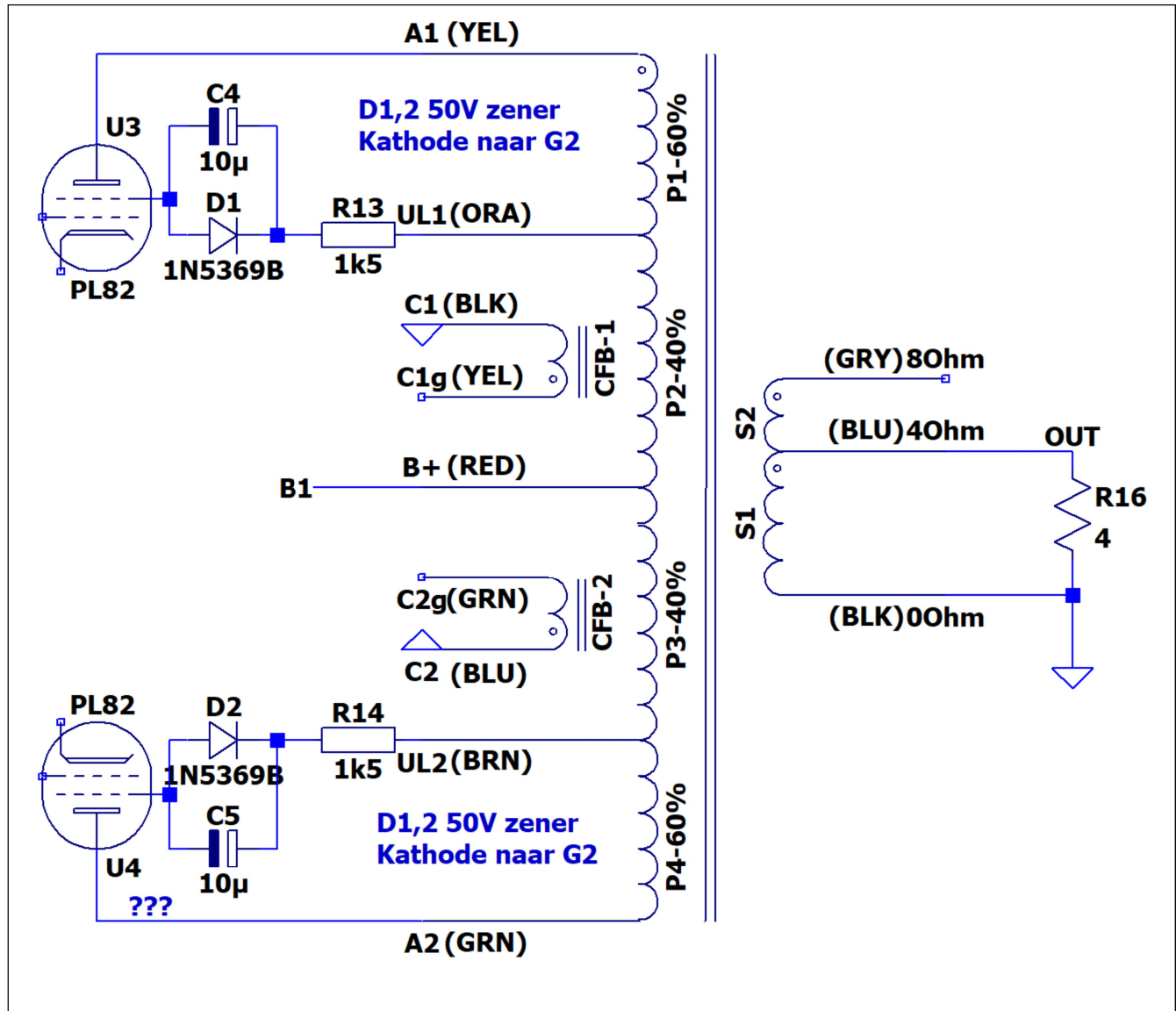
Het nadeel is hoge spanning in het aanstuur gedeelte. Voor mij was 45V genoeg.

