

Het Vanderveen Project

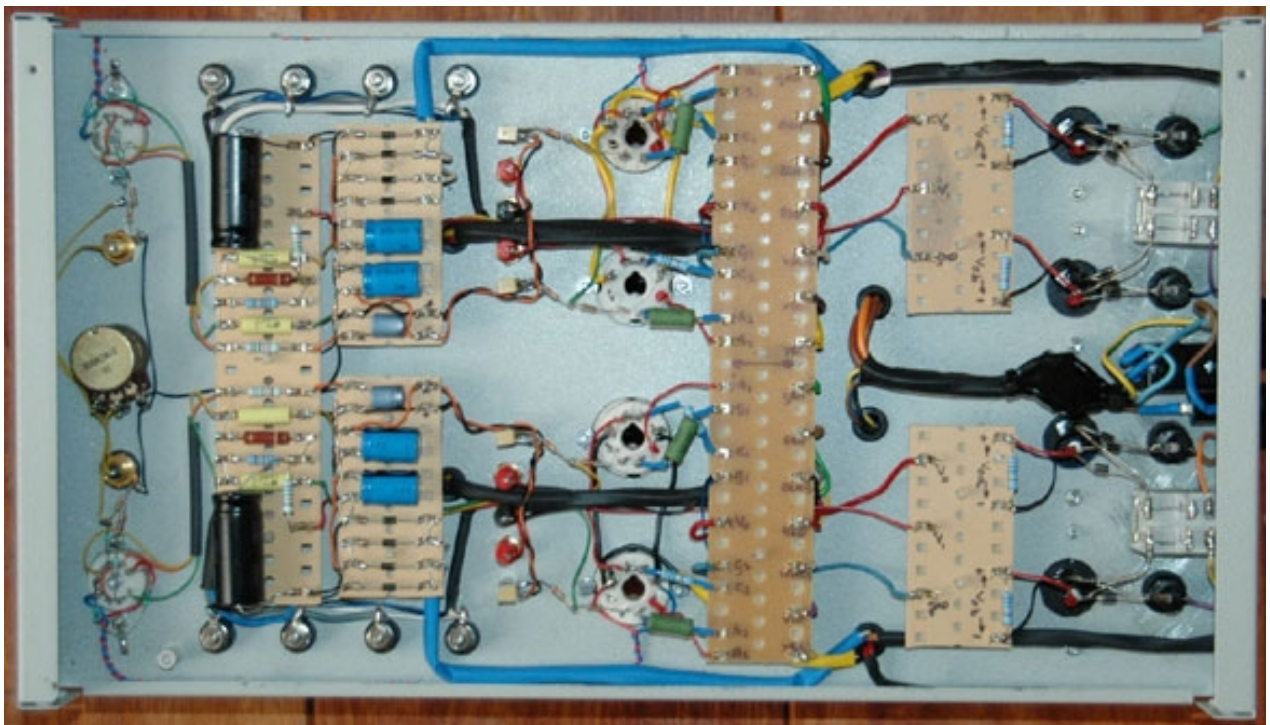
<http://www.mennovanderveen.nl/nl/project-frameset.html>

Deel 1 : De filosofie van Het Vanderveen Project	2
Deel 2: Inleiding in het Universele Systeem	3
Deel 3: Het Universele Systeem (1e deel)	4
Deel 3: Het Universele Systeem (2e deel)	5
Deel 4: De uitgangstransformator GIT80	8
Deel 5: De voedingstransformator POW80	9
Deel 6: De universele versterker	10
Deel 7: Hoe bouw je de versterker	15
Deel 8: Trafo's bestellen en de organisatie	19
Versterker 10: Pentode Balansversterker	21
Versterker 11: Ultra Lineaire Balansversterker	24
Versterker 12: Triode Balansversterker	27
Versterker 13: Super Pentode Balansversterker	30
Versterker 14: Pentode Balansversterker met CFB	33
Versterker 15: Super Triode © Balansversterker: PP UL + CFB	36
Versterker 16: Triode Balansversterker met CFB	39
Versterker 17: Triode Kathodevolger Balansversterker	42
Versterker 18: Pentode Parallel Push Pull versterker	45
Versterker 19: Pentode balansversterker met dubbel uitgangsvermogen	49
Versterker 20: Hoog vermogen Pentode balansversterker met CFB	52
Versterkers 1-2-3: SE-versterkers met een verzadigde kern	55
Versterkers 4-5-6: SE versterkers met ruststroom compensatie	58
Versterkers 7-8-9: SE versterkers met ruststroom compensatie en kathode tegenkoppeling	61
DE MATRIX	64
Overzichtstabel 20 versterkerconfiguraties	67

Deel 1 : De filosofie van Het Vanderveen Project

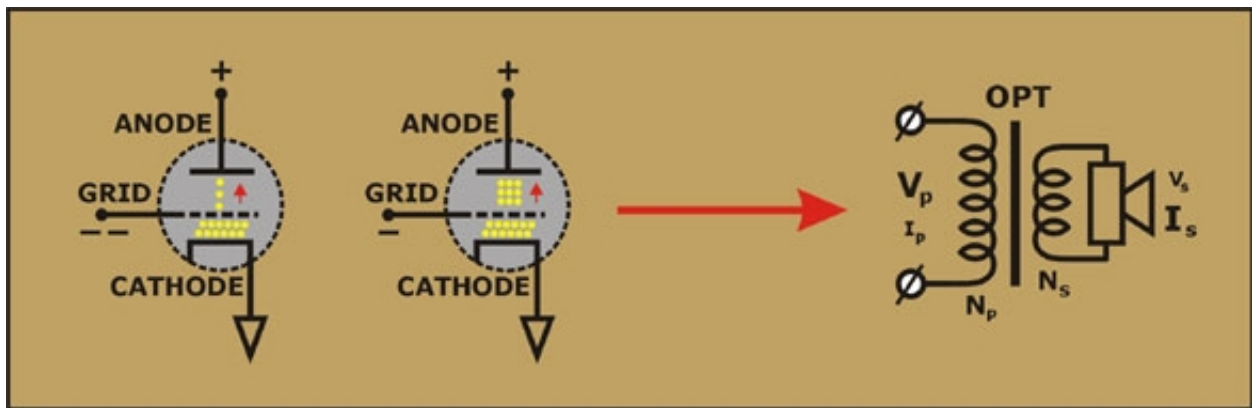
Het Vanderveen Project volgt een oude filosofie uit het buizentijdperk van weleer. Toen ging de hoofdaandacht niet naar audiofiële componenten, maar naar het ontwerp zelf, de mate van tegenkoppeling, keuze van belastingslijnen en impedanties, instellingen van buizen. Dat dit een goede filosofie was, is bewezen door de prachtige ontwerpen die toen ontstonden.

Het project behandelt de belangrijkste ontwerpkeuzes van weleer aan de hand van een systematische benadering van buizenversterkers. Eerst wordt een universeel systeem ontwikkeld dat alle buizenversterkers beschrijft (met uitzondering van OTL). Dit systeem wordt in de komende pagina's behandeld. Hiermee kunnen logische ontwerpkeuzes gemaakt worden, die leiden tot totaal verschillende versterkers, met elk hun begrijpelijke specifieke voordelen. Deze versterkers kunnen alle gebouwd en getest worden met de universele versterkerschakeling en transformatoren van dit project.



De foto geeft een onderaanzicht van de universele versterker (stereo). Links is de stuurtrap, in het midden de eindbuizen, dan een contactbord waarop met draden de verschillende versterkers geschakeld kunnen worden, rechts de dubbele zwevende voedingen met bijbehorend schakelbord.

Deel 2: Inleiding in het Universele Stelsel



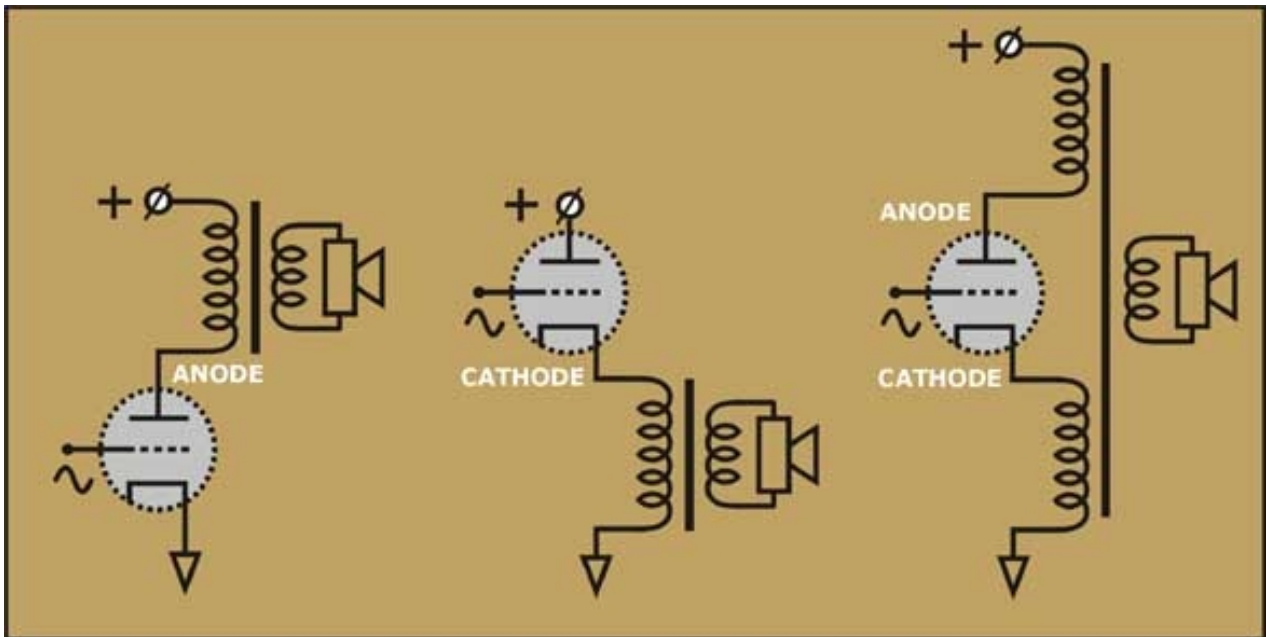
De buizen in buizenversterkers hebben alle gemeenschappelijk dat de kathode warm wordt gemaakt, waardoor deze elektronen af kan staan die door de positieve anode worden aangetrokken. Het aantal elektronen dat van kathode naar anode stroomt wordt geregeld door een variabele negatieve spanning op het stuurrooster. Daarbij komen er nauwelijks elektronen op het stuurrooster terecht, deze blijft nagenoeg stroomloos.

De stroom die door de buis loopt is niet extreem groot, om en nabij 100 mA bij eindbuizen, terwijl de spanningszwaai hoog is, enige honderden volts. Luidsprekers hebben enige ampères nodig plus een spanning van enkele tientallen volts. Voor de koppeling tussen eindbuis en luidspreker is daarom een uitgangstransformator nodig die de buisstroom omhoog en de buisspanning omlaag transformeert. De buis wordt aan de primaire kant met N_p windingen gekoppeld terwijl de luidspreker aan de secundaire zijde met N_s windingen wordt aangesloten. Omdat N_p groter is dan N_s wordt de stroom omhoog getransformeerd volgens $I_s = I_p \cdot N_p / N_s$ en de spanning wordt omlaag getransformeerd volgens $V_s = V_p \cdot N_s / N_p$.

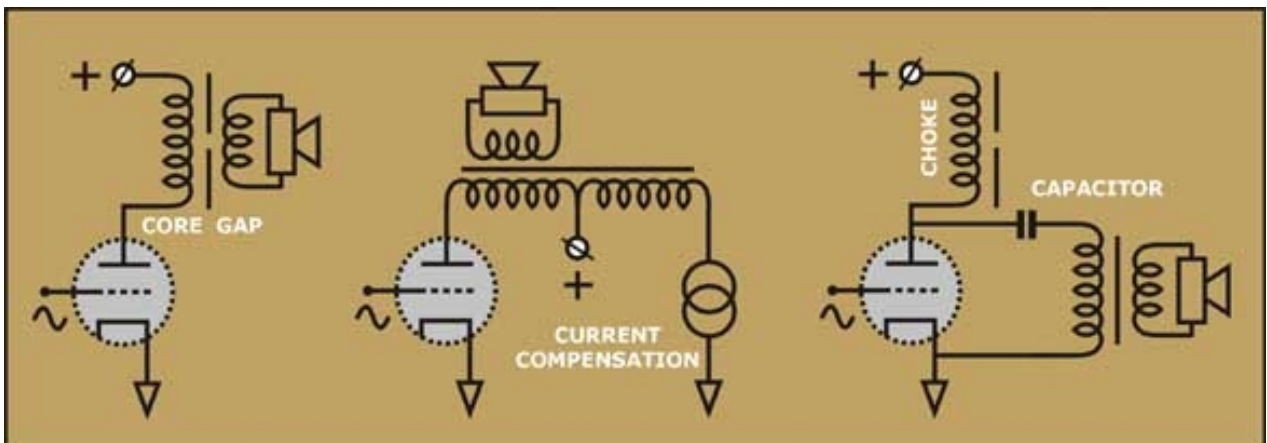
De manier waarop de uitgangstransformator aan de buis gekoppeld wordt is in iedere buizenversterker weer anders. Daarin is echter een duidelijke systematiek aanwezig die in de volgende twee delen behandeld wordt.

Deel 3: Het Universele Stelsel (1e deel)

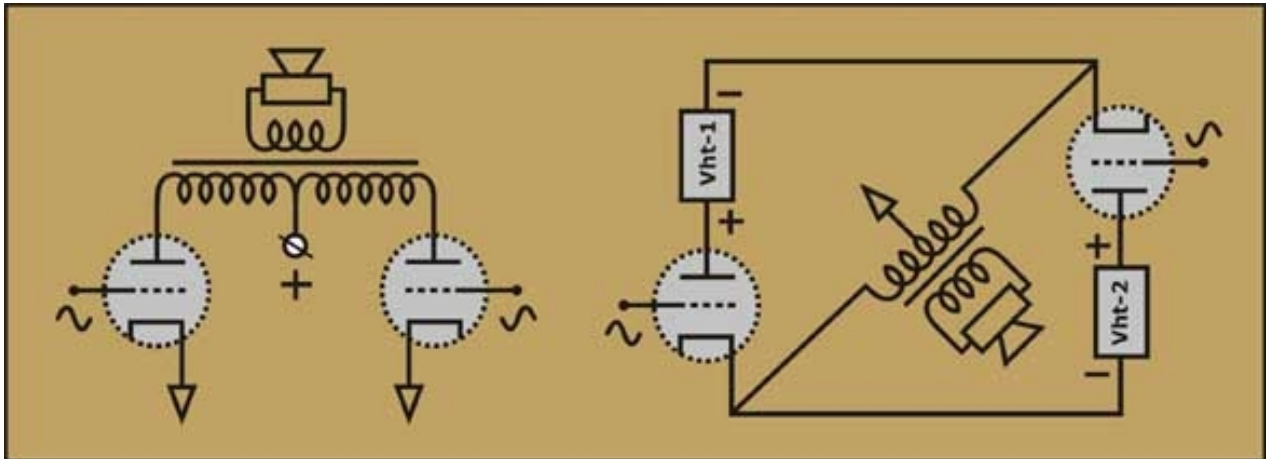
In een buis loopt de stroom van anode naar kathode. Het stuurrooster regelt hoe groot deze stroom is, maar blijft zelf stroomloos. Wanneer we vermogen uit de buis willen halen, dan moeten we de uitgangstransformator plaatsen waar de stroom loopt, dus bij de anode of de kathode of een combinatie van beide.



Als we één eindbuis gebruiken (single ended), dan loopt er een permanente ruststroom door de primaire van de uitgangstransformator die de kern zal verzadigen. Om dit op te vangen moet de trafokern een spleet hebben, of er moet compensatie met een extra wikkeling plus stroombron plaatsvinden, of de ruststroom moet door een extra smoorspoel lopen terwijl de uitgangstransformator via een condensator aan de buis gekoppeld wordt.

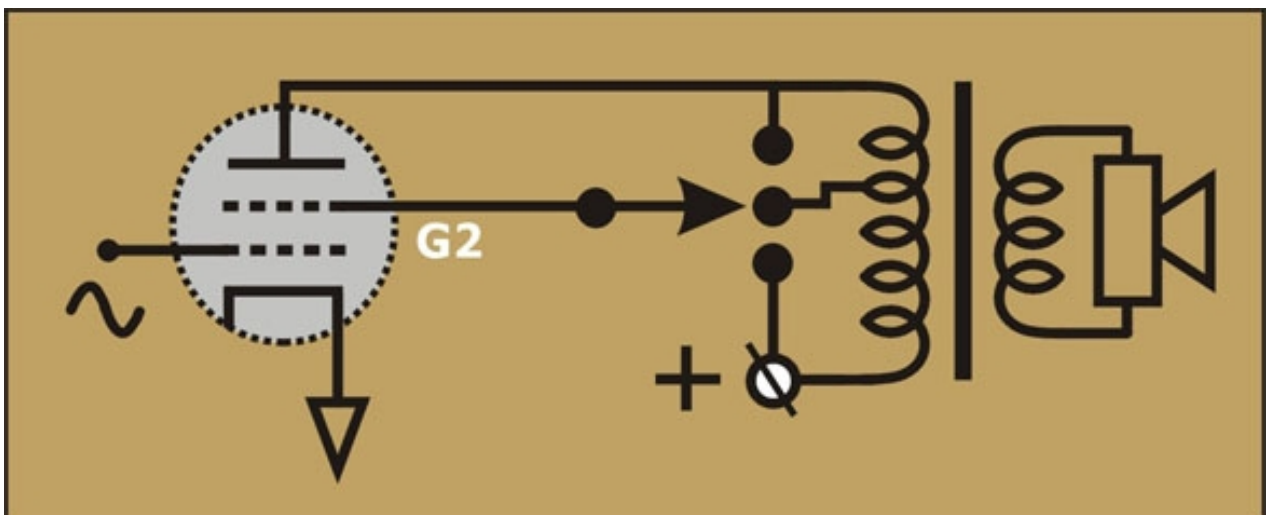


Werken we met twee eindbuizen in balans (push pull), dan compenseren de twee ruststromen elkaar in de primaire wikkeling. De trafokern hoeft dus geen spleet te hebben. De schakelmogelijkheden zijn dan de basis-balansschakeling of parallel balans (zoals de Circlotron of de PPP-schakeling met twee gescheiden voedingen).



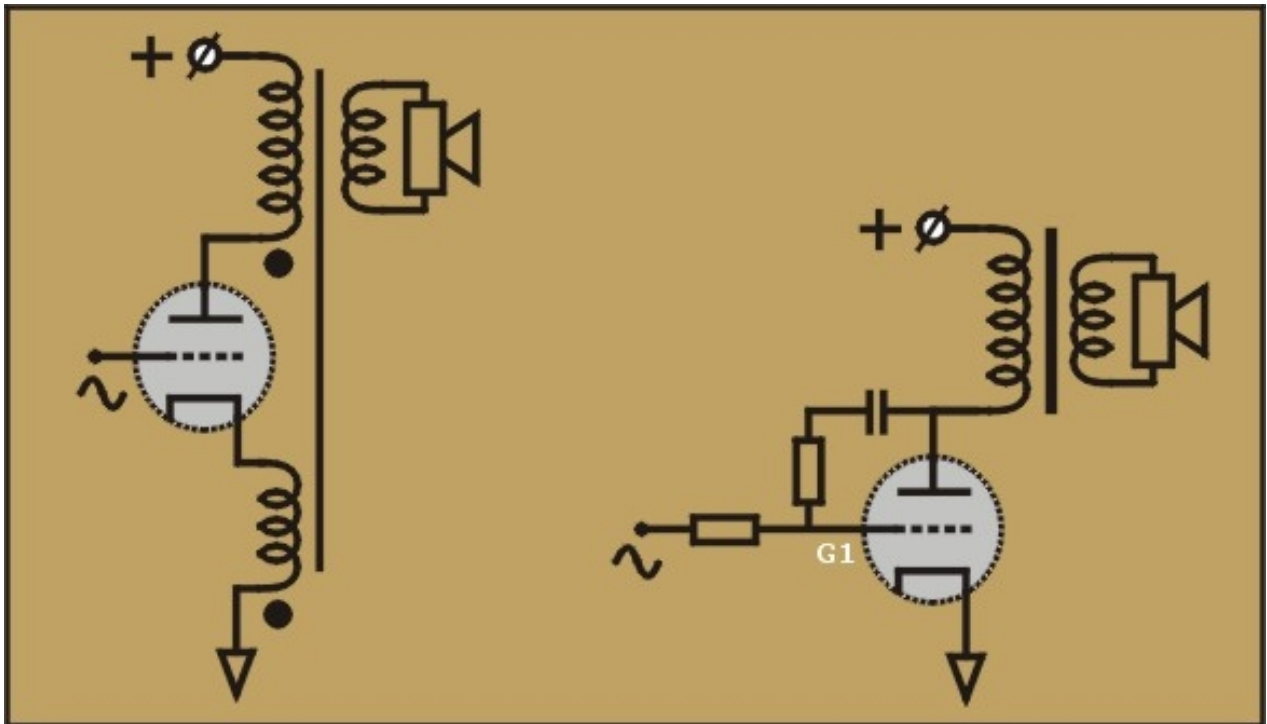
Deel 3: Het Universele Stelsel (2e deel)

Drie vormen van lokale tegenkoppeling zijn mogelijk met het schermrooster van een eindbuis. Het schermrooster verbonden met de anode levert een triode op. Koppelen we het schermrooster aan een aftakking op de primaire wikkeling, dan maken we de ultra lineaire schakeling. Als het schermrooster aan een vaste voedingsspanning wordt verbonden, hebben we de pentode schakeling.

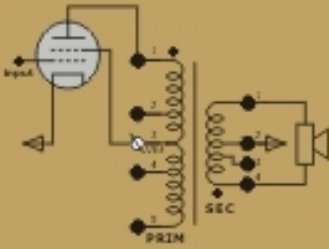


Ook bij het stuurrooster en de kathode is lokale tegenkoppeling mogelijk. De kathode kan via een wikkeling op de uitgangstransformator worden aangesloten, of het stuurrooster kan via

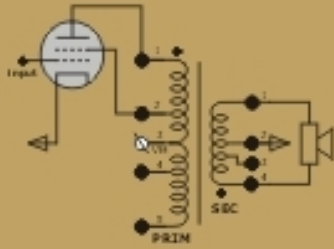
weerstanden vanaf de anode worden tegengekoppeld. Dit is de super triode schakeling; zie voor meer uitleg de rubriek bouwdozen.



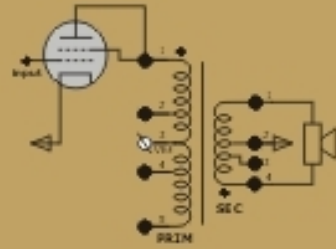
De belangrijkste variaties in schema's van buizenversterkers zijn nu besproken. Nagenoeg iedere buizenversterker kan in dit systeem worden ondergebracht. Het volgende figuur toont 20 voorbeelden van de vele versterkers die met de universele POW80 en de GIT80 transformatoren gebouwd kunnen worden.



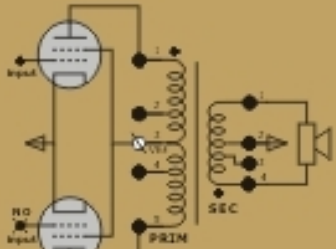
Circuit 1 : Single Ended Pentode



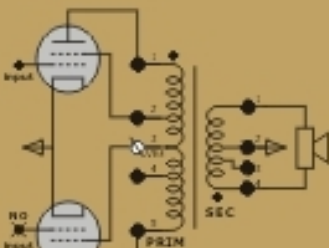
Circuit 2 : Single Ended Ultra-Lin.