Een eventuele optie zou zijn om de 45V op de 30V te zetten wat 75V zou opleveren

Eindtrap

Ontwerp van het speaker driver gedeelte

De eindtrap is gebaseerd op de EL82. Het ontwerp voor de anode, screen en uitgangstransformator is als volgt:



Dit is een rechtstreekse kopie van een schema wat door Menno van der Veen is gedeeld.

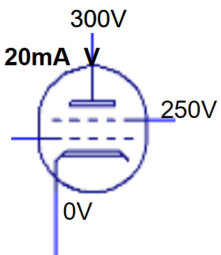
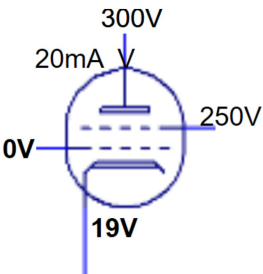
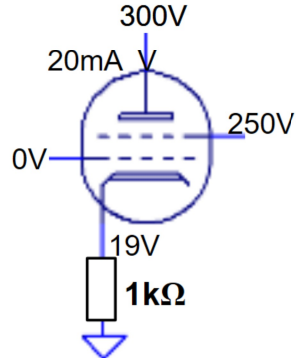
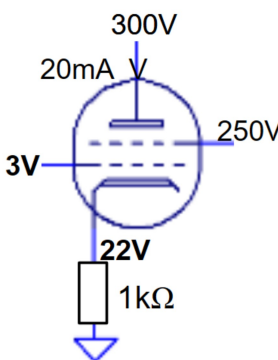
Het interessante is dat dit het enige gedeelte van de versterker is waar gevaarlijk hoge spanningen aanwezig zijn.

Ontwerp van kathode circuit

Gegeven: $V_{anode} = 300V$, $V_{screen} = 250V$

Het concept van de biasstabilisator is voor iedere buis de stroom op hetzelfde niveau in te stellen. De keuze om dit niet met een stroombron te doen is om maximale uitsturing van de buis te bereiken, ook als het systeem met grote signalen van klasse A naar klasse B gedrag overgaat

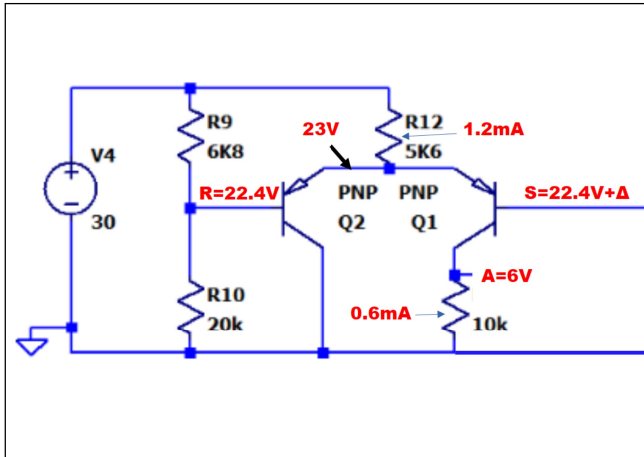
Het ontwerp moet de anode stroom (I_{anode}) instellen en een regelbereik voor de bias stabilisator (V_{gk}).

	Gevraagd: I_{anode} EL82 spec: $W_{max} = 9W$ $\Rightarrow I_{anode} = 9W/300V = 30mA$ Gekozen: $6W \Rightarrow 20mA$
	Gevraagd: V_{gk} EL82 spec: $V_{ak} = 300V$ & $I_{anode} = 20mA$ $\Rightarrow V_{gk} = -19V$
	Gevraagd: R_k $R_k = V_k / I_{anode}$ $R_k = 19V / 20mA$ $R_k \approx 1k\Omega$
	Gevraagd: Regelbereik voor bias stabilisator: V_g en V_k worden 3V omhoog gezet: V_g nominaal = 3V V_k nominaal = 22V Over de weerstand van 1K komt nog een condensator van 100u om de kathode voor AC signalen kort te sluiten

Ontwerp van de biasstabilisator

Het concept van de biasstabilisator is de kathode stroom te fixeren door de kathode spanning te fixeren door een DC tegenkoppeling.