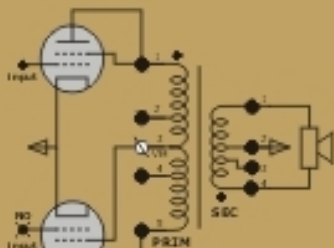
Circuit 3 : Single Ended Triode



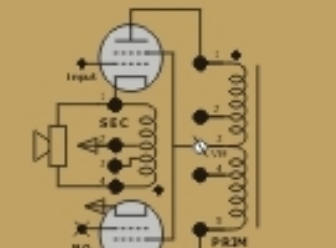
C-4 : SE-Pent. + I-comp.



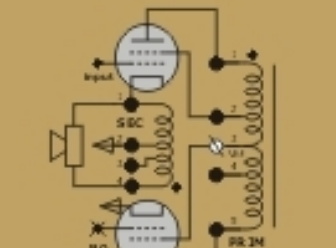
C-5 : SE-UL + I-comp.



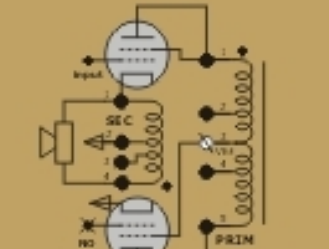
C-6 : SE-Triode + I-comp.



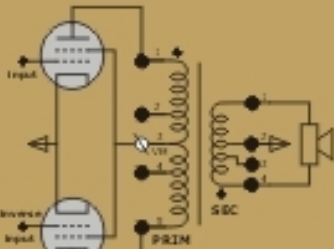
C-7 : SE-Pent. + I-comp. + CFB



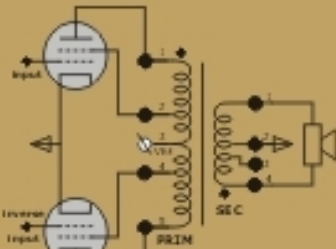
C-8 : SE-UL + I-comp. + CFB



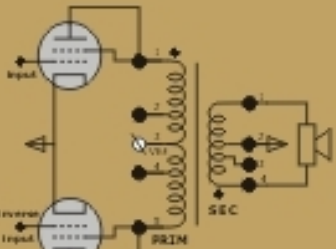
C-9 : SE-Tr. + I-comp. + CFB



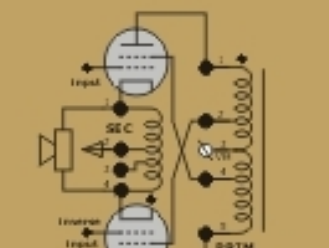
C-10 : Push-Pull-Pentode



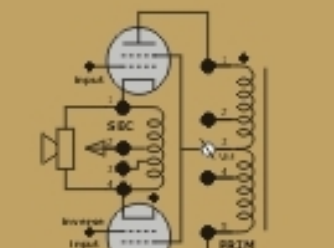
C-11 : Push-Pull-Ultra-Linear



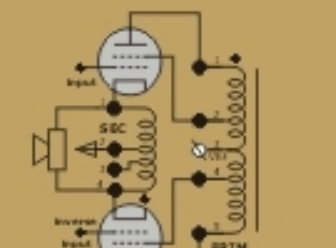
C-12 : Push-Pull-Triode



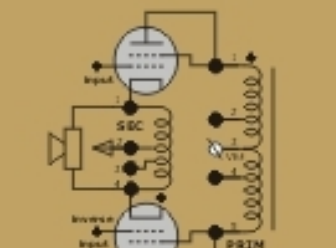
C-13 : PP-Pent. - G2FB + CFB
= Super Pentode



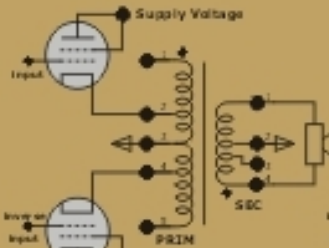
C-14 : Push-Pull-Pent. + CFB



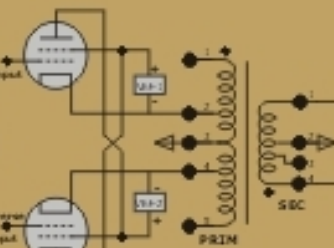
C-15 : Push-Pull-UL + CFB
= Super Triode



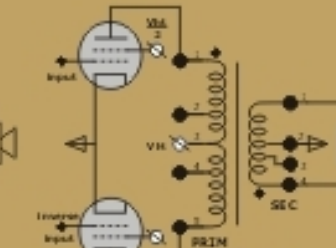
C-16 : Push-Pull-Triode + CFB



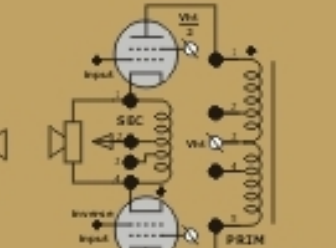
C-17 : Triode Cathode Follower



C-18 : PPP-Pentode



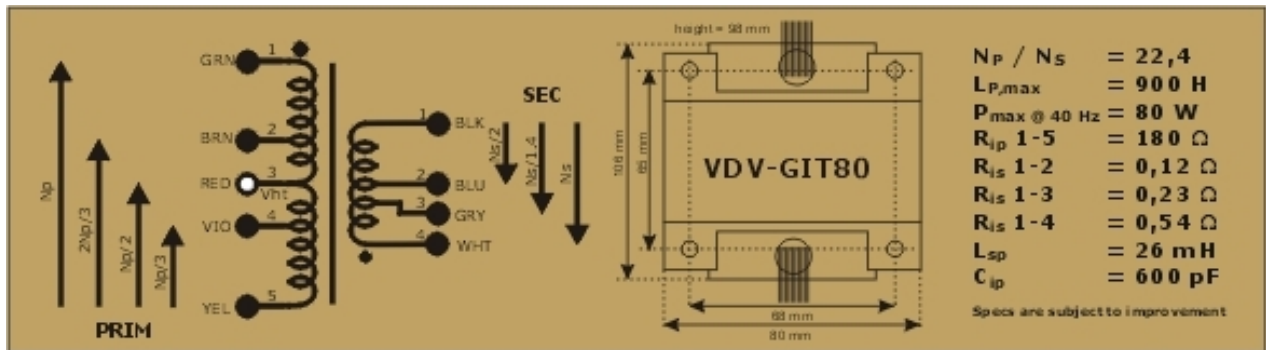
C-19 : PP-Penthode-2



C-20 : PP-Penthode-2 + CFB

Deel 4: De uitgangstransformator GIT80

De kern van de GIT80 heeft geen spleet, dus de primaire zelfinductie L_P is groot. Bij lage frequenties komt zo alle energie van de buis terecht in de luidspreker en gaat niets verloren in de transformator. Voor single ended moet daarom de schakeling met stroomcompensatie gebruikt worden. De kern is zo ruim bemeten dat deze 80 Watt kan verwerken. In het figuur staan de windingen, technische specificaties en afmetingen aangegeven.



In iedere transformator verhouden de primaire en secundaire impedanties zich als $(n_p/n_s)^2$, waarbij n_P het aantal gebruikte primaire windingen is en n_s het aantal gebruikte secundaire windingen. Dit is uitgewerkt in onderstaande tabellen.

Z_a 1->3	Z_s 1->2	Z_s 1->3	Z_s 1->4	Z_{aa} 1->5	Z_s 1->2	Z_s 1->3	Z_s 1->4	Z_{cc} 2->4	Z_s 1->2	Z_s 1->3	Z_s 1->4
1000	2	4	8	2000	1	2	4	500	2,3	4,5	9
1500	3	6	12	3000	1,5	3	6	600	2,7	5,4	10,8
2000	4	8	16	4000	2	4	8	700	3,2	6,3	12,6
2500	5	10	20	5000	2,5	5	10	800	3,6	7,2	14,4
3000	6	12	24	6000	3	6	12	900	4,1	8,1	16,2
3500	7	14	28	7000	3,5	7	14	1000	4,5	9	18
4000	8	16	32	8000	4	8	16	1100	5	10	20
[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]	[0hm]
single ended				push pull				cathode follower			

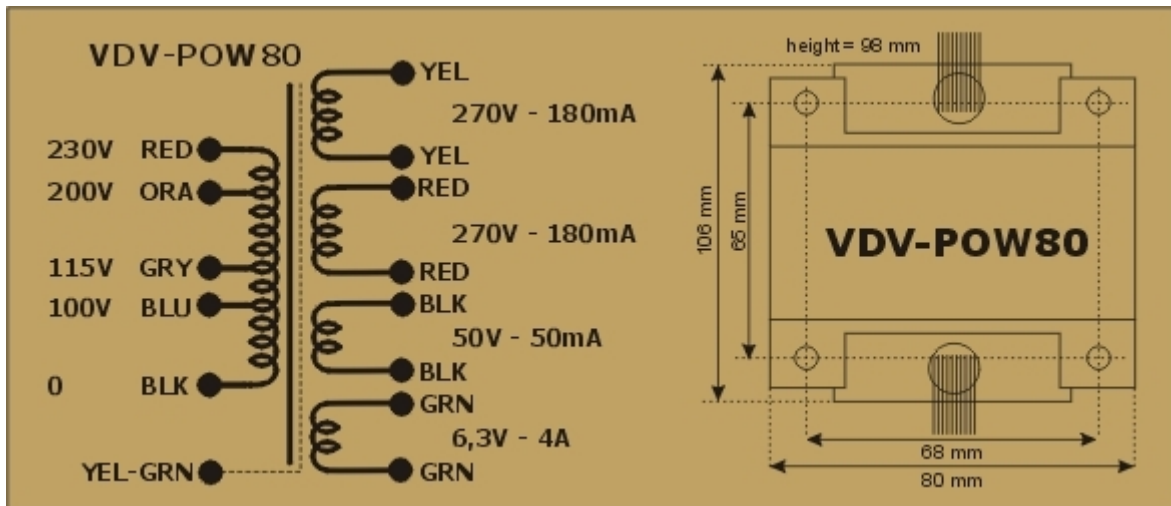
Single ended: in de schakelingen 1-9 wordt de bovenste helft van de primaire winding gebruikt, terwijl de stroombron op tap 5 wordt aangesloten. De waarde van de primaire impedantie Z_a hangt dan af van de impedantie Z_s van de luidspreker en hoe je deze secundair aansluit. Voor deze versterkers geldt dat $Z_a = 2000\Omega$. Een 8Ω luidspreker hoort dan secundair tussen de taps 1 en 3, enzovoort.

Push pull: de schakelingen 10-16 gebruiken een primaire impedantie Z_{aa} van 4000Ω . Een 8Ω luidspreker hoort dan secundair tussen de taps 1 en 4. In de schakelingen 19 en 20 is de voedingspanning hoger. Dan geldt $Z_{aa} = 8000\Omega$ en hoort een 8Ω luidspreker tussen taps 1 en 3.

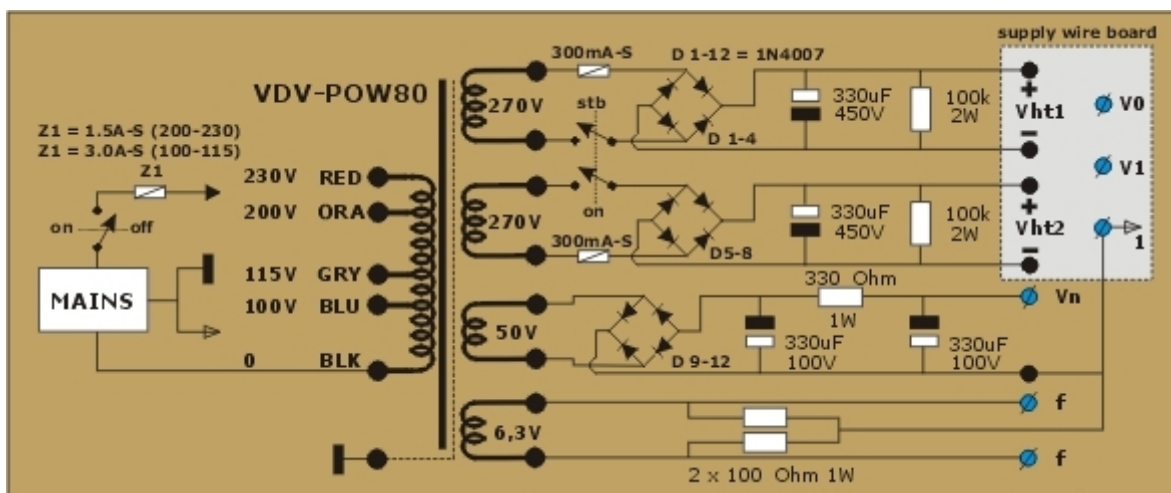
Kathodevolger: de schakelingen 17 en 18 gebruiken een primaire impedantie $Z_{cc} = 900\Omega$. De luidspreker van 8Ω hoort dan tussen taps 1 en 3.

Deel 5: De voedingstransformator POW80

De voedingstransformator POW80 is even groot als de GIT80. Primair kunnen lichtnetspanningen van 100, 115, 200, 230-240 V (50 of 60 Hz) worden aangesloten. Een elektrostatisch scherm stopt stoorsignalen uit het lichtnet. De wikkelingen van 270 V leveren twee gescheiden hoogspanningen. Voor de negatieve roosterspanning is een wikkeling van 50 V aanwezig, terwijl de gloeidraden van de buizen door de 6,3 V wikkeling gevoed worden.



Het schema van de voeding is eenvoudig. De lichtnetspanning wordt primair gezekeerd en geschakeld. De netaarde gaat rechtsreeks naar de metalen kast en het elektrostatische scherm. De twee hoogspanningswikkelingen worden afzonderlijk gezekeerd en tegelijk aan/uit geschakeld (bypass-functie); daarna volgt gelijkrichting en afvlakking. De weerstanden van 100 k zorgen bij uitgeschakelde hoogspanning voor ontlading van de elco's, wat vooral bij experimenteren belangrijk is voor de veiligheid. De 50 V wikkeling wordt gelijkgericht en afgevlakt. Met deze spanning worden de ruststromen door de eindbuizen ingesteld. De 6,3 V voor de gloeidraden moet geaard worden. Hier is dat met twee weerstanden gedaan.



Deel 6: De universele versterker

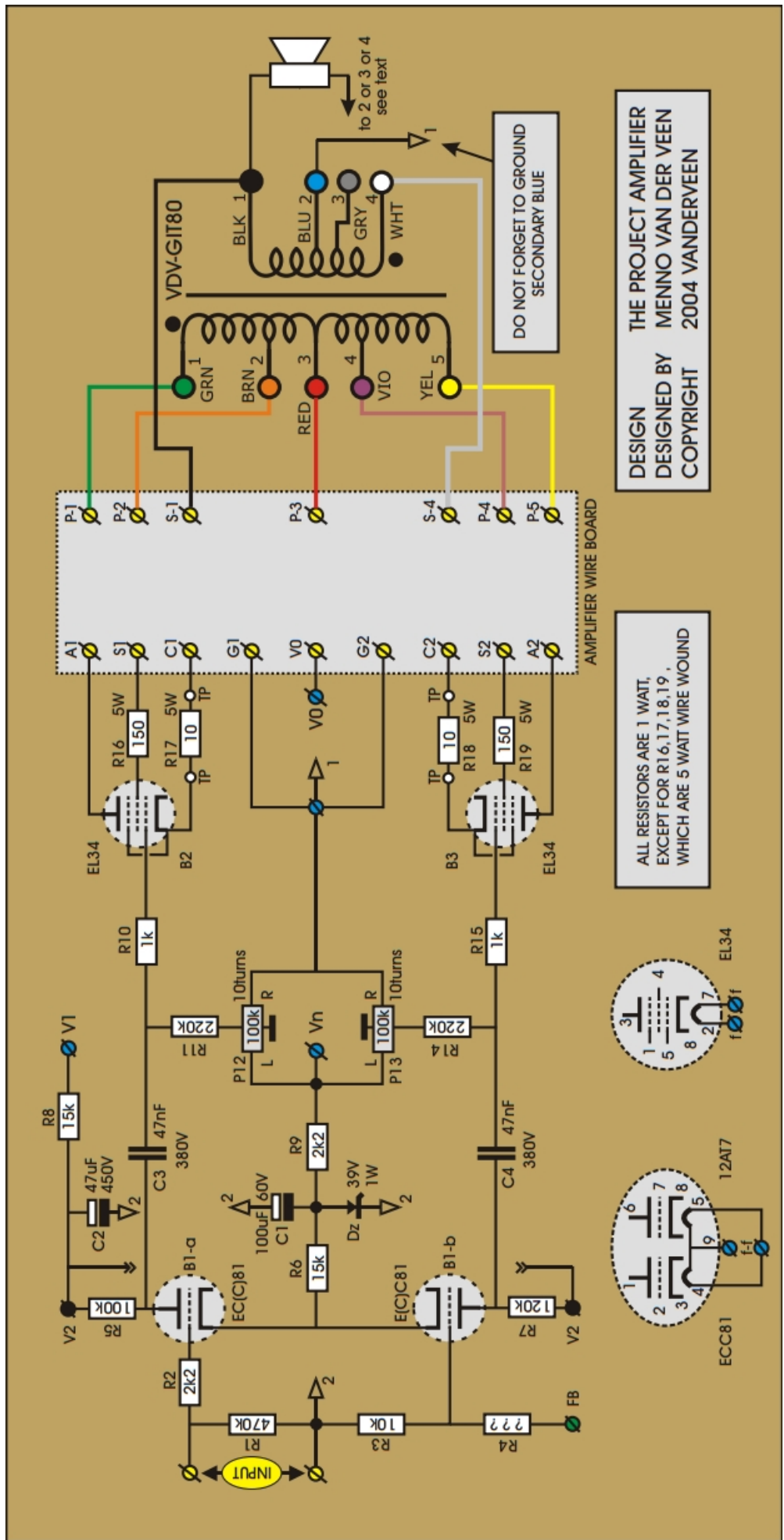
Op het beeldscherm is onderstaand figuur waarschijnlijk te klein om duidelijk te kunnen lezen. Op de volgende pagina's staan alle schema's.

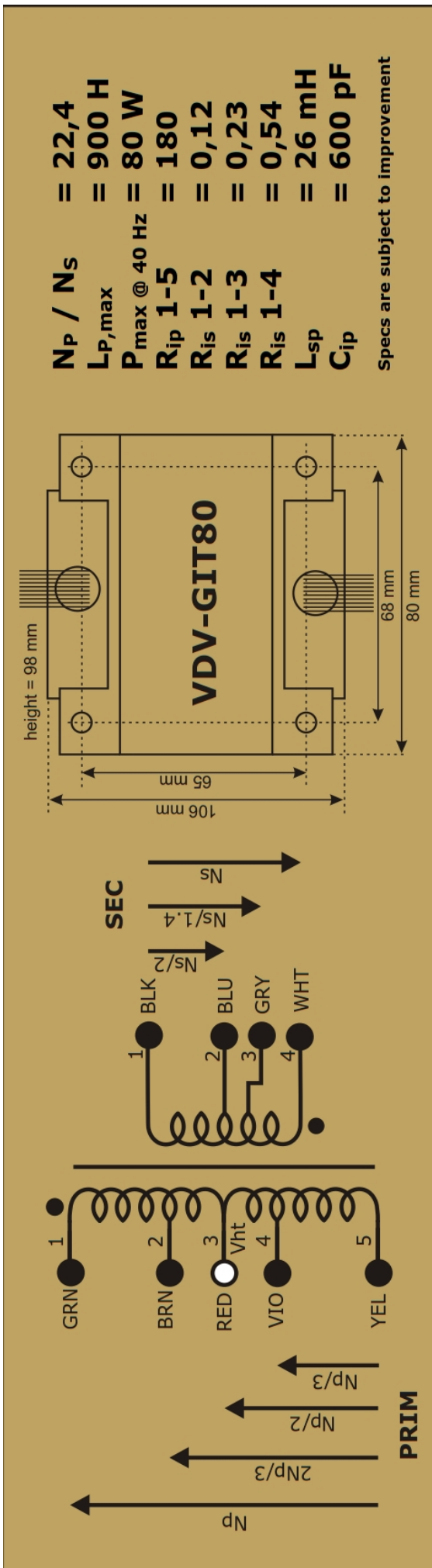
Het schema van de universele versterker kan onderverdeeld worden in het buizendeel, een bedradingbord en de VDV-GIT80 transformator. De blauwe aansluitingen V0, V1, Vn en aarde-1, evenals f-f, verwijzen naar de voeding; zie deel 5.

Buizendeel: bij de ingang is buis B1 een differentiële versterker die ook als fasedraaier functioneert. De kathodeweerstand R6 plus zenerdiode Dz is een stroombron ($I = 39V / 15k = 2,6 \text{ mA}$; dus 1,3 mA per B1-buishelft). De anodeweerstand R7 is iets groter dan R5 om de versterking van B1-a en B1-b gelijk te maken. Let er op dat de onderkant van R7 aangesloten moet worden op de bovenkant van R5 ($= V2$). Via C3 en C4 wordt het versterkte en in fase gedraaide ingangssignaal naar de eindbuizen B2 en B3 gevoerd. Monteer C4 zo dat deze gemakkelijk verwijderd kan worden omdat deze in de versterkers 1 tot en met 9 niet nodig is; zie het laatste figuur in deel 3. De stuurroosters krijgen via R11 en R14 een instelbare negatieve spanning door de instelpotentiometers P12 en P13. Pas hier 10-slags types toe voor een soepele instelling van de ruststromen door de eindbuizen. Sluit ze zo aan dat bij volledig linksom draaien de spanning op de looper maximaal negatief is. Met een gelijkspanningsmeter kunnen over R17 en over R18 de ruststromen door B2 en B3 afgelezen worden. Als de ruststroom door B2 bijvoorbeeld 50 mA bedraagt, dan is de spanning over R17 gelijk aan 0,5 V. Zie de TP-aansluitingen die ik in mijn versterker als 4 mm stekerbussen heb uitgevoerd. De "aarde" aansluitingen zijn gemerkt met 1 en 2. Kies aarde-1 pal bij de eindbuizen en aarde-2 bij buis B1.

Bedradingbord: op het bedradingbord worden per versterkertype koppeldraden aangesloten. Dit wordt later in detail besproken.

VDV-GIT80: de primaire is rechtstreeks aan het bedradingbord gekoppeld. Leidt de secundaire draden eerst naar vier luidsprekerklemmen voor de aansluiting van de luidspreker en ga van daar uit met extra draden naar het bedradingbord. Vergeet niet om de blauwe aansluiting (secundair-2) met aarde-1 te verbinden.





- N_P / N_S** = 22,4
- L_{P,max}** = 900 H
- P_{max} @ 40 Hz** = 80 W
- R_{ip} 1-5** = 180
- R_{is} 1-2** = 0,12
- R_{is} 1-3** = 0,23
- R_{is} 1-4** = 0,54
- L_{sp}** = 26 mH
- C_{ip}** = 600 pF

Specs are subject to improvement

single ended			push pull			cathode follower			
Z _a 1->3	Z _s 1->2	Z _s 1->3	Z _s 1->2	Z _s 1->3	Z _s 1->4	Z _{ec} 2->4	Z _s 1->2	Z _s 1->3	Z _s 1->4
1000	2	4	1	2	4	500	2.3	4.5	9
1500	3	6	1.5	3	6	600	2.7	5.4	10.8
2000	4	8	2	4	8	700	3.2	6.3	12.6
2500	5	10	2.5	5	10	800	3.6	7.2	14.4
3000	6	12	3	6	12	900	4.1	8.1	16.2
3500	7	14	3.5	7	14	1000	4.5	9	18
4000	8	16	4	8	16	1100	5	10	20
[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]	[Ohm]

VDV-POW80

230V RED

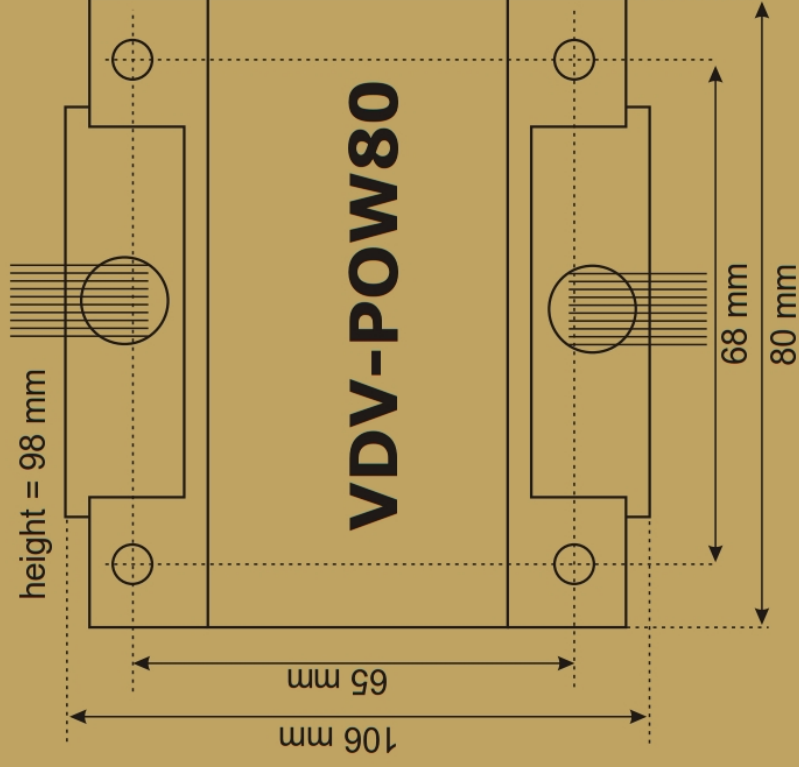
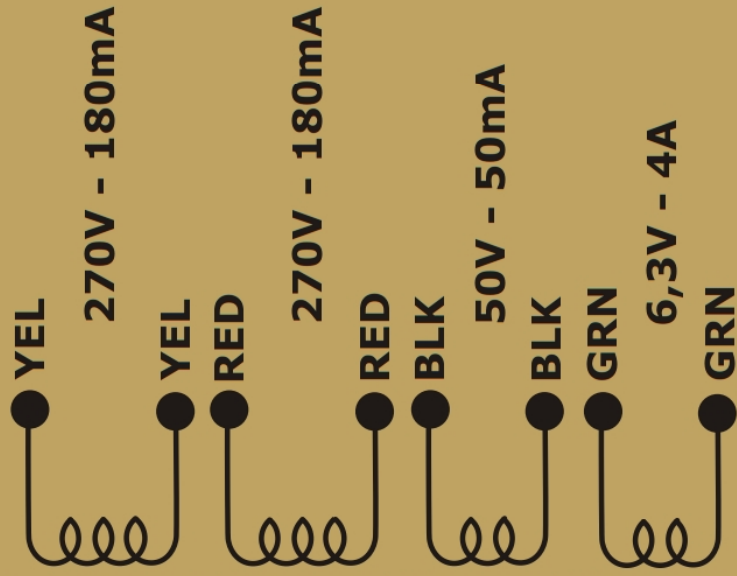
200V ORA

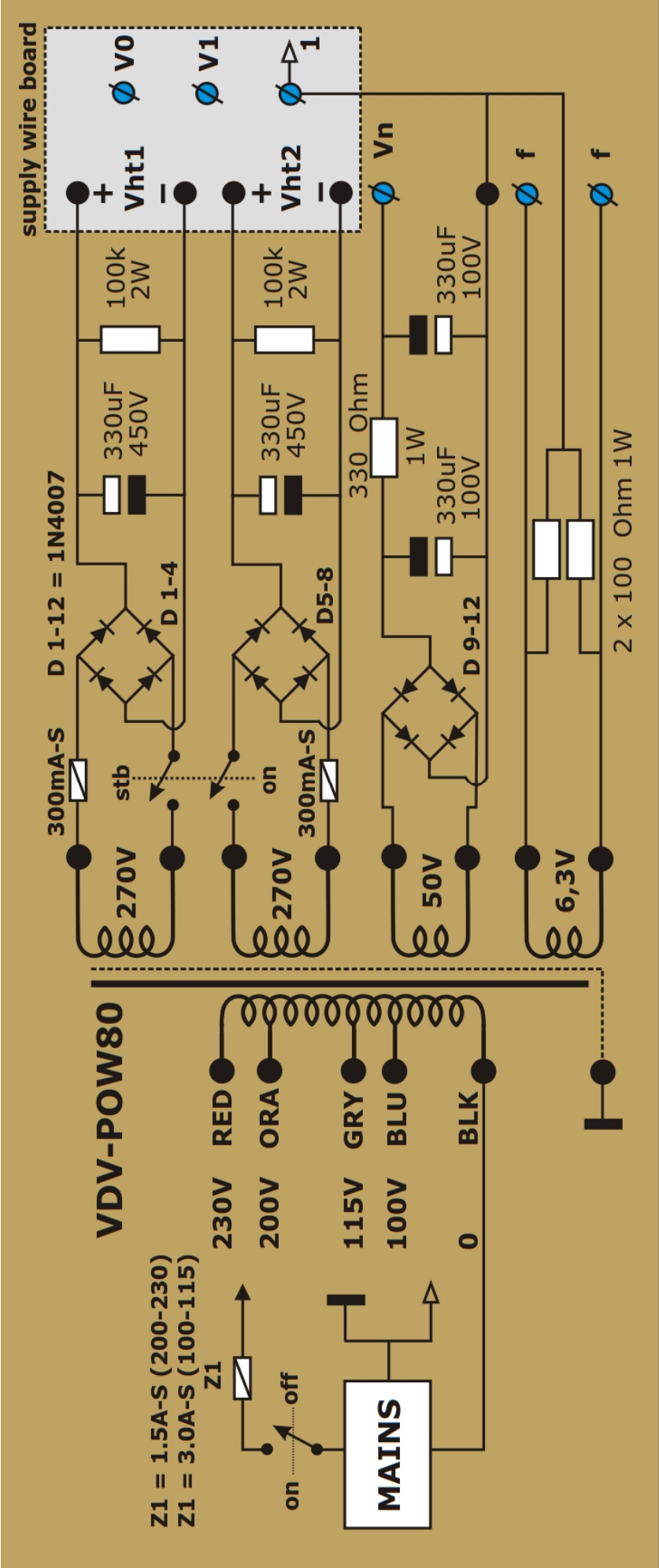
115V GRY

100V BLU

0 BLK

YEL-GRN



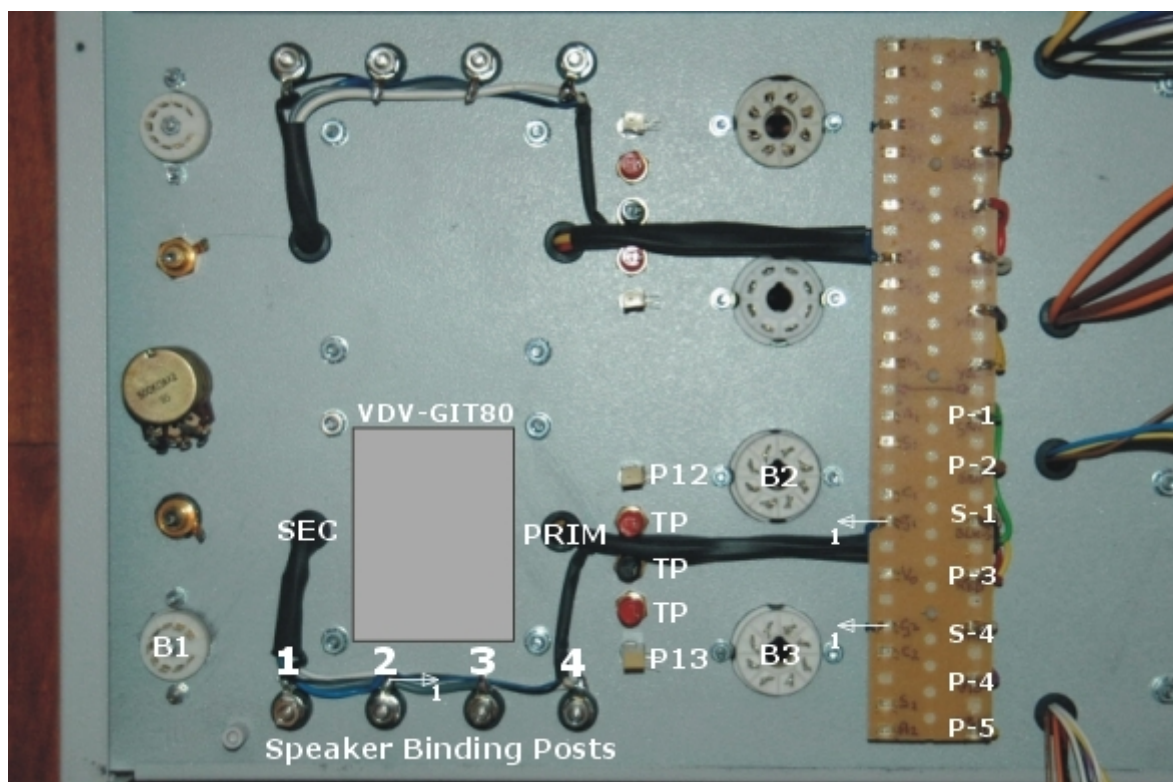


Deel 7: Hoe bouw je de versterker

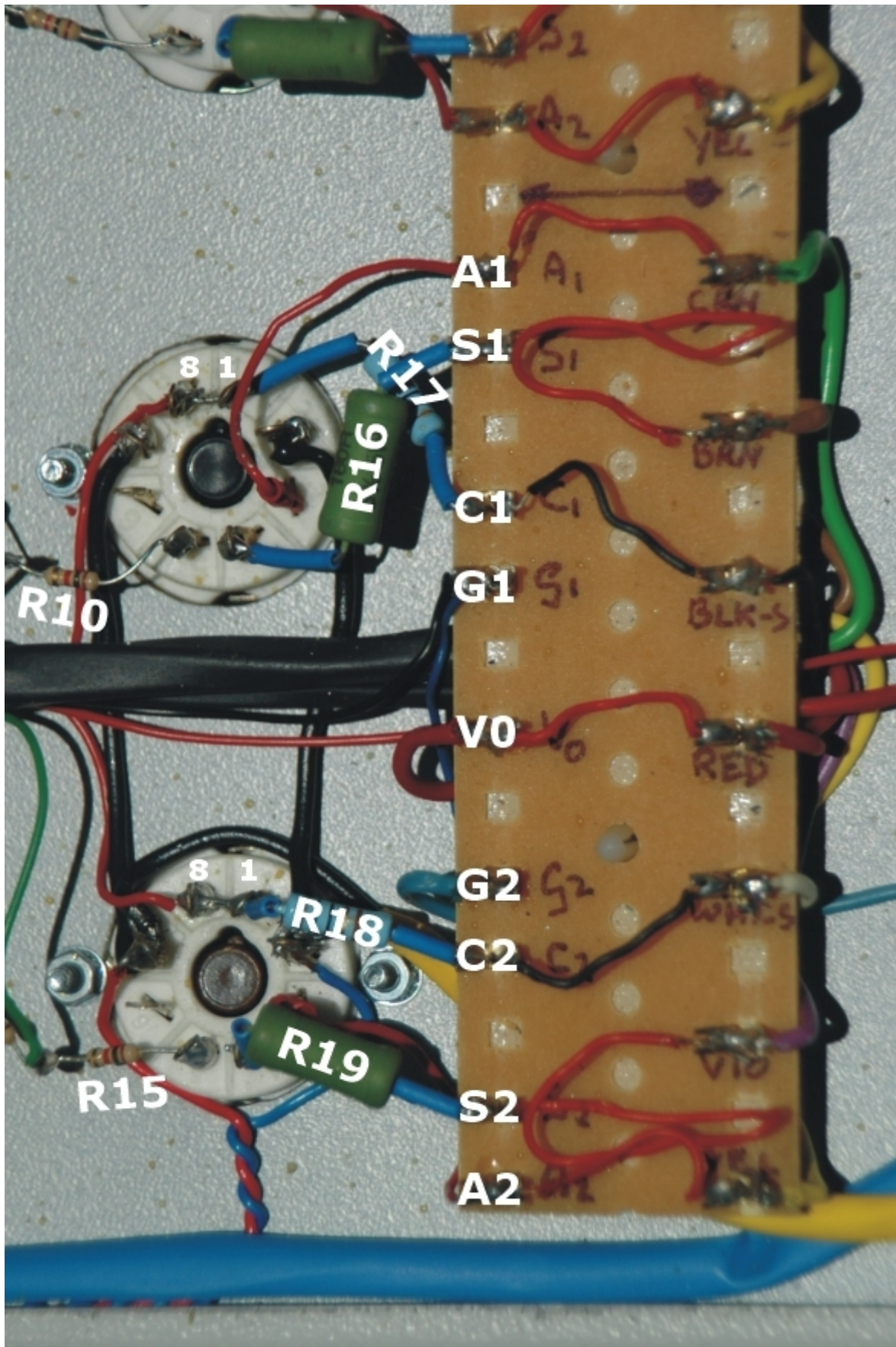
Natuurlijk is iedereen vrij om de versterker van het Vanderveen project te bouwen zoals men wil; ik vertel hier over hoe ik het heb gedaan. In het volgende deel (over twee weken) volgen details over de verkrijgbaarheid van de transformatoren en de verdere organisatie van het project.

Ik ben uitgegaan van een 19" kast, 1 HU met een diepte van 24 cm. De kast is op de kop gebruikt, in de bodemplaat zijn eerst de gaten aangebracht voor buisvoeten, transformatoren, zekeringhouders en schakelaars. Zie voor deze indeling de nummers 1 en 2 van de projectbeschrijving. De foto van deel 4 geeft een overzicht van de interne bedrading en plaatsing van de componenten.

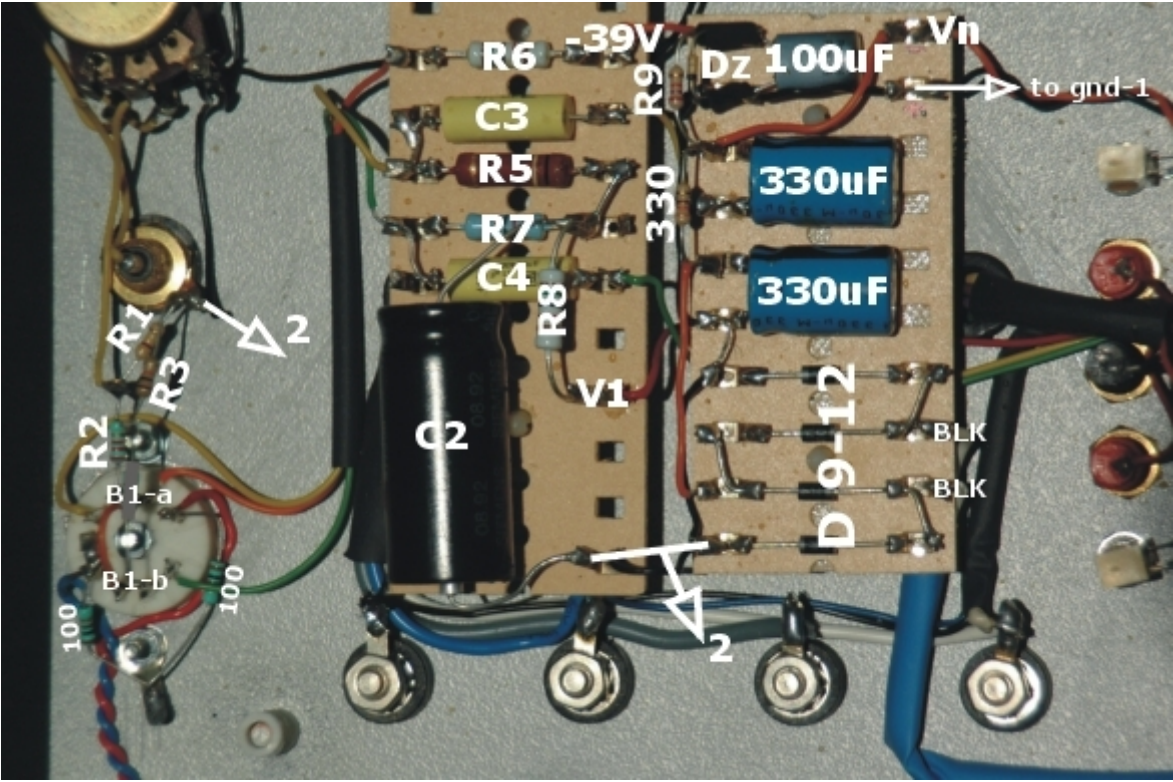
Als eerste wordt de bedrading aangebracht van de uitgangstransformator. De primaire wordt verbonden met de rechterzijde van het bedradingbord en de secundaire met de luidsprekeraansluitingen en de contacten S-1 en S-4 rechts op het bord.



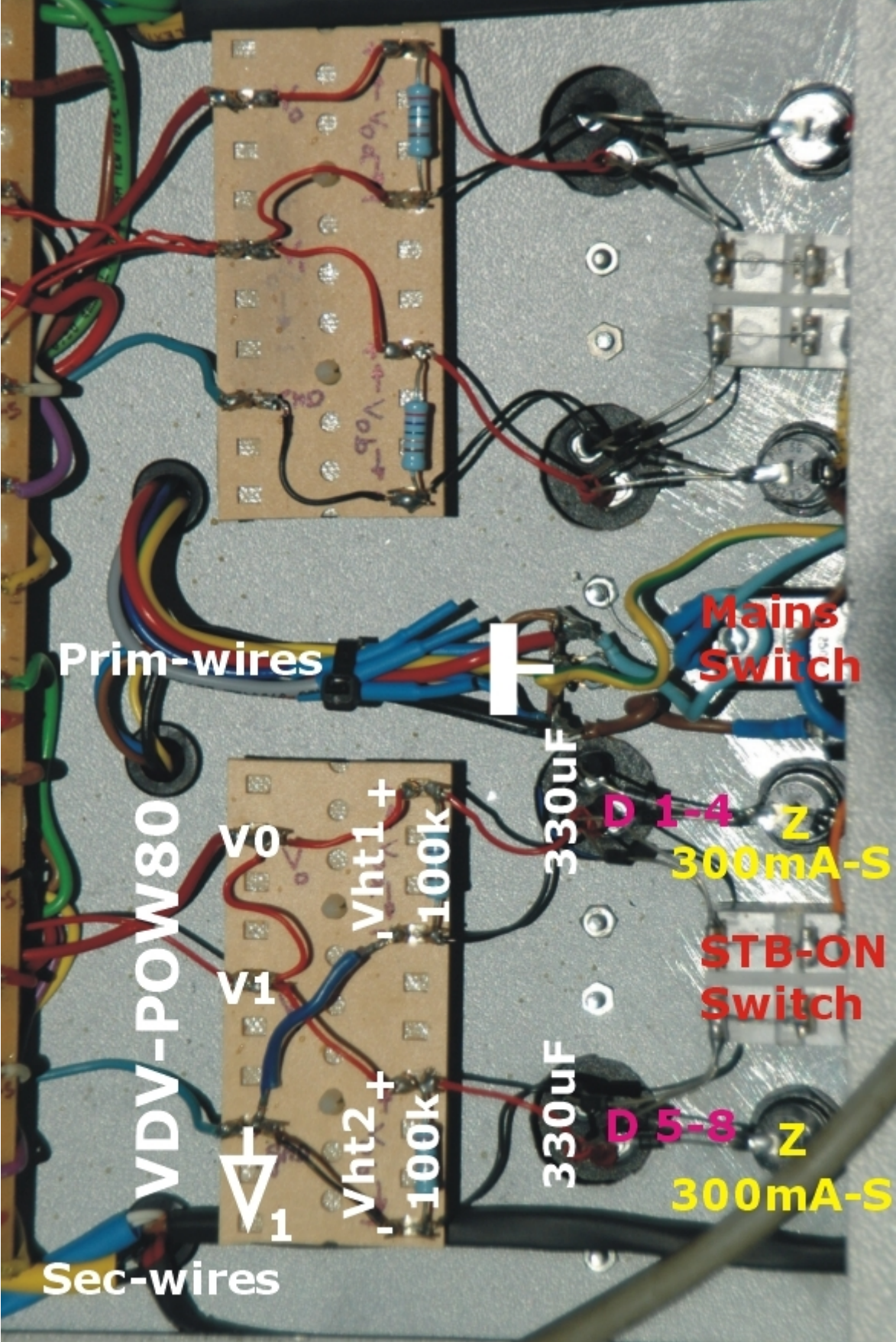
Daarna kunnen de eindbuizen B2 en B3 op het bedradingbord worden aangesloten. Op de foto is al te zien hoe ik een bepaalde versterker heb bedraad, zie het laatste figuur met twintig variaties in nummer 7.



De onderdelen en bedrading rondom de buis B1 staat in de volgende foto, waarbij ook de gelijkrichting en buffering van de negatieve spanning V_n is weergegeven.

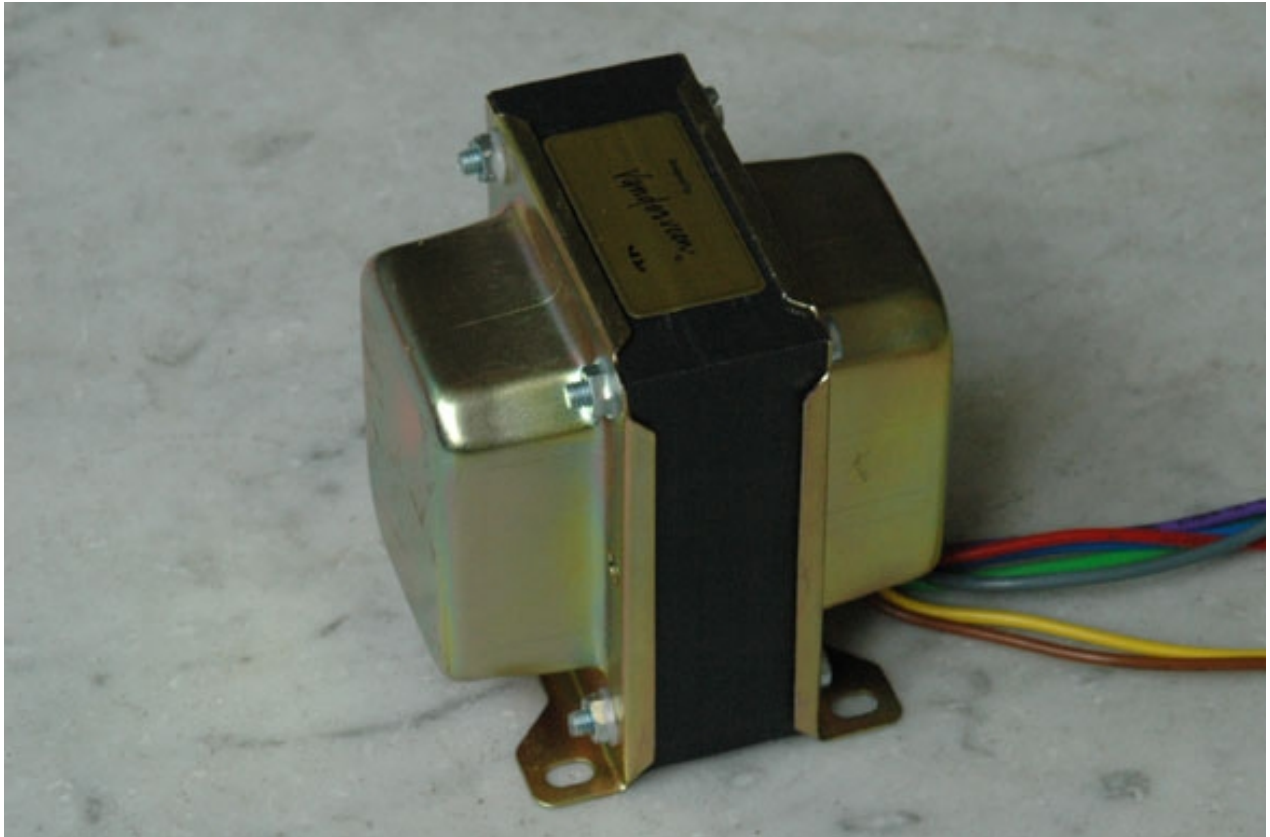


De laatste foto toont de hoogspanningsvoeding met bijbehorend bedradingbord.