Het schema:



Door de spanningsdeling door R9 en R10 komt er een referentiespanning R

De balansschakeling van de 2 PNP transistoren zorgt er voor dat kleine afwijkingen in spanning op punt S (sensor) een grote verschuiving van de stroom geeft tussen de ene en de andere tak (*1)

Dit heeft veel effect op de spanning op punt A (actioner) (*2)

(*1)

Binnen 0.06V verschil op V(S) verschuift bijna de hele stroom van de ene tak naar de andere

Vbe	Ic(mA)	
0.59	0.1	
0.63	0.6	
0.65	1	
0.71	10	Waarde is niet schema relevant maar geeft aan hoe gevoelig Ic is voor Vbe

(*2)

Als V(S) omlaag gaat, gaat V(A) omhoog. In getallen:

V(S)	Δ	Vbe(Q1)	Ic	V(A)
22.3	-0.1	0.73	>1.1	12
22.4	0	0.63	0.6	6
22.5	0.1	0.53	<0.1	0

De link naar de aansturing van de buis is: Als V_k te laag is moet stroom omhoog, moet V_{gk} en dus V_g omhoog

Koppeling van de bias stabilisator aan de buis

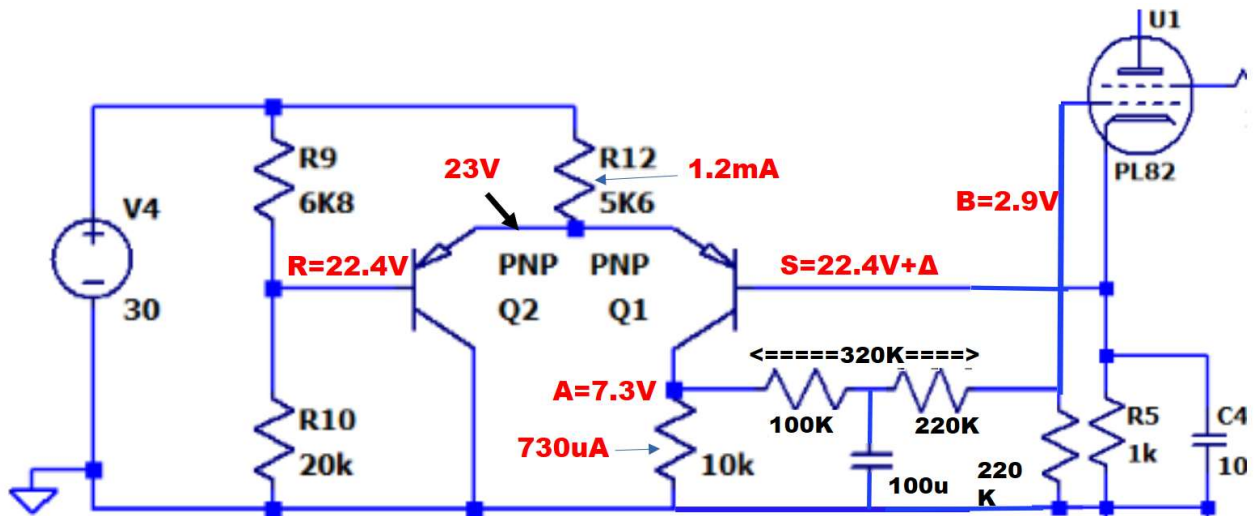
Punt S (sensor) wordt aan de kathode gekoppeld.

Punt A (actioner) wordt aan de gate gekoppeld met een AC filter.