Deel 8: Trafo's bestellen en de organisatie

De transformatoren van het project kunnen nu besteld worden. De genoemde prijzen bij "order" zijn exclusief BTW, verpakking en verzendkosten. Door stijging van de kosten van verbeterde fabricage en materialen (koper) zijn de prijzen met ingang van 5 december 2006 verhoogd. Bestelling kan via info@mennovanderveen.nl. Geef duidelijk naam plus adres en gewenste aantallen door. U ontvangt vervolgens een factuur; na betaling daarvan vindt verzending plaats.

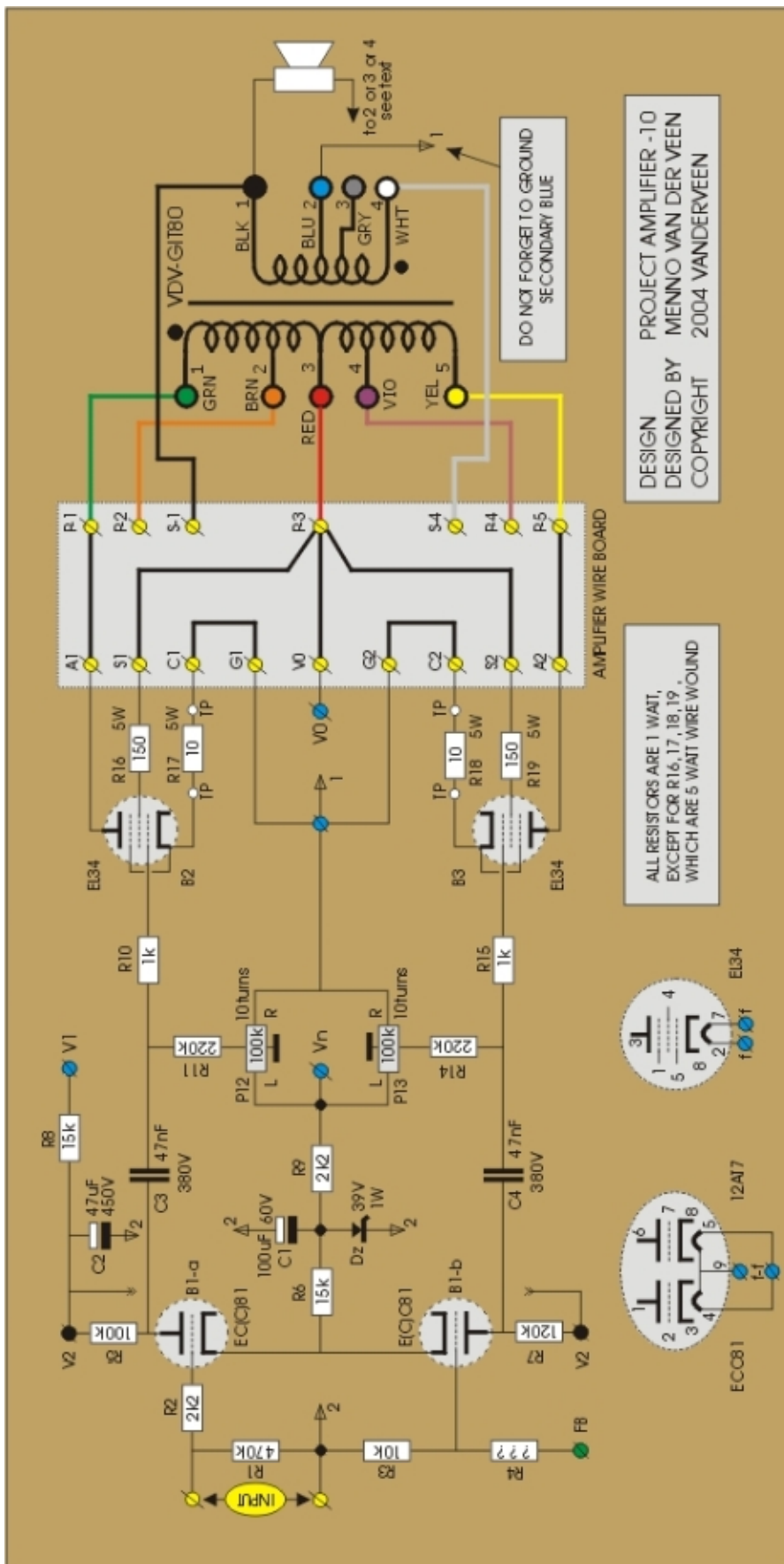


De voortgang van het project is als volgt: ieder twee weken wordt een nieuwe versterker van de 20 voorgestelde versterkers besproken (zie in nummer 7 het laatste figuur). Dit gebeurt met een standaard formulier. Het nummer en type en naam van de versterker plus de bedrading van het "amplifier wire board" (zie nummer 10) en het "supply wire board" (zie nummer 9) worden gegeven, de ruststromen van de eindbuizen, de secundaire aansluiting van de VDV-GIT80 voor een 4 Ohm luidspreker, het maximum uitgangsvermogen bij 1 kHz, de laagste frequentie bij vol vermogen waarbij de kern van de VDV-GIT80 op de grens van verzadiging komt, het -3dB frequentiebereik bij 8 Vtt in een standaard 4 Ohm belasting, de versterking bij 1 kHz bij onbelaste en door 4 Ohm belaste uitgang, de uitgangsimpedantie en de dempingsfactor, uitleg over het subjectieve geluidskarakter. Tevens is er ruimte voor aanvullende opmerkingen. Het lege "project standard form" kan [hier](#) gedownload worden. Sla dit op in uw computer, later is het zeker nodig. De voertaal van het formulier is Engels vanwege het internationale karakter van het project.

Nadat de twintig versterkers besproken zijn is de beurt aan u om met nieuwe voorstellen te komen. Er zijn er genoeg, want in het universele systeem (zie de nummers 6 en 7) zijn meer versterkers mogelijk. Deze varianten kunnen aan mij via het standaard formulier gemaïld worden, waarna ik ze beoordeel en indien correct met de naam en email van de uitvinder publiceer.

Versterker 10: Pentode Balansversterker

Ik begin de praktijk van het project heel bewust met schakeling 10, een gewone balansversterker

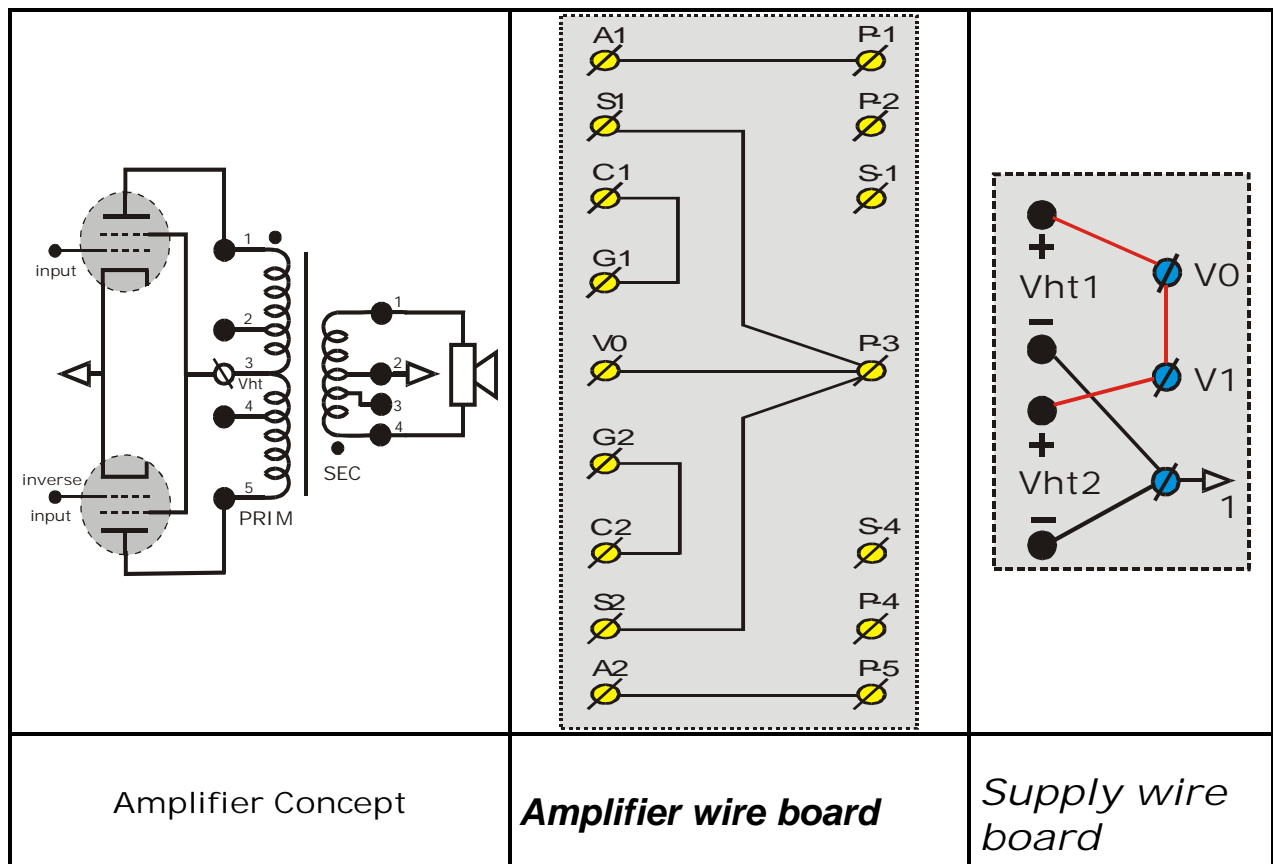


met pentode eindbuizen. Deze versterker is voor iedereen herkenbaar en daarmee een goed startpunt.

De aansluitingen van de draden op de verbindingsborden staan omschreven in het standaardformulier nr. 10, zie volgende pagina.

Het overzichtschaam staat hiernaast, waarbij de twee voedingen van de hoogspanningen Vht1 en Vht2 aan elkaar parallel geschakeld staan en samen V0 en V1 leveren.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 10



Number, Name	circuit-10 : push-pull-pentode	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	29	[Watt]
f-lowest @ P-max	14	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 47 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	190	[-]
A (4Ω loaded)	13.3	[-]
Z-out	53	[Ω]
DF (8Ω reference)	0.15	[-]

Remarks:

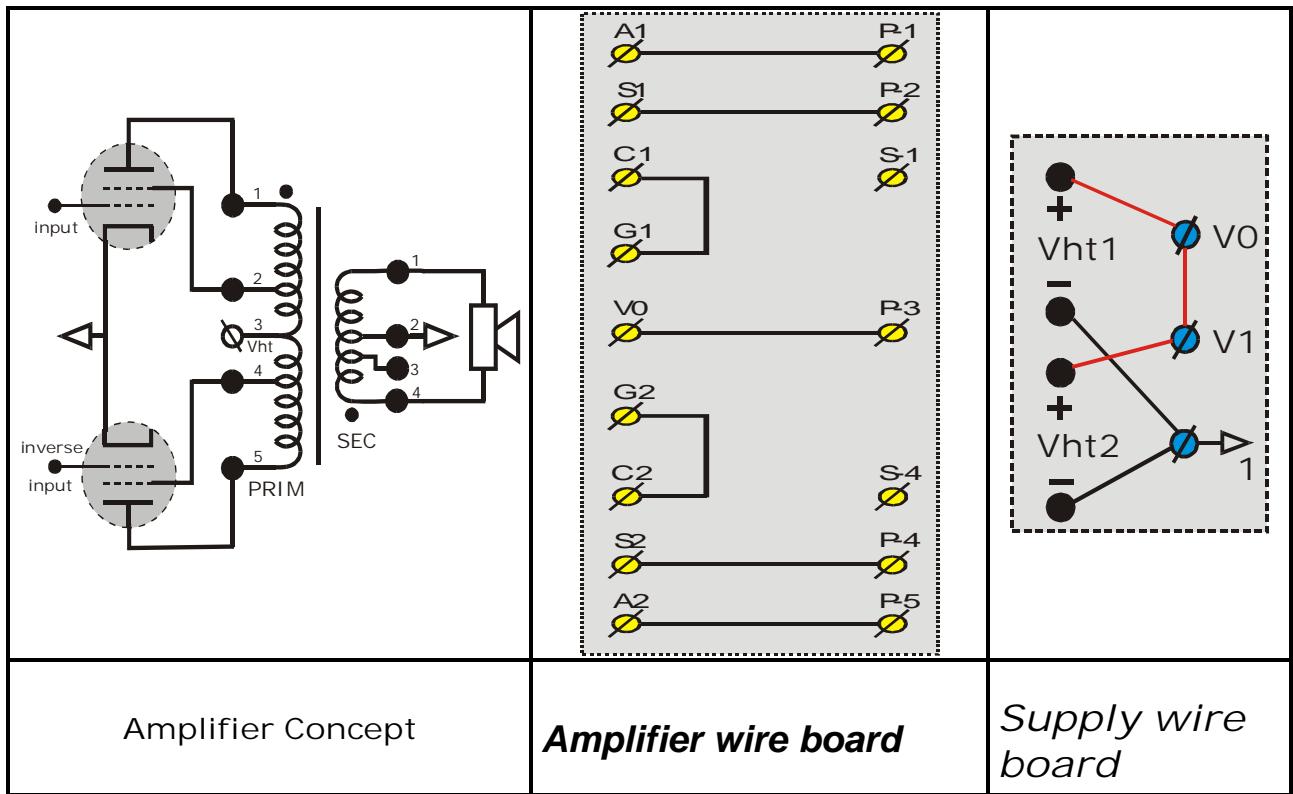
- 1) Loud and powerful and dynamic sound character
- 2) Very well suited for guitar amplification
- 3) Mild and soft overdrive
- 4) Warm and typical old fashioned vacuum tube amp sound character
- 5) Does not show all the details in the sound stage
- 6) Reacts very strong on the impedance variation versus frequency of the speaker, because of the low damping. This is almost current drive!

Omdat dit de eerste versterker is, lijkt het me zinvol om de opstartprocedure door te nemen. Schakel de standby schakelaar op "uit" (geen hoogspanning) en doe de netschakelaar "aan". De gloeidraden van de buizen moeten nu zichtbaar gaan branden. Meet met een voltmeter of de spanning (ten opzichte van aarde) op de stuurroosters van B2 en B3 maximaal negatief is (ongeveer -70 V). Is dat niet het geval, draai dan eerst P12 en P13 volledig linksom. Zet nu de standby schakelaar op "aan" en meet met de voltmeter de spanning over de kathodeweerstand R17 en over R18. Die spanningen moeten nagenoeg 0mV zijn. Draai nu de instelpotentiometer P12 rechtsom totdat over R17 een gelijkspanning komt te staan van $0,500\text{ V}$. Herhaal dit met P13 terwijl over R18 gemeten wordt. De ruststromen van de beide eindbuizen B2 en B3 zijn dan elk gelijk aan $50,0\text{ mA}$. Voor de zekerheid kan de hoogspanning V0 nog gemeten worden; deze moet ongeveer 370 V zijn. De versterker is nu klaar voor gebruik.

Het karakter van amp-10 is ouderwets warm, dynamisch en luid. Het geluidsbeeld is gemakkelijk en ruimtelijk. Deze versterker is eigenlijk het meest geschikt als gitaarversterker doordat niet alle details hoorbaar zijn. Het milde oversturingsgedrag is uitstekend voor een donkerbruin blues gitaarsound.

De metingen laten interessante details zien. Het -3dB frequentiebereik is ruim voldoende. De laagste volvermogen frequentie ligt bij 14 Hz voordat de grote kern van de uitgangstransformator in verzadiging gaat (ongewoon laag, ik wijs er maar even op). De dempingsfactor is verwaarloosbaar klein en daardoor reageert de versterker plus speaker sterk op de frequentie afhankelijke impedantie van de luidspreker. Dit verklaart een groot deel van het warme klankkarakter van de versterker. De ingangsgevoeligheid voor vol uitgangsvermogen bedraagt 810 mV , dus de meeste audio apparatuur kan deze eindversterker gemakkelijk uitsturen. De openlus versterking (A-unloaded) gaat vooral in het vergelijk met de volgende versterkers een grote rol spelen.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 11



Number, Name	circuit-11 : push-pull-Ultra-Linear	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	28	[Watt]
f-lowest @ P-max	14	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 26.4 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	31.6	[-]
A (4Ω loaded)	9.5	[-]
Z-out	9.3	[Ω]
DF (8Ω reference)	0.86	[-]

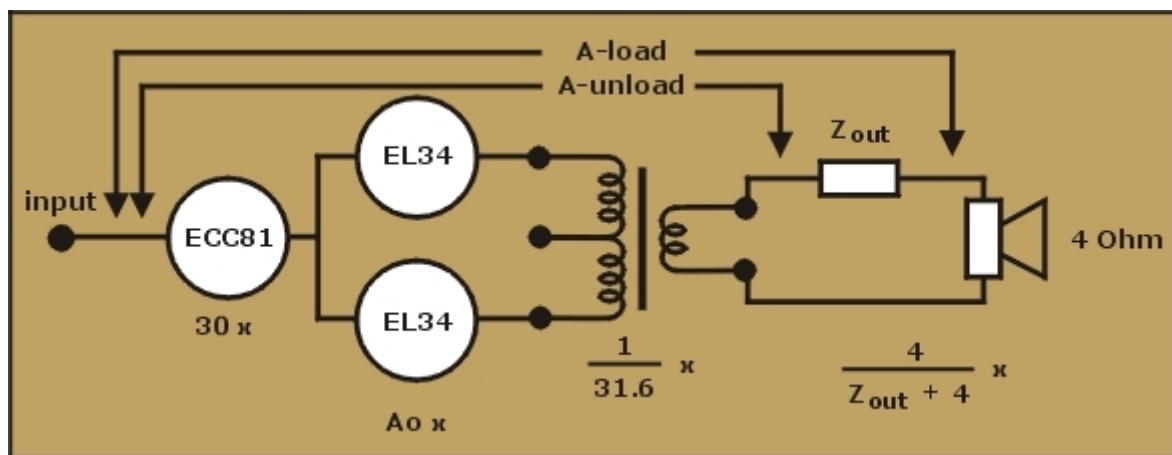
Remarks:

- 1) Clean and powerful and dynamic sound character
- 2) Less suited for electric guitar amplification, better for acoustic guitar
- 3) Soft overdrive
- 4) Typical clean, almost not colored vacuum tube amp sound character
- 5) Does show most of the details in the sound stage
- 6) Reacts little on the impedance variation versus frequency of the speaker because of the higher damping. This is mid between voltage and current drive.

Door de lokale tegenkoppeling verandert het “subjectieve” geluidsbeeld van de versterker aanzienlijk. Was bij versterker-10 het geluidsbeeld warm, nu klinkt de versterker veel strakker en schoner. Het is nog steeds typisch buisgeluid, maar met veel meer details. Het vermogen is nog steeds groot, evenals het frequentiebereik. De luidspreker wordt zwaarder gedempt (hogere dempingsfactor) waardoor de versterker minder reageert op het impedantieverloop van de luidspreker. Juist dit verklaart waarom de versterker nu strakker klinkt.

Kijken we naar de meetgegevens, dan valt daar op dat de laagste volvermogen frequentie op 14 Hz is blijven liggen omdat de kern van de uitgangstransformator dezelfde is. Ook de laagste –3dB frequentie blijft gelijk, want die wordt bepaald door C3 en C4. De effectieve versterkingsfactor is van 13,3 afgenomen tot 9,5 (A-unloaded wijzigt van 190 naar 31,6). Hier wil ik nu in detail naar gaan kijken.

In de universele versterker is de spanningsversterking van de ECC81 per helft ongeveer 15 maal; beide helften samen versterken dus $2 \times 15 = 30$ maal. De uitgangstransformator verzwakt van primair naar secundair een factor die gegeven wordt door de windingverhouding en bedraagt $(N_s / 1,4 / N_p) = 1 / 31,6$. Eigenlijk kun je zeggen dat de versterking van de ECC81 en de verzwakking van de uitgangstransformator elkaar opheffen. Wat er aan effectieve versterking in de gehele versterker overblijft is de spanningsversterking van de eindbuizen. Zie figuur:



In versterker 10 versterkt elke eindbuis dan 190 maal (= A-unload). In versterker 11 bedraagt A-unload 31,6. Dus de lokale tegenkoppeling op de schermroosters heeft de versterking met een factor $190 / 31,6 = 6$ doen afnemen. Maar dan moet de inwendige weerstand van de eindbuizen (die we in Z-out terugvinden) met dezelfde factor afnemen, namelijk van 53 naar 9,3. Afgerond is dit ook een factor 6.

Conclusie: de lokale tegenkoppeling in de eindbuizen zorgt voor minder versterking maar levert een evenredig lagere uitgangsimpedantie op, en daarmee een evenredig hogere luidsprekerdemping. Maar wat ondertussen ook gebeurt is dat de harmonische vervorming met een factor 6 afneemt, waardoor details beter hoorbaar worden.

Versterker 12: Triode Balansversterker

In versterker 12 worden de schermroosters van de eindbuizen direct met hun bijbehorende

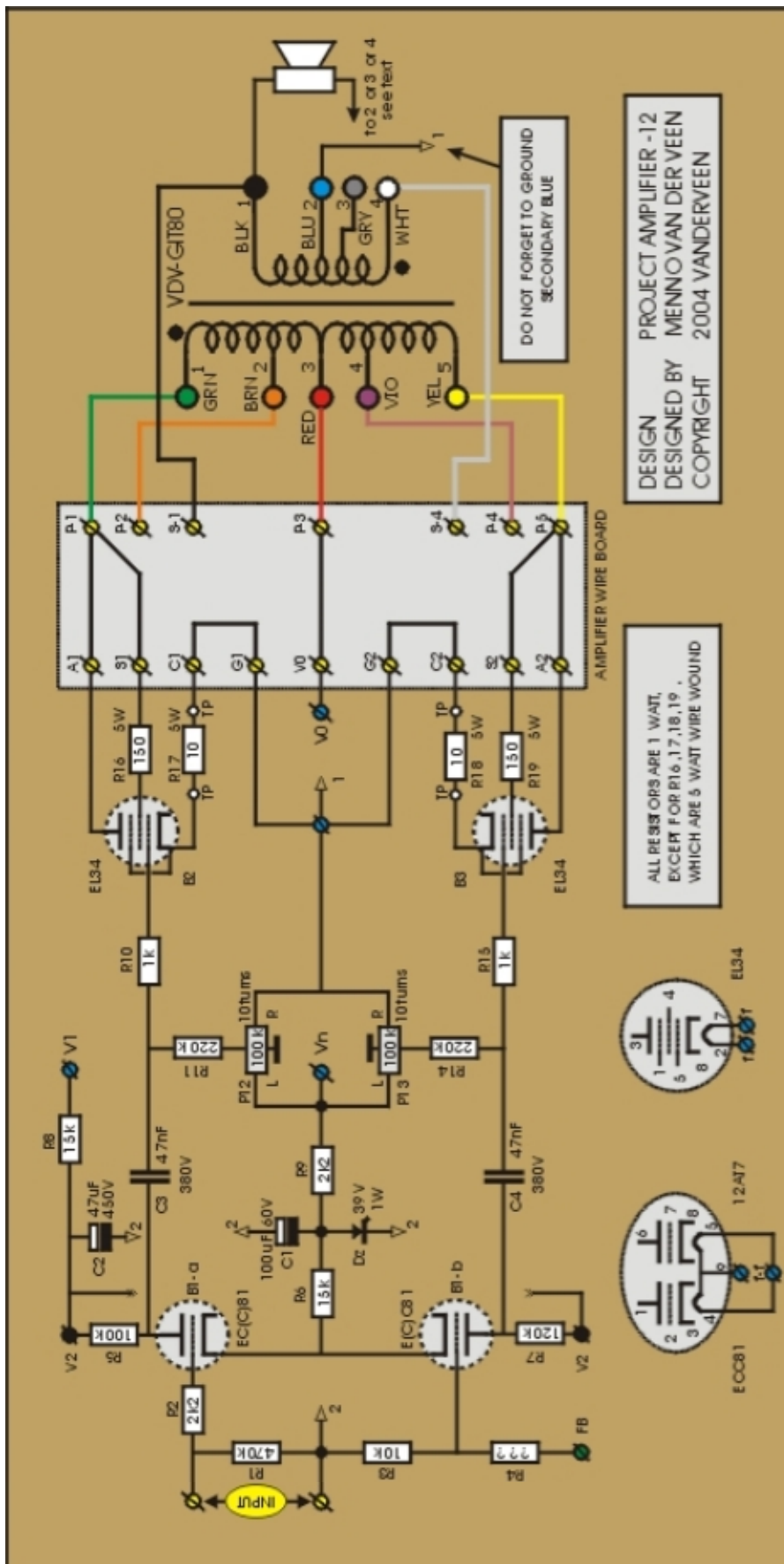
anode verbonden.

De anodewisselspanning staat nu volledig op de schermroosters.

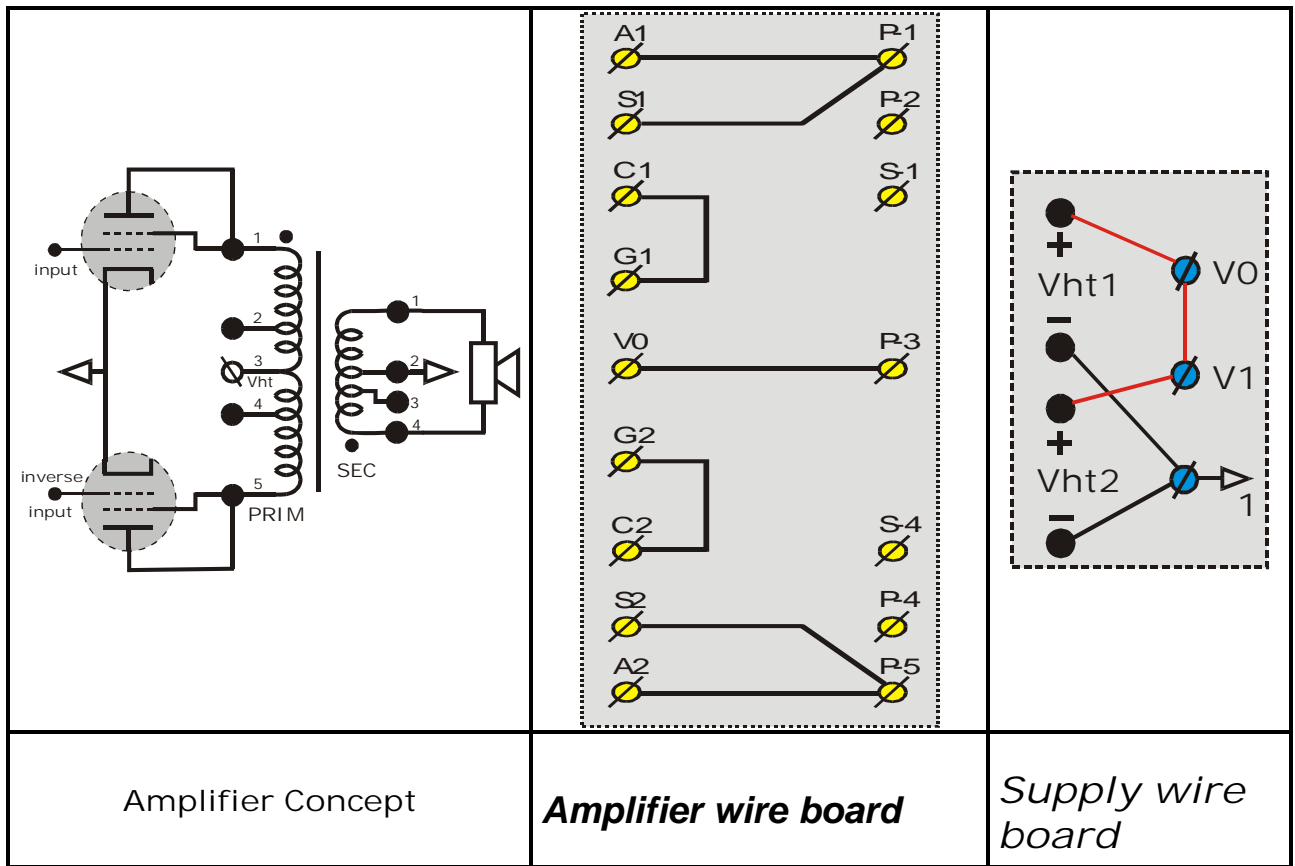
Anode en schermrooster gedragen zich nu als een geheel, en daarom noemt men het een triode instelling.

Dit is niet helemaal terecht want tussen het schermrooster en de anode zit nog het "keerrooster" G3. Eigenlijk zou dit rooster ook nog aan de anode en G2 verbonden moeten zijn om een "echte" triode te verkrijgen (pin-1 = pin-4 = pin-3). Dit experiment wordt hier niet besproken.

Er is nu nog meer lokale tegenkoppeling dan in versterker 11.



THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 12



Number, Name	circuit-12 : push-pull-Triode	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	14	[Watt]
f-lowest @ P-max	10	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 24 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	11.5	[-]
A (4Ω loaded)	6.2	[-]
Z-out	3.4	[Ω]
DF (8Ω reference)	2.4	[-]

Remarks:

- 1) Very clean and detailed sound character
- 2) Very well suited for high end amplification
- 3) Soft overdrive
- 4) Clean, not colored vacuum tube amp sound character
- 5) Does show all the details in the sound stage
- 6) Reacts almost none on the impedance variation versus frequency of the speaker because of the higher damping. This is almost complete voltage drive.

Het geluidsbeeld van deze versterker wijkt duidelijk af van de versterkers 10 en 11. Nu zijn alle details heel goed hoorbaar, met een extreem grote resolutie. Het ruimtebeeld is groot en loopt diep naar achteren door. Het geluidsbeeld is schoon en onvervormd. Kleuring is nagenoeg afwezig omdat de dempingsfactor opnieuw groter is geworden.

Uit de meetgegevens blijkt dat het uitgangsvermogen gehalveerd is tot 14 Watt. Dit wordt veroorzaakt door het naar rechts schuiven van de la-Vak-Vgk karakteristieken van B2 en B3, die er nu uitzien als die van een echte triode. De laagste frequentie bij P-max gaat naar 10 Hz. Dit is logisch, want de kern van de OPT kan 28 Watt aan bij 14 Hz. Magnetisch levert dat in de kern evenveel fluxdichtheid op als 14 Watt bij 10 Hz. De laagste -3dB frequentie verandert niet omdat deze door C3 en C4 bepaald wordt. De hoogste -3dB frequentie daalt; hier wordt later aandacht aan besteed.

Vergelijk tussen de versterkers 10 en 12 laat opnieuw heel goed de invloed van de lokale tegenkoppeling op het schermrooster zien. De open lus versterking van de eindbuizen daalt van 190 naar 11,5: dat is een factor 16,5. De uitgangsimpedantie daalt daarom van 53 Ohm naar $53 / 16,5 = 3,2$ Ohm. Gemeten is 3,4 Ohm omdat de inwendige weerstanden Rip en Ris van de OPT ook hun bijdrage leveren. Nu wordt het ook duidelijk waarom deze versterker zo schoon klinkt. De hoofdoorzaak is dat de harmonische vervorming van de eindbuizen met dezelfde factor 16,5 afneemt. Een tweede oorzaak is dat de primaire wikkeling laagohmiger aangestuurd wordt. Dat verlaagt ook nog een keer de harmonische vervorming in de uitgangstransformator.

Er zijn een heleboel redenen om versterker 12 als een echte high end versterker te beschouwen. De vervorming is laag, de dempingsfactor is voldoende hoog, er is slechts enkelvoudige lokale tegenkoppeling, in- en uitgangssignalen worden niet door tegenkoppeling met elkaar vergeleken, de versterker staat nagenoeg volledig in klasse A waardoor de voeding constant belast wordt, de uitgangsimpedantie is nauwelijks van het uitgangsvermogen afhankelijk waardoor dynamische vervorming door verandering van de dempingsfactor niet optreedt (= DDFD = Dynamic Damping Factor Distortion), enzovoort.

Versterker 13: Super Pentode Balansversterker

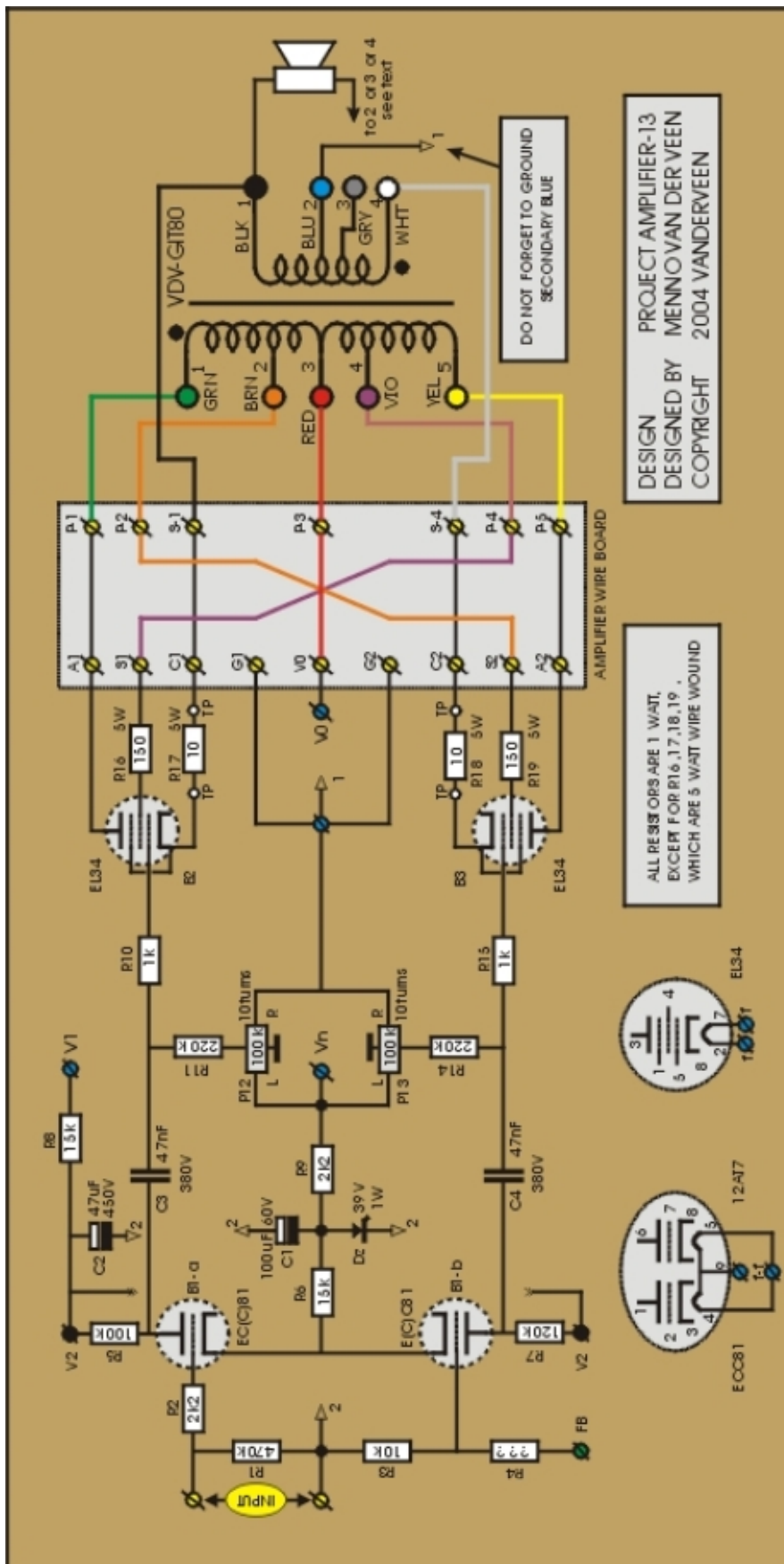
In versterker 13 wordt een vreemde combinatie van locale koppeling gebruikt. De kathodes zijn

aangesloten op de secundaire wikkeling die in het midden (Sec-2) geard is.

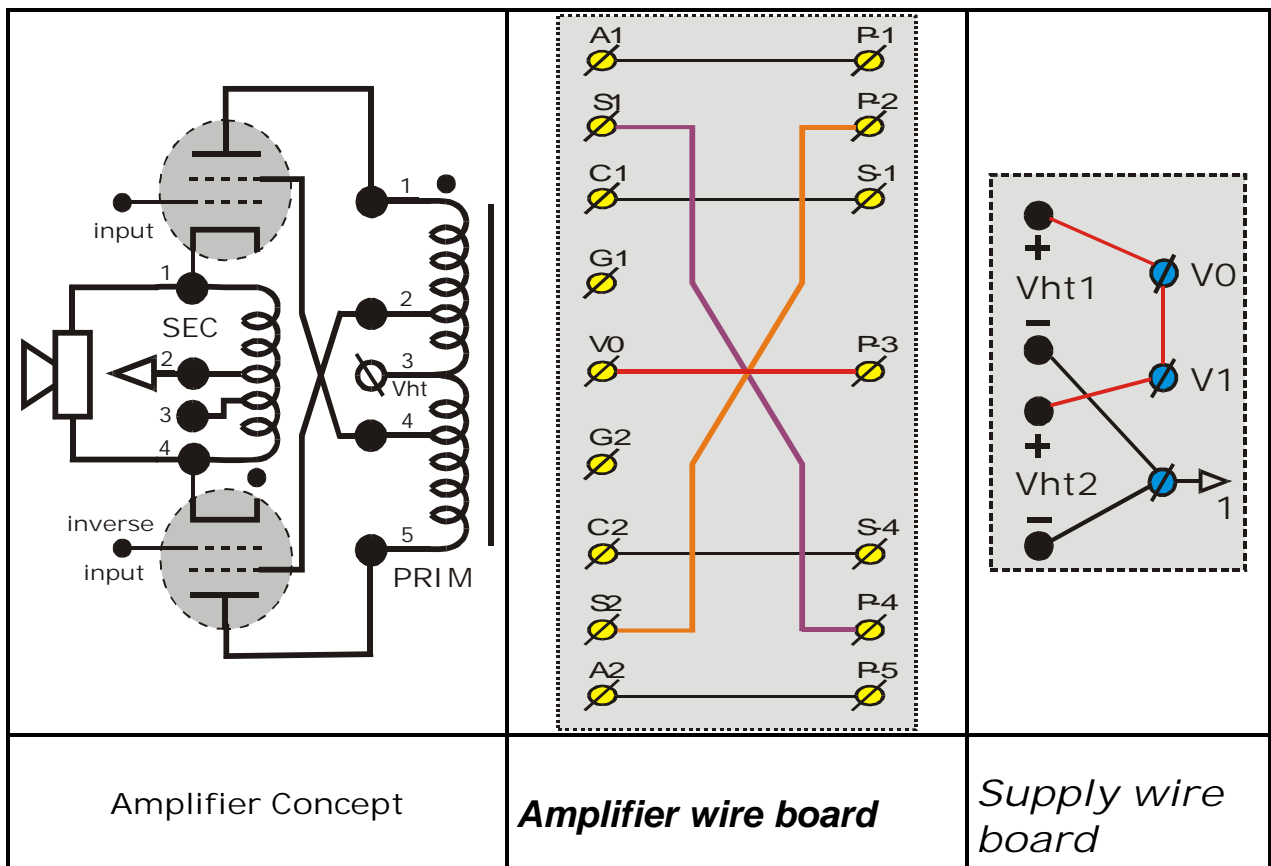
De fases van de signalen op de secundaire aansluitpunten Sec-1 en Sec-4 zijn dusdanig dat tussen de kathode en het stuurrooster van elke eindbuis tegenkoppeling optreedt.

Dit zorgt voor een lagere versterking, onderdrukking van vervorming en voor lagere uitgangsimpedantie. De schermroosters zijn omgekeerd aangesloten op de ultra lineaire aftakkingen van de primaire wikkeling.

Hierdoor treedt daar meekoppeling op in plaats van tegenkoppeling. Dit heeft een aantal interessante gevolgen.



THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM



Number, Name	circuit-13 : pp-Super-Pentode	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4 Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	26	[Watt]
f-lowest @ P-max	13	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 56 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	46.6	[-]
A (4 Ω loaded)	11.1	[-]
Z-out	12.8	[Ω]
DF (8 Ω reference)	0.63	[-]

Remarks:

- 1) Powerful but harsh, not optimal pleasant for the ears
- 2) Suited for guitar amplification, especially in overdrive
- 3) Soft overdrive
- 4) Low damping, colored vacuum tube amp sound character
- 5) Shows details in the sound stage, but not all
- 6) Reacts on the impedance variation versus frequency of the speaker
- 7) See the description for explanation of the harsh character

Het geluidsbeeld van deze versterker is niet optimaal, het vermoeit, het karakter is hard en ietwat scherp, onrustig zelfs. Voor gitaar in overdrive kan het gebruikt worden, maar het zou niet mijn voorkeur zijn. Waarom behandel ik deze niet mooie versterker dan? Omdat hij een goed inzicht geeft in wat er gebeurt als je meekoppeling en tegenkoppeling gaat combineren.

Bij versterker 11 is al gebleken dat tegenkoppeling via de schermroosters de open lus versterking van de eindbuizen met een factor 6 laat afnemen. Nu passen we meekoppeling toe, dus neemt de versterking van de eindbuizen met een factor 6 toe. Hierdoor worden de la-Vak-Vgk karakteristieken opgeblazen en worden ze in alle richtingen groter, ook naar links, wat meer uitgangsvermogen betekent. Dit grotere uitgangsvermogen was ook het oorspronkelijke doel van deze omgekeerde aansluiting van de schermroosters, waarom ik deze schakeling de naam van Super Pentode heb gegeven (zie *1). In wezen wordt de versterker instabiel door de meekoppeling, maar als je deze compenseert door voldoende extra tegenkoppeling, dan blijft een stabiele versterker over. Die extra tegenkoppeling komt van de kathodewikkeling. Die bedraagt een factor die door N_s / N_p gegeven wordt, met $N_s / N_p = 1 / 22.4 = 0.045$. De totale versterking wordt nu ongeveer $190 \times 6 \times 0.045 = 51.3$ (gemeten is 46.6). Deze berekening kan nauwkeuriger (zie *2), maar met deze eenvoudige benadering wordt al voldoende duidelijk wat er gebeurt.

In de meetgegevens vallen nog twee zaken op. Ten eerste is het uitgangsvermogen niet toegenomen, maar afgenomen. Zie hiervoor de uitgebreide analyse (3*) die aangeeft dat de kathode tegenkoppeling groter had moeten zijn. Ten tweede neemt het -3dB frequentiebereik in het hoog opvallend toe. De oorzaak daarvan is de lekinductie tussen de primaire en secundaire wikkeling, die er voor zorgt dat bij hoge frequenties de effectieve tegenkoppeling op de kathode afneemt (in fase draait). Dat verklaart ook waarom de versterker een hard en vermoeiend karakter heeft, want in het hoog neemt daardoor de onderdrukking van vervorming af.

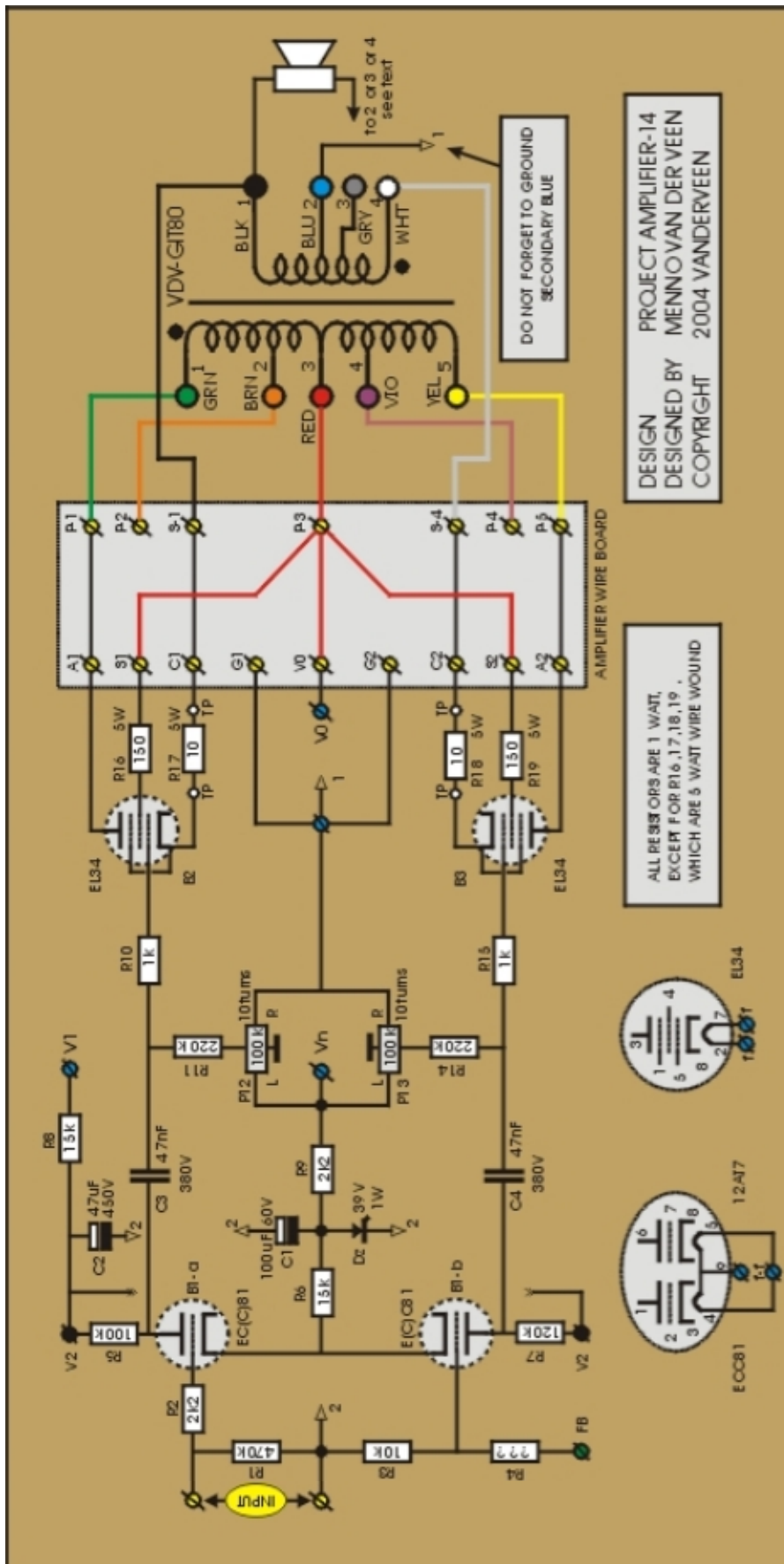
Ook al is deze versterker niet optimaal, hij geeft wel een dieper inzicht in de effecten van gecombineerde mee en tegenkoppeling en de invloed daarvan op de aangenaamheid van het geluidsbeeld.