Dit filter verzwakt de DC terugkoppeling:

$$V(B) = 220k / (100k + 220k + 220k) * V(A) = 0.4 * V(A)$$

De RC tijd van dit filter is $100K * 100u = 10s$. Dit is de reactie tijd op veranderende temperatuur of karakteristieken van de buis. De invloed op het signaal is een -3dB punt op 0.1Hz



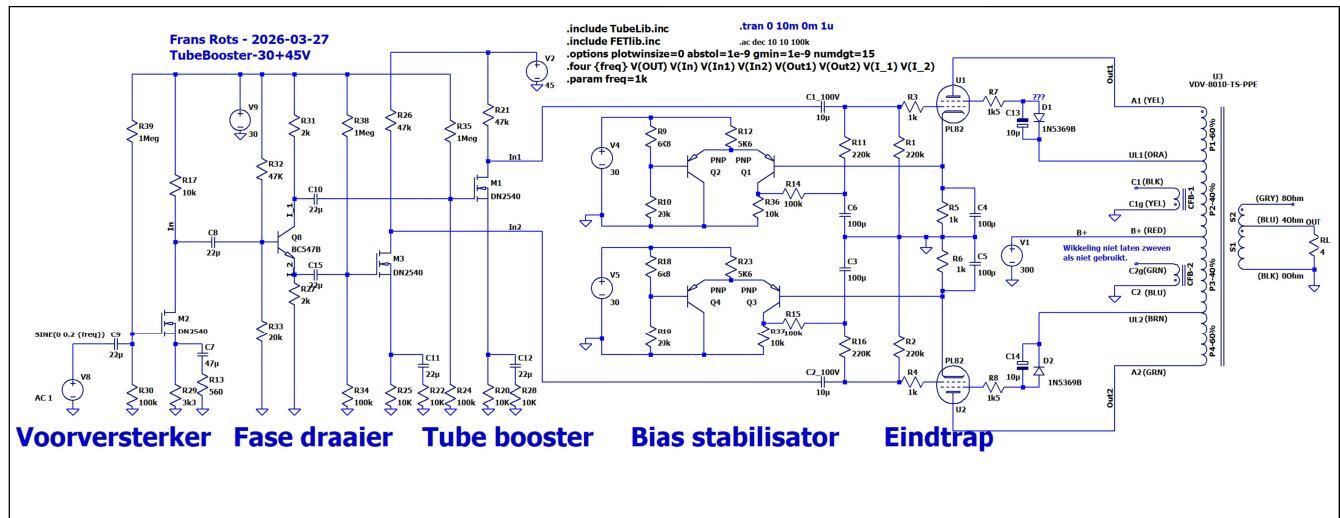
Regelbereik A: 0 – 12 V ($\Delta = 0 \Rightarrow V(A) = 6$)

Regelbereik B: 0 – 5 V ($\Delta = 0 \Rightarrow V(B) = 2.5$)

Regelbereik Vgk: 17.4 – 22.4 V

Conclusie

Het totaal ontwerp ziet er als volgt uit:



Het ontwerp werkt goed. Bij 4W uitgangsvermogen is er een totale vervorming van 1% wat bij grotere vermogens meer en bij kleinere vermogens minder wordt.

Zoals ooit een wijs man zei: vervorming is niet erg, als hij maar mooi is en dat is bij deze versterker het geval.

De biasstabilisator werkt meer dan prima. In de kathode spanningen tussen de buizen is nauwelijks variatie terwijl de correctie spanning op de gate van buis tot buis afwijkt.

Het is ook gebleken dat fysiek bouwen niet mijn sterke kant is. Diverse soldeerverbindingen braken van buisvoet of componentpootjes af. Op het moment dat draad, pootje, tin en soldeerbout bij elkaar komen zie ik het niet scherp meer. In totaal wel 15 keer een reparatie uitgevoerd, maar nu is hij stabiel en werkt naar volle tevredenheid.