*1: Menno van der Veen: "Moderne High-End Buizenversterkers met ringkern-uitgangstransformatoren"; hoofdstuk 8; ISBN 90-5381-089-7

*2: Menno van der Veen: "Modelling Power Tubes and their Interaction with Output Transformers"; 104th AES Convention, Amsterdam 1998; paper 4643

*3: Pierre Touzelet, Menno van der Veen: "Small signal analysis for generalized push-pull tube amplifier topology"; 112th AES Convention, Munich 2002; paper 5587

Versterker 14: Pentode Balansversterker met CFB

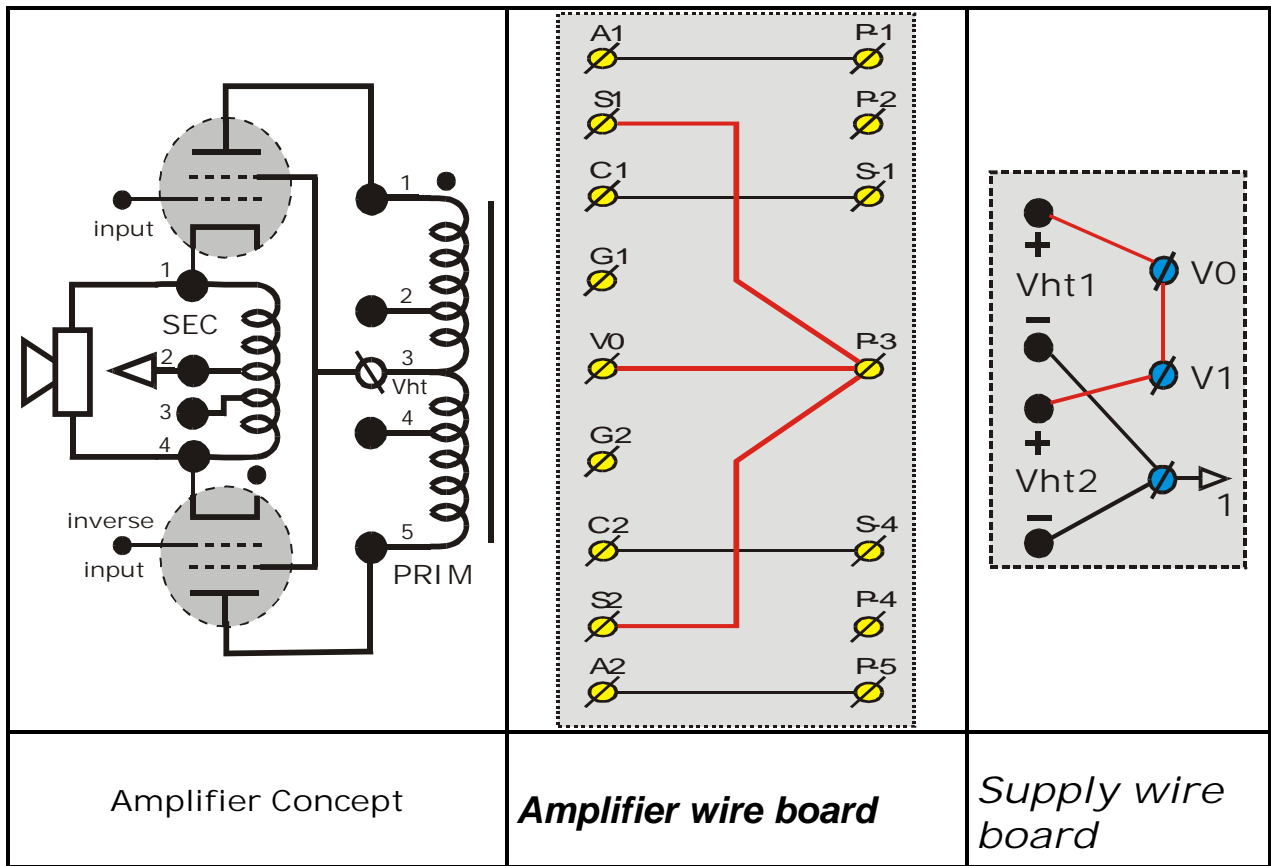


In versterker 14 is het volledige vermogen van de pentode eindbuizen beschikbaar.

De schermroosters zijn rechtstreeks aan de voedingsspanning V_0 verbonden en leveren schijnbaar (*) geen tegenkoppeling.

De kathodes zijn weer op de secundaire wikkeling aangesloten en dat levert krachtige lokale tegenkoppeling op.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 14



Number, Name	circuit-14 : PP Pentode + CFB	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	30	[Watt]
f-lowest @ P-max	14	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 51 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	20	[-]
A (4Ω loaded)	8	[-]
Z-out	6	[Ω]
DF (8Ω reference)	1.3	[-]

Remarks:

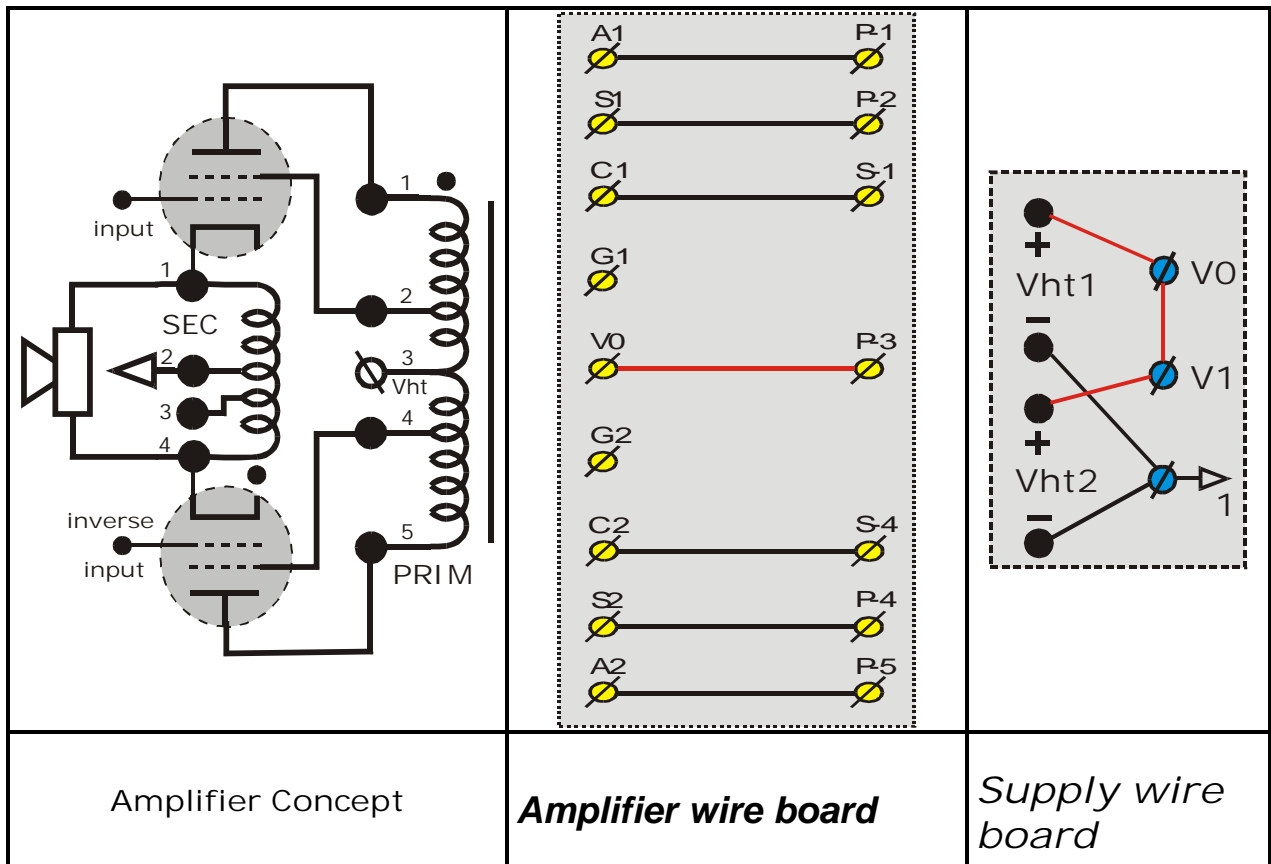
- 1) Powerful and dynamic
- 2) Very suited for clean and open sounding guitar amplification
- 3) Soft overdrive
- 4) Medium damping, little colored valve amp sound character
- 5) Shows details in the sound stage, but not all

Het geluidsbeeld is mooi rond, weinig gekleurd en heeft veel dynamisch vermogen. Niet alle details zijn hoorbaar, dus het is nog niet volledig high-end, maar gaat duidelijk die richting uit. Deze versterker is met name geschikt voor een open doorzichtig gitaargeluid (jazz of akoestisch) waar een onvervormde dynamiek en inzicht in de toonstructuur van belang zijn. In de "overdrive" gaat de versterker zacht in de oversturing, wat een warm aangenaam bluesgeluid oplevert.

Hoe komt het dat deze versterker duidelijk vele malen beter klinkt dan de vorige versterker 13? Daar gebeurde iets vreemds: eerst werd op de schermroosters meekoppeling toegepast waardoor de fouten (vervorming) van de eindbuizen juist versterkt werden, Vervolgens werden die opgeblazen fouten weer gecompenseerd met tegenkoppeling op de kathode. In versterker 14 gebeurt iets anders. De schermroosters koppelen ten opzichte van de kathode iets tegen (*), maar dit is gering. De tegenkoppeling tussen het stuurrooster en de kathode is dominant. Hierdoor wordt de vervorming van de eindbuizen krachtig onderdrukt. Het resultaat is dat de versterker schoon gaat klinken (nog niet maximaal schoon) en dat de dempingsfactor fiks is toegenomen in vergelijking met een gewone pentode schakeling, terwijl het volle uitgangsvermogen beschikbaar is gebleven.

Het -3dB frequentiebereik is aan de hoogkant ruim tot 50 kHz. Dit grote bereik wordt veroorzaakt door de geringe effectieve Miller capaciteit van het stuurrooster naar de anode. Het schermrooster draagt namelijk geen wisselspanning en kan daardoor goed de doordringing van de anodewisselspanning naar het stuurrooster tegenhouden. Bij de volgende versterkers wordt de invloed van deze Miller capaciteit nog duidelijker.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 15



Number, Name	circuit-15 : PP Super Triode ©	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	29	[Watt]
f-lowest @ P-max	14	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 42 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	13.3	[-]
A (4Ω loaded)	6.8	[-]
Z-out	3.8	[Ω]
DF (8Ω reference)	2.1	[-]

Remarks:

- 1) Powerful, controlled, very detailed and open sound stage
- 2) Pure High End amplification with enough damping for most speakers
- 3) Soft overdrive
- 4) Good damping, bass sounds well controlled
- 5) Shows all details in the wide and deep sound stage
- 6) This amp is the high end winner of all amps in this project, amp 12 is equal in sound character, but has half the power of amp 15

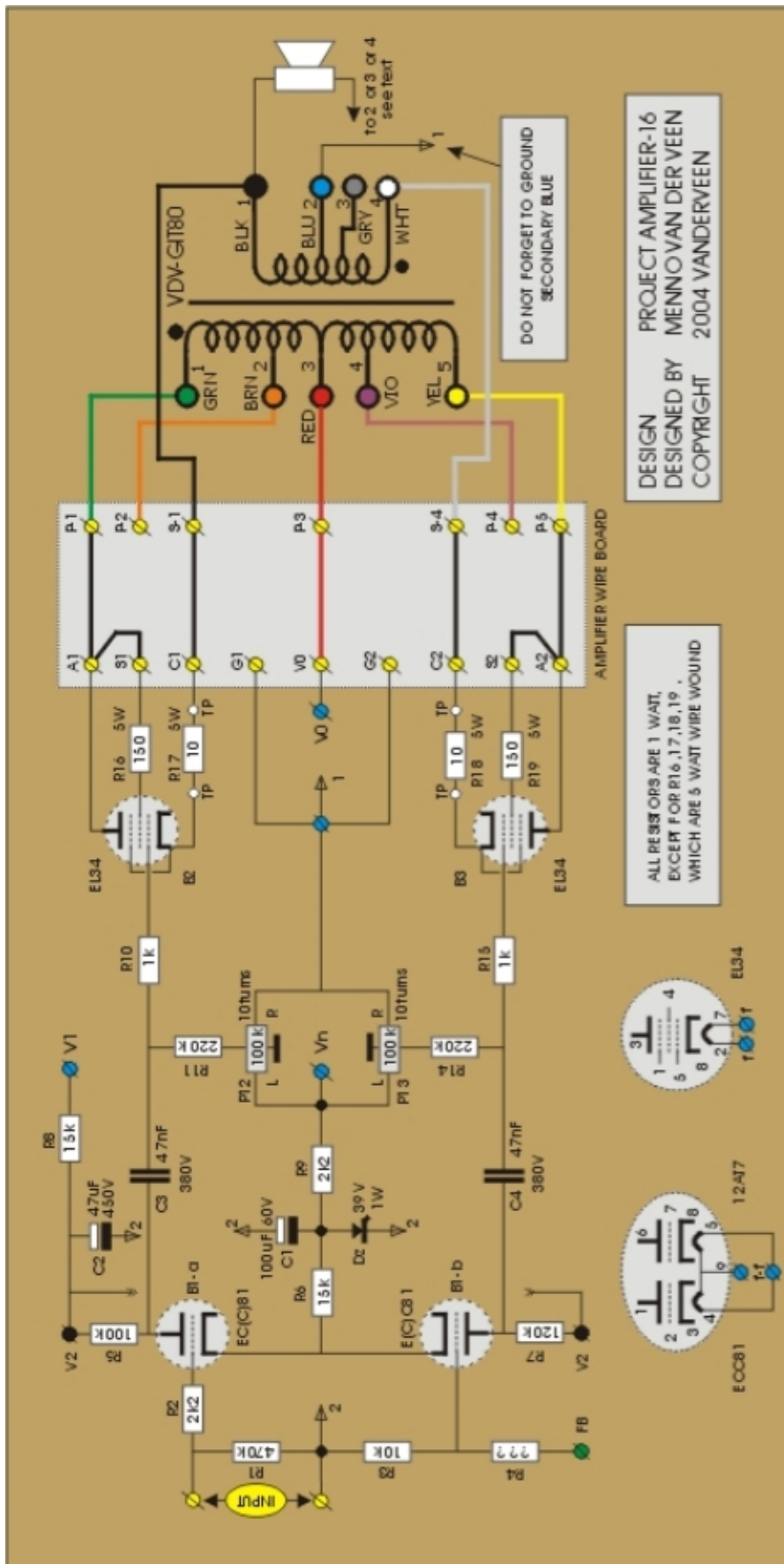
©) Copyright "Super Triode" 1995: Menno van der Veen

Het geluidsbeeld is ongelooflijk detailrijk, open en ruimtelijk. Hier hebben we echt te maken met een high end versterker van allure. Instrumenten en stemmen zijn holografisch in het geluidsveld te plaatsen met de juiste afmetingen. De ruimte tussen de instrumenten klinkt niet leeg, maar "ademt" de akoestiek van de omgeving. Opvallend daarbij is het ver doorlopende gecontroleerde laag met de vele details daarin. Deze diepe dynamische weergave geeft een grote toegankelijkheid tot het geluidsveld van de opname. De details zijn schoon en alle herkenbaar, plus hun "emotionele inhoud", waardoor de betrokkenheid met deze weergave erg groot is.

Het is nu zinvol om versterker 15 te vergelijken met versterker 12. De dempingsfactoren zijn nagenoeg gelijk, evenals de versterkingsfactor. Het uitgangsvermogen van versterker 15 is echter 2 maal zo groot als het vermogen van versterker 12. Deze eigenschappen verklaren waarom ik deze versterker de naam "Super Triode" heb gegeven. Opvallend is dat het -3dB frequentiebereik van versterker 15 in het hoog bijna twee maal zo groot is als van versterker 12. Dit heeft opnieuw met de Miller capaciteit te maken. Deze is in versterker 15 geringer omdat de schermroosters niet de volledige anodewisselspanning dragen, zoals in versterker 12 wel het geval is.

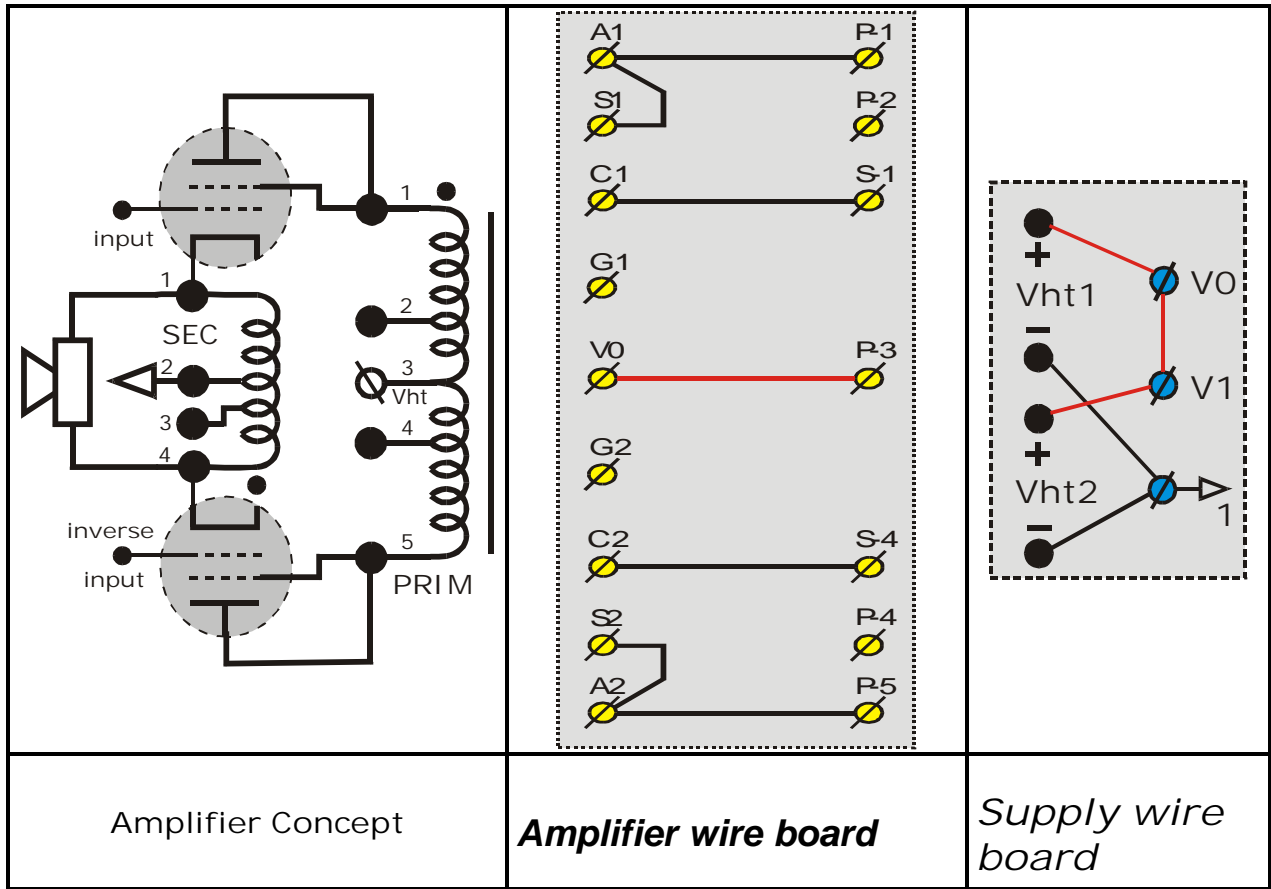
Bij puur subjectief luisteren valt op dat deze versterker controle heeft. Hij is minder dynamisch dan bijvoorbeeld versterker 10 terwijl hun uitgangsvermogen gelijk is. Dit wordt volledig verklaard door de dempingsfactor in beschouwing te nemen. Bij versterker 15 gaan we de richting uit van volledige spanningssturing. Daarbij wordt de beweging van de luidsprekerconus bij lage frequenties net voldoende onder controle gehouden (hangt van het type luidspreker af), waardoor de laagweergave in de tijd gezien afgebakend wordt. Hierdoor worden details in het laag beter herkenbaar en dat verklaart op zijn beurt weer waarom we de akoestiek van de opname beter kunnen horen. Maar bij de bespreking van de volgende versterker 16 zal blijken dat aan laagcontrole grenzen gesteld moeten worden, omdat de weergave ook "te gecontroleerd" kan worden.

Versterker 16: Triode Balansversterker met CFB



In versterker 16 is door de schakelwijze v.d. triodes (schermroosters naar anodes) de helft van het vermogen van de eindbuizen beschikbaar. De kathodes zijn op de secundaire aangesloten. Dat levert nog eens extra locale tegenkoppeling op.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 16



Number, Name	circuit-16 : PP Triode + CFB	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4 Ω to	sec. taps 1 and 3	[-]
P-max @ 1 kHz	13.4	[Watt]
f-lowest @ P-max	10	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 28 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	7.84	[-]
A (4 Ω loaded)	4.9	[-]
Z-out	2.4	[Ω]
DF (8 Ω reference)	3.3	[-]

Remarks:

- 1) Very clean amplifier with many details
- 2) Pure High End amplification with large damping
- 3) Soft overdrive
- 4) Bass sounds very well controlled
- 5) Shows all details in the wide and deep sound stage
- 6) Subjective: this amp sounds too controlled

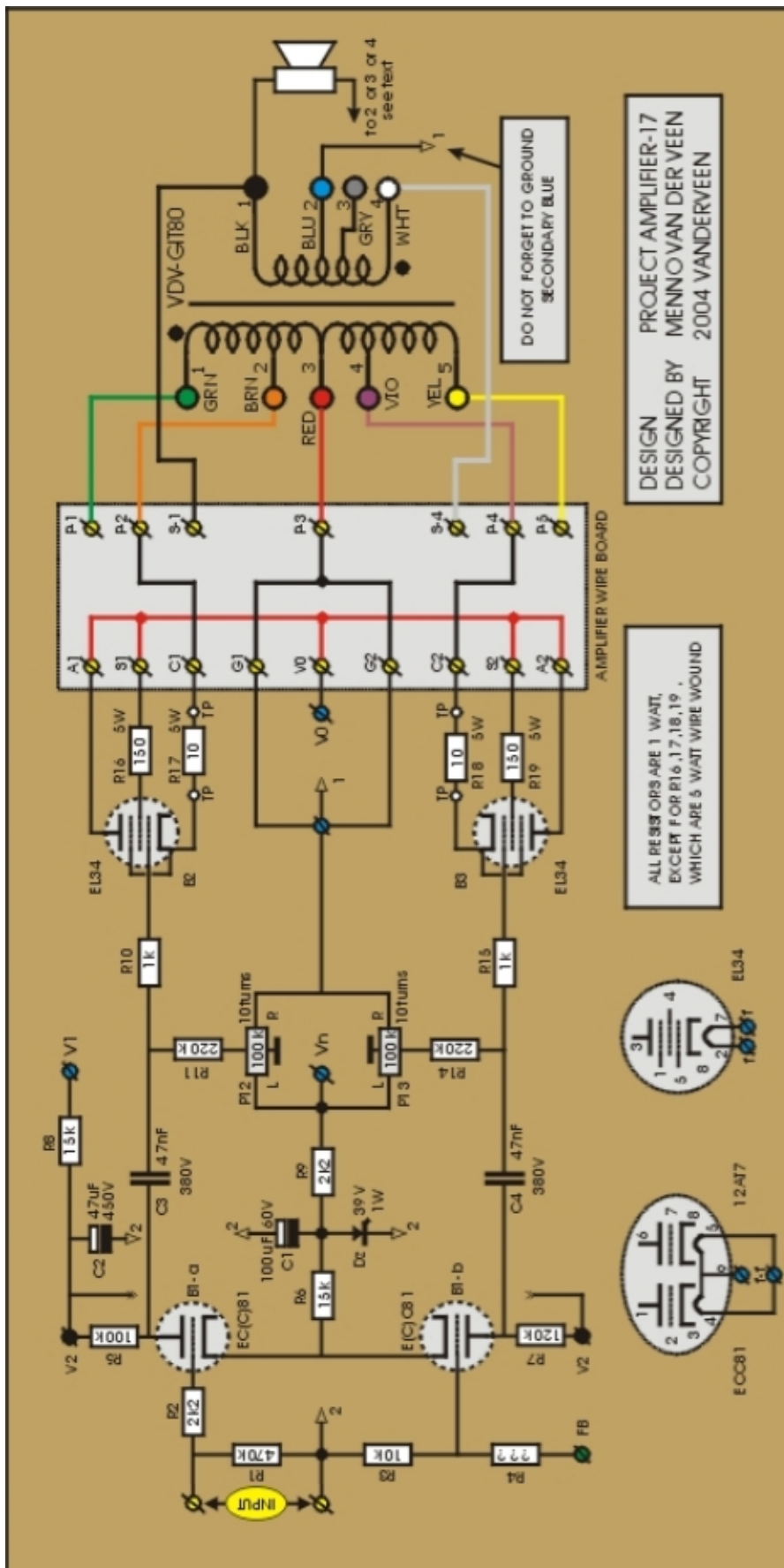
Het geluidsbeeld is ongelooflijk schoon en detailrijk. Opnieuw is dit een high end versterker van allure, maar er is iets mee aan de hand: hij is saai. Er is niks op aan te merken, maar de versterker leeft niet, hij ademt niet, hij verveelt en betreft je niet bij de muziek. Het is net alsof we met de toegenomen lokale tegenkoppeling een zekere grens zijn gepasseerd, alsof er teveel is tegengekoppeld, alsof er teveel wordt gecontroleerd. Aan de hand van een verhaal kan ik duidelijk maken wat er dan gebeurt.

Lang geleden, in de tijd dat er nog geen buizenversterkers waren, was er een kleine man met een kleine stem. Hij wilde zijn ideeën over de hele wereld uitdragen. Om dat te bereiken nam hij een grote vent in dienst, met machtig grote longen en een heel grote mond die ontzettend veel lawaai kon voortbrengen. Met zijn tweeën gingen ze op weg, de wereld rond, om het evangelie van de kleine man uit te dragen. Onderweg bespraken ze dat evangelie en als ze dan in een stadje kwamen, brulde de grote man als een echte versterker de boodschap uit, terwijl de kleine man er tevreden naast stond. Iedereen kon zo de boodschap horen en vele volgelingen waren het resultaat. Na enige jaren raakten de kleine man en zijn versterker wat geïrriteerd, ze waren voortdurend in elkaars gezelschap. De kleine man raakte ontevreden over de manier waarop die ruwe bolster zijn subtiele evangelie uitdroeg. Hij besloot om de grote vent in detail te controleren, ieder spiertje van de grote mond nam hij onder zijn beheer, inclusief de ademhaling. De grote vent deed nu precies zoals hij wilde en toen ze bij het volgende stadje aankwamen was de kleine man super gespannen of de mensen zijn evangelie nu beter zouden begrijpen. Het resultaat? Die dag kwamen er geen nieuwe volgelingen bij, niemand luisterde, het was onrustig en de mensen begonnen te klieren en zelfs met rotte eieren te gooien. De moraal van dit verhaal is dat bij een te grote controle het eigen karakter van de versterker ondersneeuwt en dat daardoor de weergave saai wordt.

Aan deze benadering kleven natuurlijk bezwaren, maar toch vind ik dat de essentie van de problematiek van teveel tegenkoppeling goed wordt verwoord. Er is dus ergens een balans tussen de eigen levendigheid met fouten van een versterker en de mate van correctie van die fouten. Teveel correctie kan het geluidsbeeld saai maken. Vergelijken we nu versterkers 10 tot en met 16 met elkaar, dan is naar mijn mening de balans tussen controle en levendige weergave optimaal bij versterker 15.

Versterker 17: Triode Kathodevolger Balansversterker

In versterker 17 is door de triode schakelwijze (schermroosters naar anodes) de helft van het



vermogen van de eindbuizen beschikbaar.

De kathodes zijn nu op de aftakkingen 2 en 4 van de primaire aangesloten.

De middenaftakking (3) van de primaire wikkeling is met aarde verbonden.

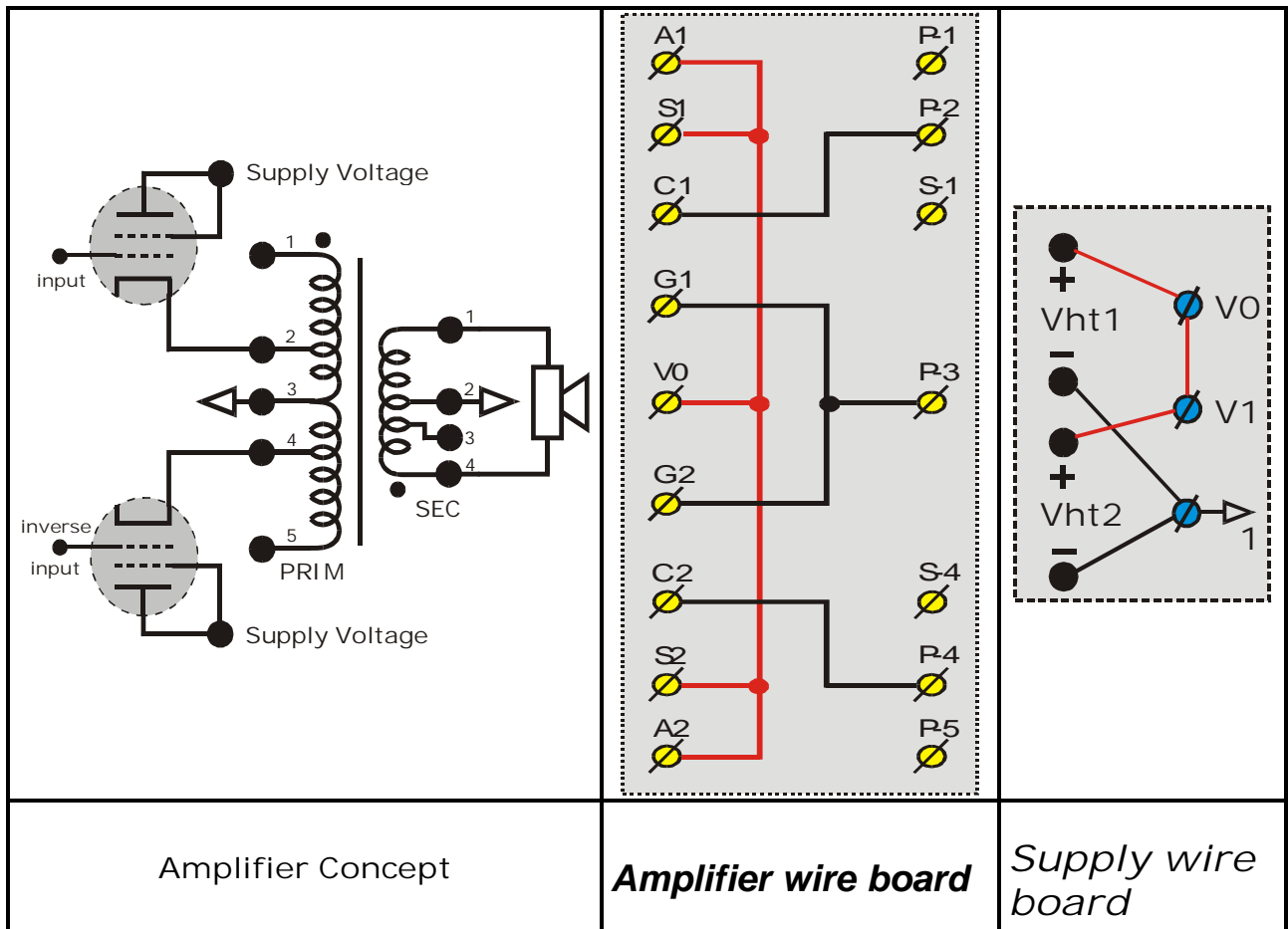
In deze schakeling heeft de stuurtrap B1 net niet genoeg uitgangsspanning om de versterker volledig uit te sturen.

Het vermogen is daarom slechts 8 Watt.

PROJECT AMPLIFIER-17
DESIGNED BY MENNO VAN DER VEEN
COPYRIGHT 2004 VANDERVEEN

ALL RESISTORS ARE 1 WATT,
EXCEPT FOR R16, 17, 18, 19,
WHICH ARE 5 WATT WIRE WOUND

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 17



Number, Name	17 : PP Triode Cathode Follower	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 2; then $Z_{cc} = 900 \Omega$	[-]
P-max @ 1 kHz	8 *	[Watt]
f-lowest @ P-max	7	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 59 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	2.2	[-]
A (4Ω loaded)	1.5	[-]
Z-out	1.9	[Ω]
DF (8Ω reference)	4.1	[-]

Remarks:

- 1) Clean amplifier with many details
 - 2) Large damping
 - 3) Bass sounds very well controlled
 - 4) Shows all details in the wide and deep and open sound stage
- *) This is not the maximum output power, because the driver stage does not deliver enough AC-voltage to drive the power tubes to their limits.

Het geluidsbeeld is open en schoon en detailrijk. De basweergave is krachtig en gedetailleerd. Dat komt vooral door de hoge dempingsfactor van deze versterker. Het frequentiebereik is extra uitgebreid in het hoog omdat de kathodes van de eindbuizen nu laagohmig de uitgangstransformator aansturen. Ook speelt bij de stuurroosters de Miller capaciteit geen rol omdat de anodes en de schermroosters met de constante voedingsspanning V_0 zijn verbonden.

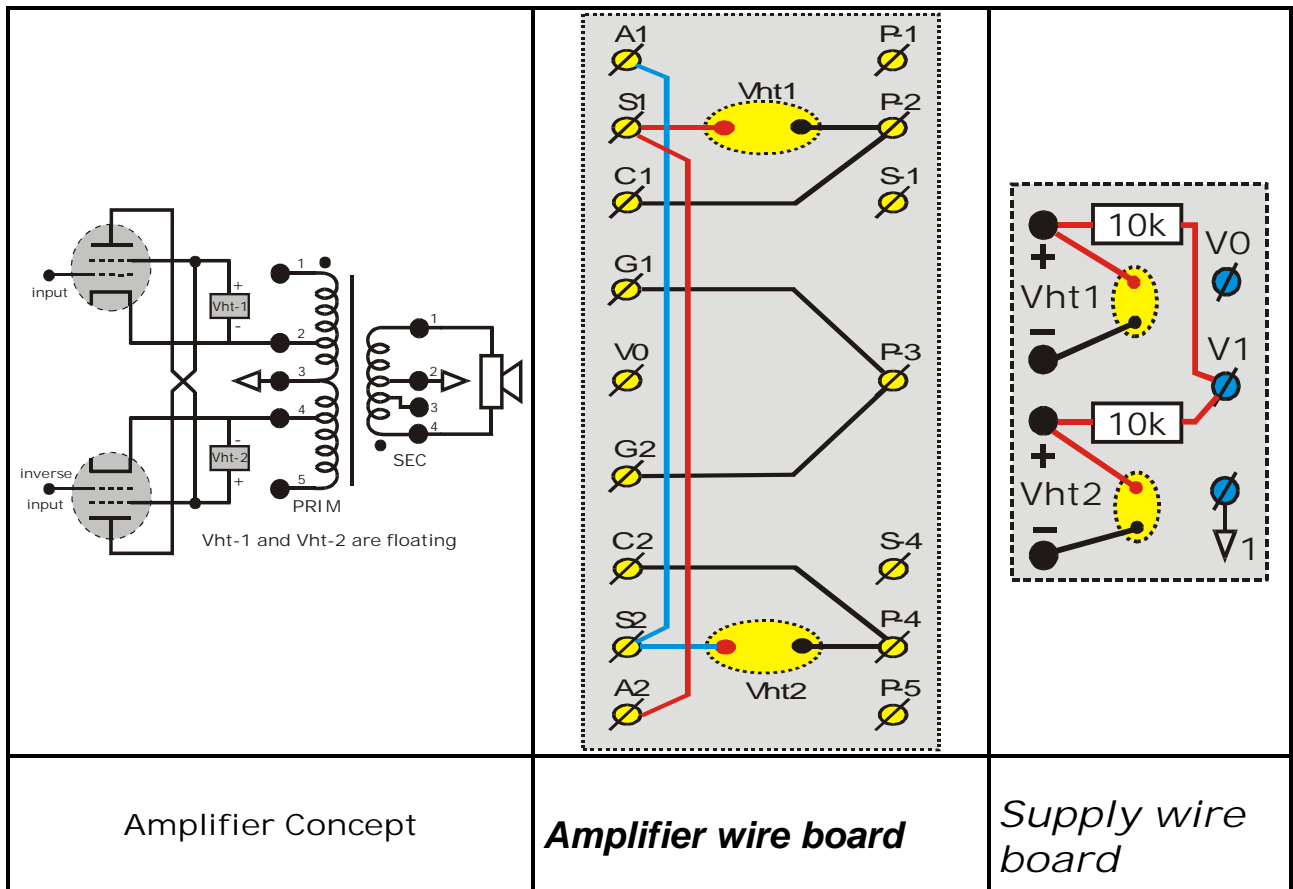
De optimale primaire impedantie Z_{cc} voor deze versterker is experimenteel bepaald door aan de secundaire zijde op de aansluitingen 1 en 2 een regelbare belasting Z_s aan te sluiten en deze zo in te stellen dat het uitgangsvermogen maximaal wordt. Dit houdt in dat bij die test niet de uitgangsspanning V_s maximaal moet zijn, maar dat V_s^2/Z_s maximaal is.

Tussen de primaire aftakkingen 2 en 4 staat bij een uitgangsvermogen van 8 Watt een wisselspanning van 85 Vrms. Per buishelft is dat 42 Vrms en de amplitude van deze wisselspanning op elke kathode is dan 59 V. Om de EL34 eindbuis aan te sturen is tussen het stuurrooster en de kathode ook nog een wisselspanning met ongeveer 30 V amplitude nodig. Dit betekent dat de stuurbuis B1 een wisselspanning van $59 + 30 = 89$ V amplitude moet leveren. Deze grote wisselspanning is echt de grens van de uitsturingsruimte van B1. Meer kan niet en daarom worden de eindbuizen niet tot hun maximum vermogen uitgestuurd. De versterker kan hierop aangepast worden door het principe van bootstrapping rondom B1 toe te passen. Dat valt echter buiten het bestek van deze inleidende verkenning; ik laat dat aan de zelfbouwer over.

Het is interessant om nu te berekenen hoe groot de uitgangsimpedantie van de eindbuizen is als ze als kathodevolger zijn geschakeld. Aan de secundaire zijde is de uitgangsimpedantie 1,5 ohm. Primair wordt dit een factor $900/4$ groter. Dus elke eindbuis gedraagt zich als een spanningsbron met uitgangsimpedantie van 169 Ohm.

Versterker 17 heeft de potentie om zich te ontwikkelen tot een high end versterker. Zoals gezegd moet er dan nog extra aandacht besteed worden aan de stuurtrap. Voor gitaar vind ik hem minder geschikt; hij is te schoon.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 18



Number, Name	18 : PPP Pentode	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 2; then $Z_{cc} = 900 \Omega$	[-]
P-max @ 1 kHz	11 *	[Watt]
f-lowest @ P-max	8	[Hz]
-3dB freq-range	7 Hz – 68 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	0.27	[-]
A (4Ω loaded)	0.2	[-]
Z-out	1.33	[Ω]
DF (8Ω reference)	6	[-]

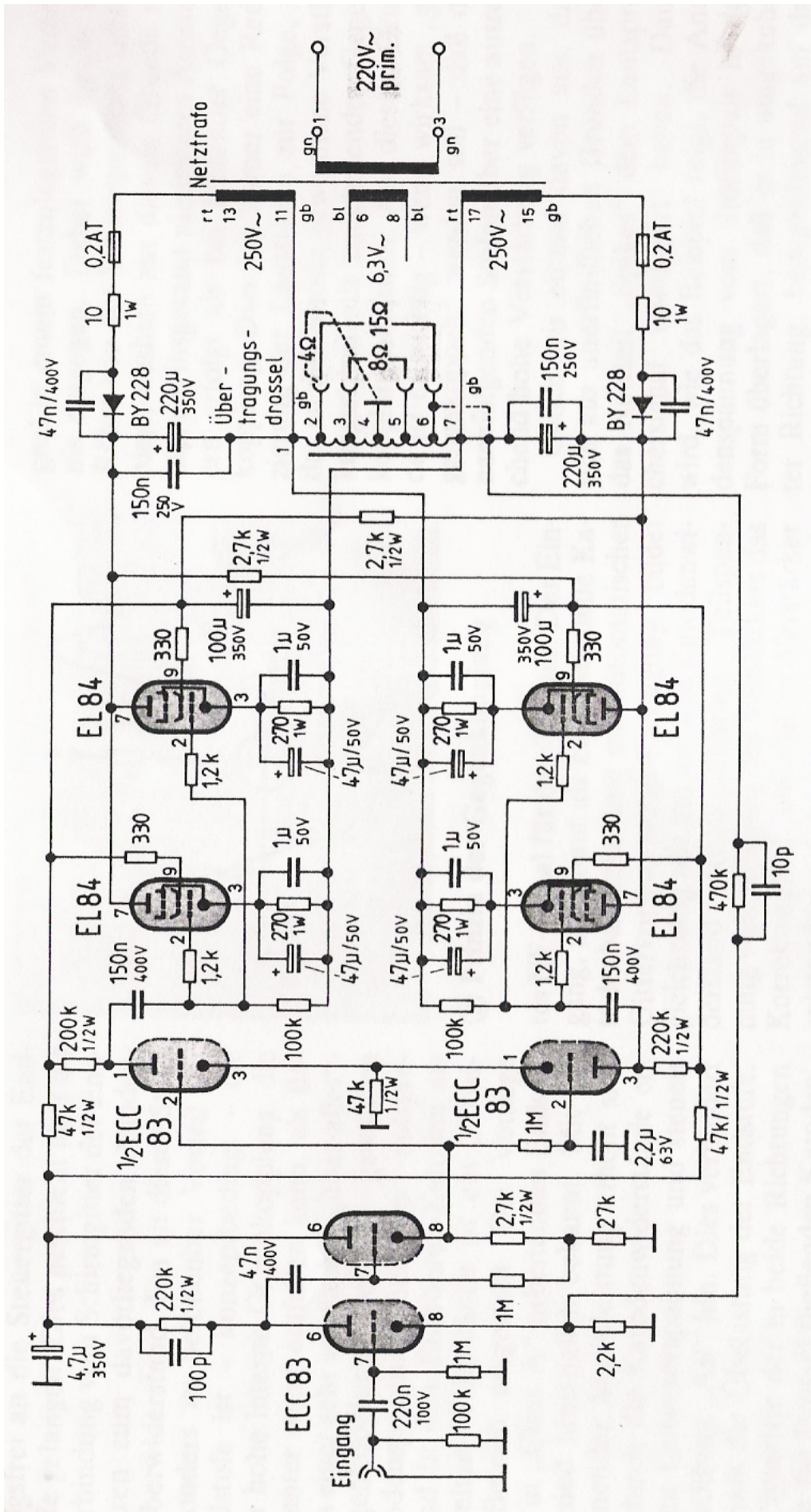
Remarks:

- 1) Very clean amplifier with many details
 - 2) Largest damping factor of all amps
 - 3) Bass sounds very well controlled
 - 4) Delivers a wide and deep and open sound stage
- *) This is not the maximum output power, because the driver stage does not deliver enough AC-voltage to drive the power tubes to their limits.

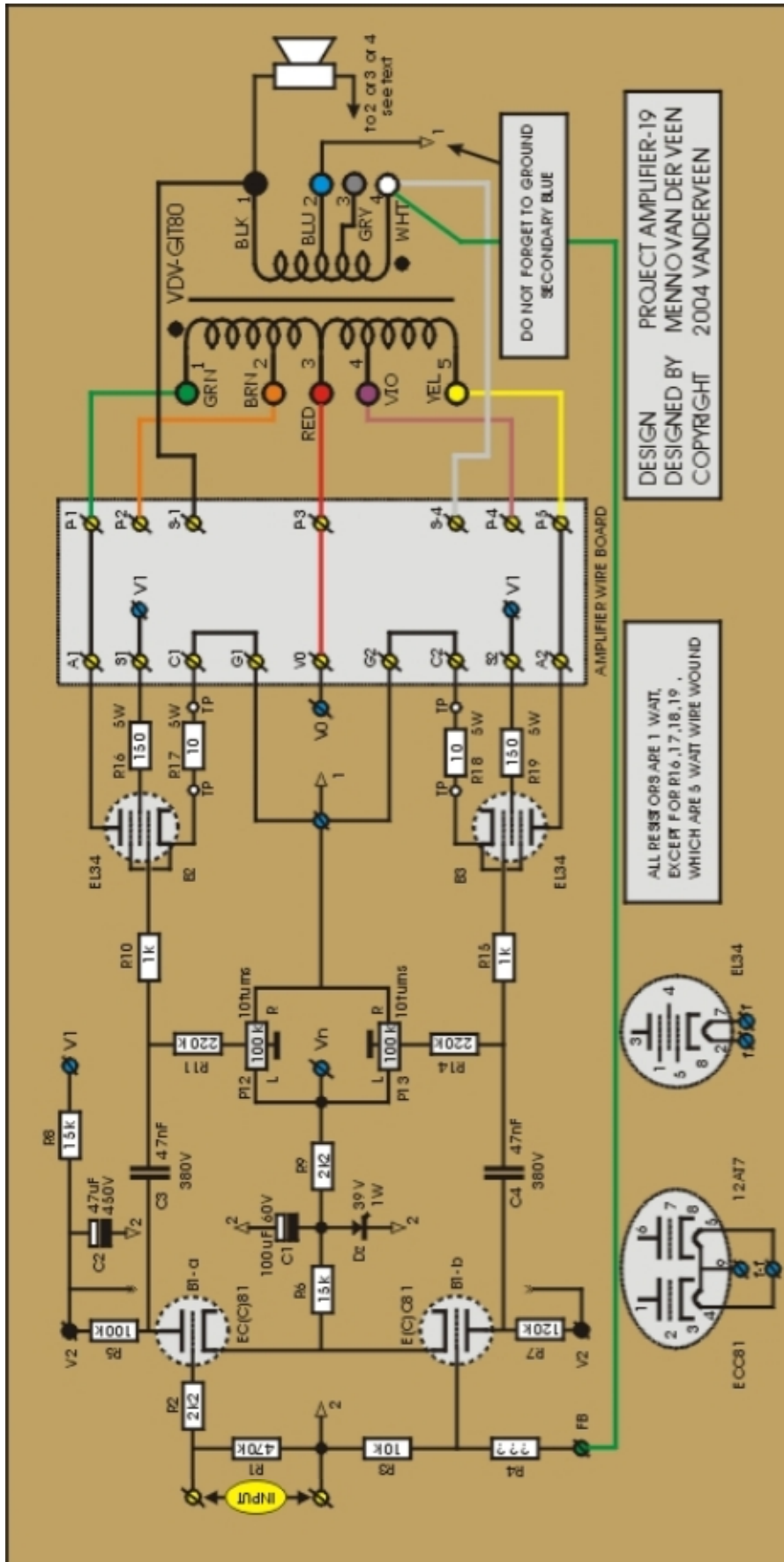
Het geluidsbeeld is open en schoon en detailrijk. De basweergave is krachtig en gedetailleerd. De dempingsfactor van deze versterker is het grootst van alle versterkers die ik in dit project bespreek. Het frequentiebereik is extra uitgebreid in het hoog omdat de kathodes van de eindbuizen nu laagohmig de OPT aansturen. Opnieuw speelt de Miller capaciteit geen rol omdat de schermroosters elk met hun eigen constante voedingsspanning ten opzichte van stuurrooster en kathode zijn verbonden en daarmee de wisselspanning op de anode afschermen.

Nemen we nu als voorbeeld de bovenste eindbuis: tussen kathode en schermrooster is de constante voedingsspanning Vht1 aangesloten. Dit maakt dat de eindbuis zich als een pentode gedraagt. De kathode van de bovenste eindbuis stuurt de bovenste aftakking van de primaire aan. De anode van de bovenste eindbuis gaat via de voeding Vht2 naar de onderste aftakking van de primaire, en daarmee is de stroomlus voor de bovenste eindbuis gesloten. Vht2 levert dus de werkspanning voor die bovenste eindbuis. Precies dezelfde beschouwing kan voor de onderste eindbuis geleverd worden, waarbij Vht1 de werkspanning voor deze buis levert. Om een referentie (nul potentiaal) te maken voor de stuurschakeling moet het midden van de primaire geaard worden (tap P-3). De stuurschakeling heeft hoogspanning V1 nodig en die wordt door twee extra weerstanden van 10kOhm (1 Watt) afgeleid van de hoogspanningen Vht1 en Vht2. Deze voedingen zweven en bewegen mee met het audiosignaal. Door de aarding van tap P-3 is hun negatieve zijde vlak bij aarde potentiaal. Vht1 en Vht2 zweven in onderling omgekeerde richting mee met het audiosignaal en dit wordt door de twee weerstanden van 10kOhm precies opgeheven zodat er een constante voedingsspanning voor de stuurtrap B1 ontstaat.

De stuurtrap levert te weinig stuurspanning, net als bij de vorige versterker 17. Toen heb ik aangegeven dat door middel van bootstrapping de stuurspanning vergroot kan worden. Nu lever ik er een voorbeeldschema bij, zie volgende pagina. Het werd gepubliceerd in Funkschau 24/87. Ik heb de naam van deze slimme ontwerper niet kunnen achterhalen. Alle eer en bewondering heb ik voor zijn werk en ik hoop nog eens te horen wie de auteur is geweest. Let ook op de uitgangstrafo die in dit geval een enkele wikkeling bezit. Ik hoop met dit voorbeeld voldoende aanzet gegeven te hebben hoe de aansturing van een PPP-versterker op een slimme manier kan worden opgelost. Maar experimenteer eerst eens met de bestaande schakeling van B1 in mijn project. Daarmee zijn de goede eigenschappen van dit type versterker al volledig te beluisteren



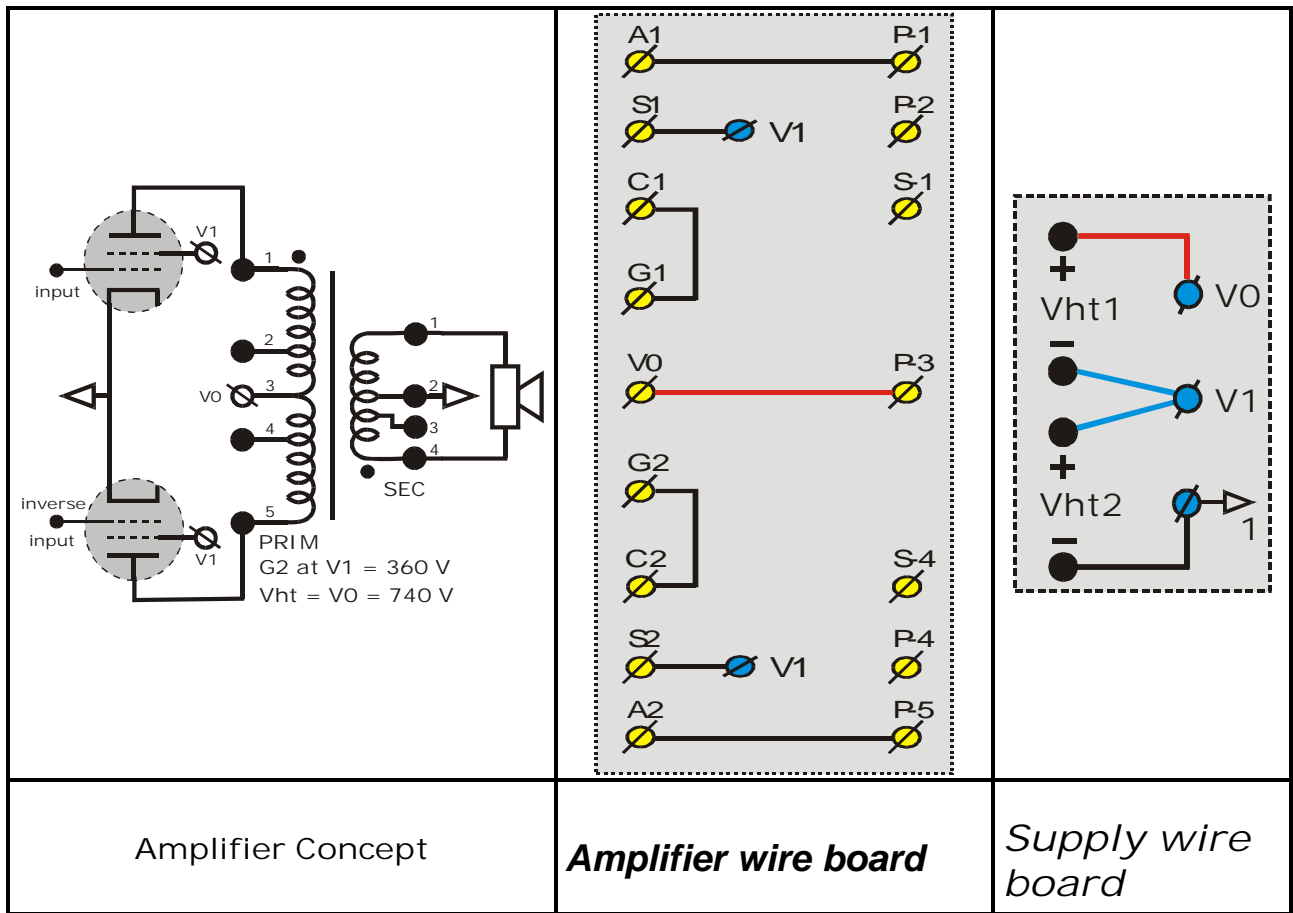
Versterker 19: Pentode balansversterker met dubbel uitgangsvermogen



Uit eindbuizen kan meer dan het dubbele uitgangsvermogen gehaald worden door de voedingsspanning te verdubbelen (van 360 naar 740 V) en de primaire impedantie van de uitgangstransformator twee maal groter te kiezen (Zaa van 4 kOhm naar 8 kOhm).

De maximale wisselstroom door de buizen neemt dan niet toe, terwijl de spanningsvariatie twee keer zo groot wordt. De schermroosters kunnen meestal die verhoogde voedingsspanning niet aan (doorslag en/of te grote schermrooster dissipatie) en houden in deze versterker daarom hun oorspronkelijke voedingsspanning van 360 V.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 19



Number, Name	19 : PP Pentode @ 740 V	Units
I_0 per tube	25 (EL34); 50 (EL156): see text *	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 2; $Z_{aa} = 8000 \Omega$	[-]
P-max @ 1 kHz	78-contin, 91-peak	[Watt]
f-lowest @ P-max	24	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 20 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	147	[-]
A (4Ω loaded)	12	[-]
Z-out	45	[Ω]
DF (8Ω reference)	0.18	[-]

Remarks:

- 1) Very powerful and dynamic amplifier
 - 2) Small damping factor, some overall negative feedback is advised
 - 3) Bass sounds uncontrolled and weak, very suitable for guitar
 - 4) Delivers a dynamic loud and not very open soundstage
- *) The quiescent current strongly depends on the tubes used. With EL34 a good choice is 25 mA per tube. Select 40 mA with 6550 and 50 mA with EL156 or KT90 or KT99.

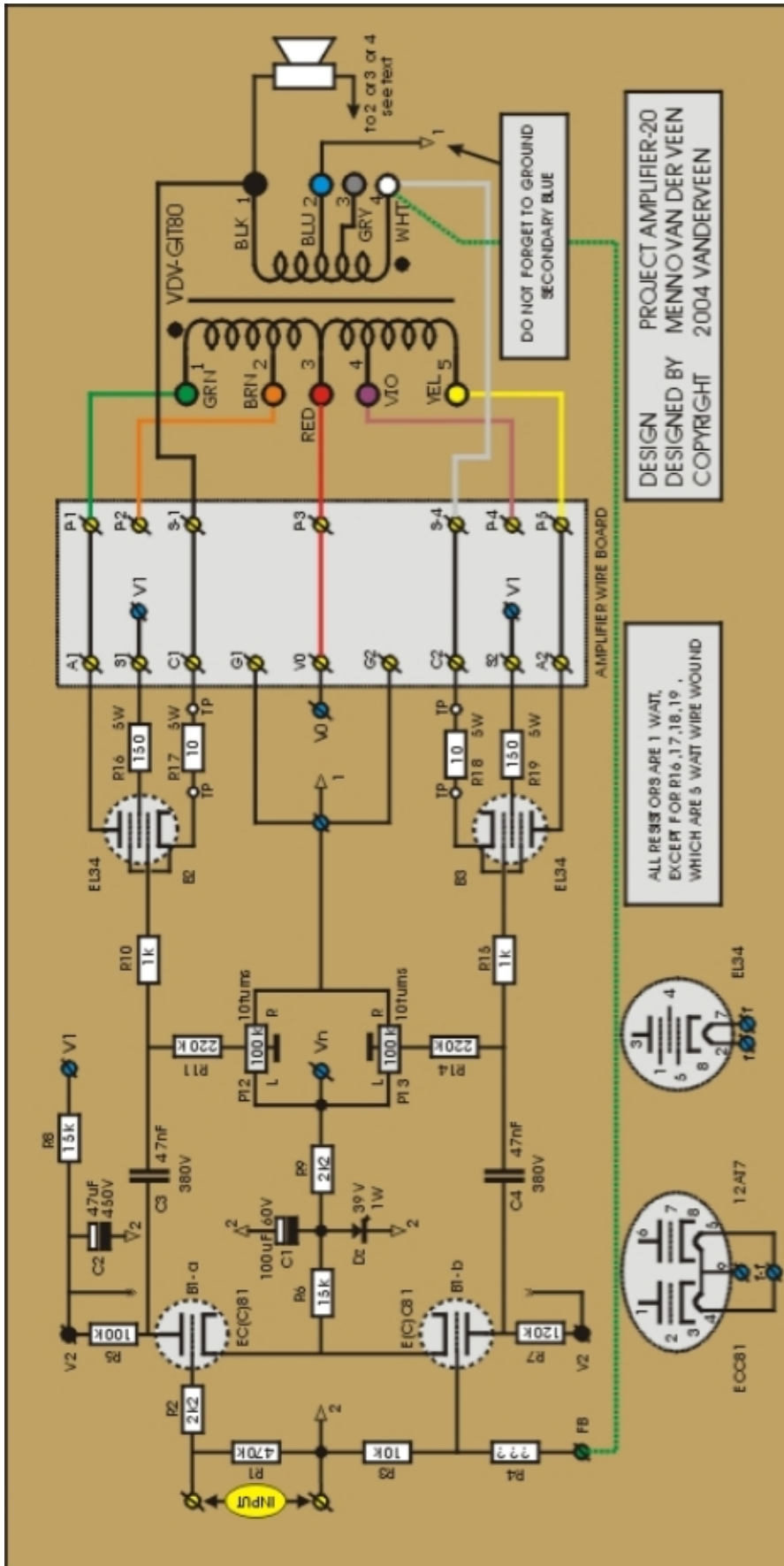
Een andere manier om het dubbele uitgangsvermogen uit te leggen is door te kijken naar de la-Vak-Vgk karakteristieken. Deze veranderen niet omdat V_{g2} constant blijft. Het rustpunt ligt (vergelijk met versterker 10) nu bij 740 V in plaats van 360 V. De belastingslijn van de primaire wikkeling van de uitgangstrafo moet half zo stijl verlopen, anders wordt de stroom te groot en dat kan de buis niet leveren. Dus Z_{aa} wordt nu 8 kOhm. Het vermogen is de wisselspanning in het kwadraat gedeeld door Z_{aa} . De primaire wisselspanning kan twee maal zo groot worden (V_0 nu op 740 V) en Z_{aa} is twee maal zo groot. Dan is het vermogen effectief ook twee keer zo groot geworden in vergelijking met versterker 10.

Wat nu heel belangrijk is dat de buis niet boven zijn grenzen wordt belast. Voor de EL34 is een maximale anodedissipatie $P_{a,max} = 25 \text{ W}$ toegestaan. Bij 740 V voedingsspanning is dan een maximale ruststroom $I_0 = 25/740 = 34 \text{ mA}$ mogelijk. Ik heb 25 mA gebruikt om de EL34 eindbuizen niet op hun grens te belasten. Bij deze instelling blijkt de ruststroom echter toch te laag te zijn. In de Lissajoux afbeelding (V_{uit} op verticale scoop-as en V_{in} op horizontale scoop-as) is overduidelijk de overgang zichtbaar van klasse A (beide buizen geleiden) naar klasse AB (de eindbuizen nemen afwisselend bij grote signaalamplitudes de stroomlevering over). De Lissajoux-lijn is dus niet recht en deze vooral 3-e harmonische vervorming hoor je. Voor gitaar is dat niet erg, maar het past niet in high-end.

De oplossing om de hoorbare klasse A naar AB vervorming te voorkomen is het vergroten van de ruststroom. De EL34 is dan niet meer geschikt. Betere buizen zijn dan de 6550-WA ($I_0 = 40 \text{ mA}$; $P_{a,max} = 35 \text{ W}$) of de EL156 of KT90/99 ($I_0 = 50 \text{ mA}$; $P_{a,max} = 50 \text{ W}$). Als sneeuw voor de zon verdwijnt daar de klasse A naar AB vervorming en een veel schoner geluidsbeeld is het resultaat.

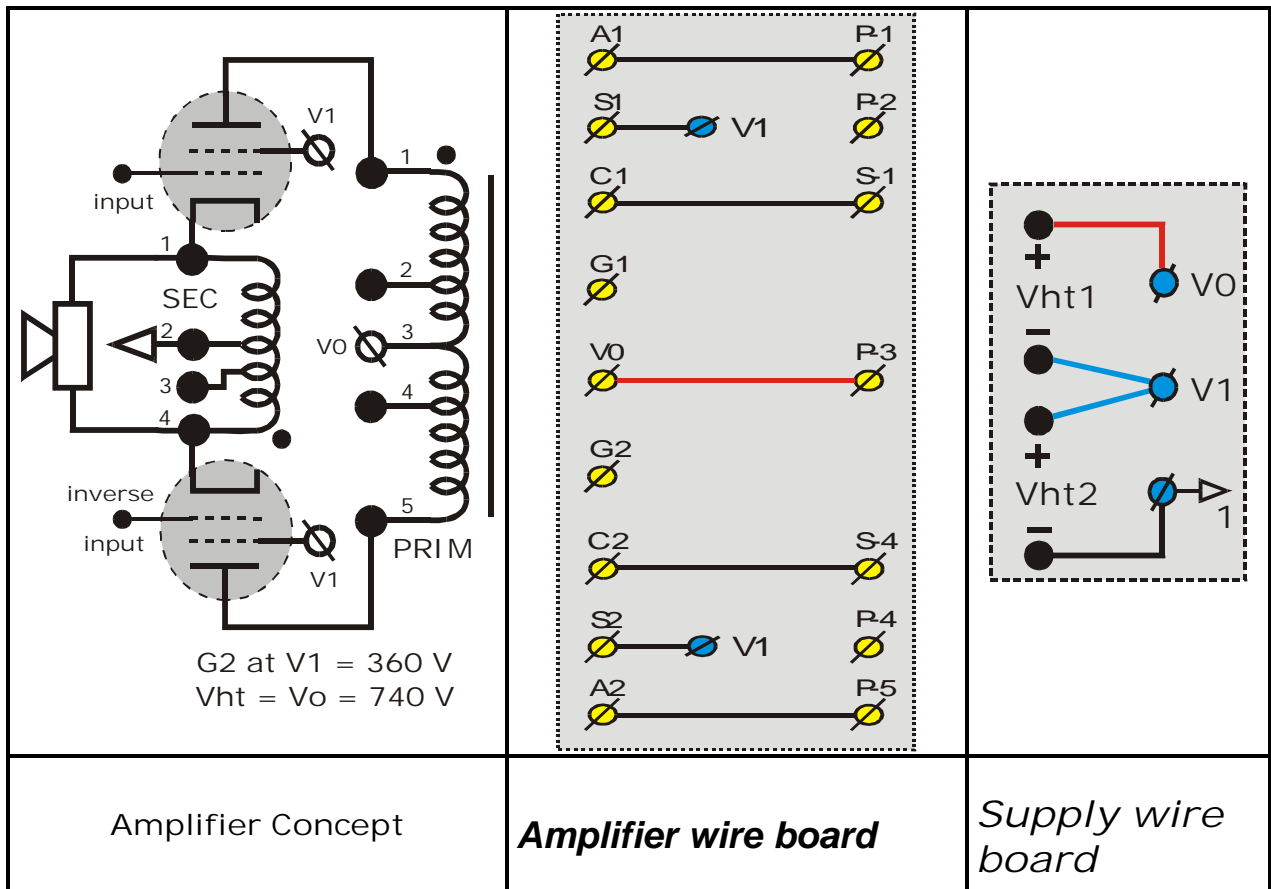
Omdat de versterker in pentode instelling staat is de dempingsfactor laag. Dit kan verbeterd worden door tegenkoppeling toe te passen. In het schema is de tot nu toe nog niet gebruikte tegenkoppelweerstand R_4 aangeduid met "???". Verbindt R_4 met de secundaire witte (pin 4) aansluiting en kies voor R_4 waarden beginnend bij 1 MOhm tot steeds kleinere waarden. Hoe kleiner R_4 , des te groter de tegenkoppeling en de dempingsfactor. Deze afstemming kan op het gehoor geschieden totdat de demping groot genoeg is om de basweergave voldoende onder controle te houden. Merk bij deze "afstemming" ook op dat door de tegenkoppeling het fraaie dynamische karakter van de versterker afneemt. Hier blijkt dat je bij tegenkoppelen winst kunt behalen, maar dat je tegelijkertijd ook fraaie eigenschappen verliest. Daarom adviseer ik om de optimale waarde van R_4 op het gehoor vast te stellen. Een laatste opmerking: toen ik de uitgangstransformator VDV-GIT80 ontwikkelde ging ik uit van de ontwerpeis dat bij 80 Watt de laagste volvermogen frequentie 40 Hz moest bedragen. Uit de metingen blijkt echter dat de uitgangstransformator vele malen beter is, want deze laagste frequentie ligt bij 24 Hz.

Versterker 20: Hoog vermogen Pentode balansversterker met CFB



Net als bij eindversterker 19 is nu opnieuw de hoogspanningsvoeding 740 V en staan de schermroosters op 360 V. Extra in versterker 20 is de lokale tegenkoppeling op de kathodes van de eindbuizen. Hierdoor daalt de open lus versterking en neemt de dempingsfactor toe.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 20



Number, Name	20 : PP Pentode @ 740 V + CFB	Units
I ₀ per tube	25 (EL34); 50 (EL156)	[mA]
Connect 4 Ω to	sec. taps 1 and 2; Z _{aa} = 8000 Ω	[-]
P-max @ 1 kHz	72-continu, 91-peak	[Watt]
f-lowest @ P-max	24	[Hz]
-3dB freq-range	8 Hz – 38 kHz	[Hz-kHz]
A(unloaded)	14.6	[-]
A (4 Ω loaded)	7.1	[-]
Z-out	4.2	[Ω]
DF (8 Ω reference)	1.9	[-]

Remarks:

- 1) Very powerful and dynamic amplifier
- 2) Good damping factor, for more apply some overall negative feedback
- 3) Bass sounds controlled, very suitable for guitar
- 4) Delivers a dynamic loud and open soundstage
- 5) Measurements are with EL34 (25 mA per tube). Use 50 mA with EL156

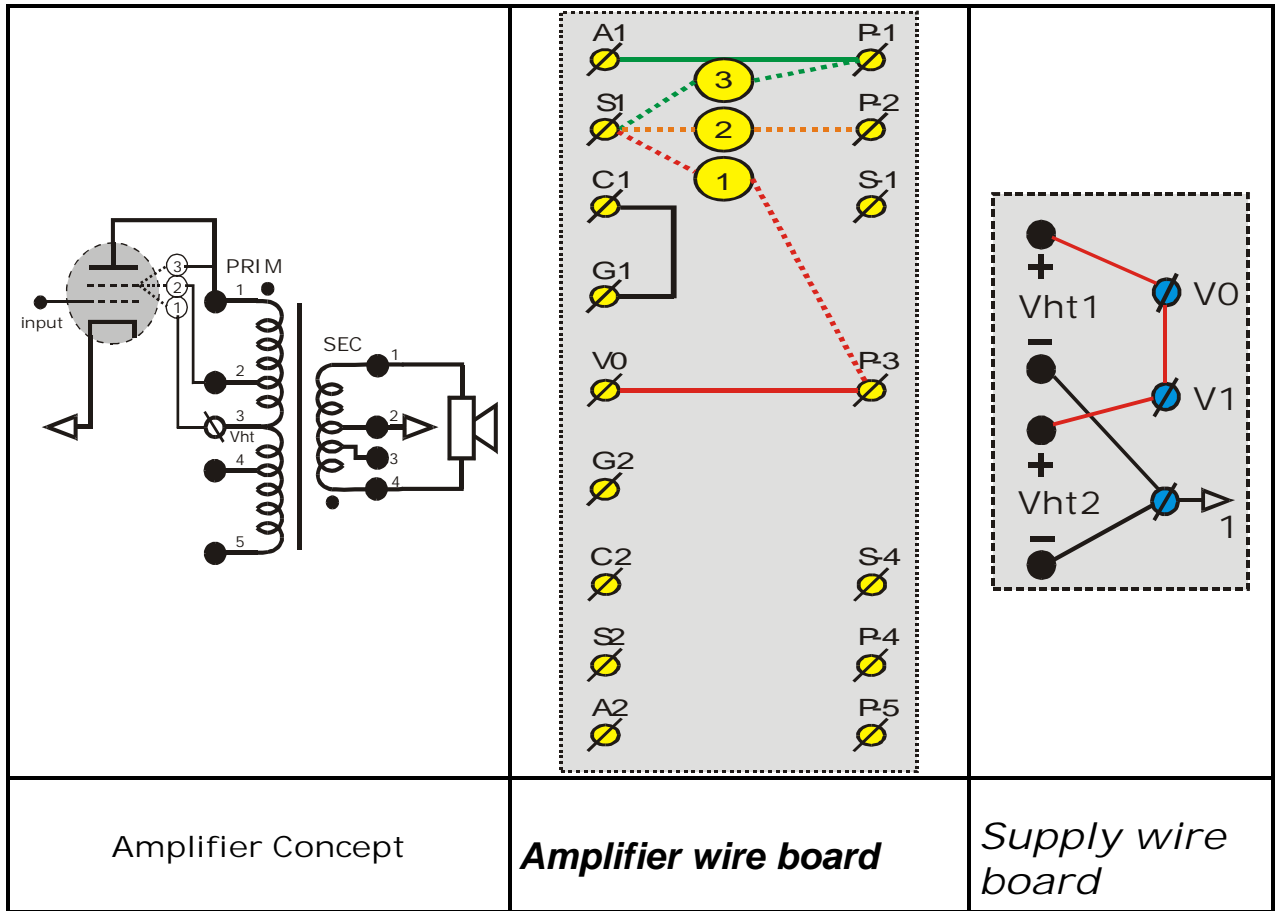
Bij versterker 19 werd aangegeven dat de EL34 eindbuizen een ruststroom moeten krijgen van 25 mA. Deze ruststroom is eigenlijk te klein en dat levert vervorming op die met de Lissajoux weergave op de oscilloscoop gemakkelijk zichtbaar is te maken. Nu is extra kathode tegenkoppeling aanwezig en dat vermindert de vervorming aanzienlijk, maar nog niet helemaal. Het beste blijft daarom de toepassing van 6550 of KT156 eindbuizen met een ruststroom van 40 à 50 mA.

Vergelijk tussen versterker 19 en 20 levert weer interessante resultaten op. Door de tegenkoppeling is de open lus versterking A_o ongeveer 10 keer kleiner geworden, evenals de uitgangsimpedantie. Dit klopt keurig met de theorie. De -3dB bandbreedte in het hoog is duidelijk toegenomen tot 38 kHz en dat komt omdat de primaire wikkeling laagohmiger wordt aangestuurd.

Subjectief is deze versterker heel bijzonder. Hij is uiterst dynamisch en meer dan voldoende schoon, uiterst geschikt voor gitaar en werkelijkheidsweergave. Maar hij is nog niet helemaal af. Er is een klein beetje extra totaal tegenkoppelen nodig met R4 om de dempingsfactor ietsje groter te maken. Dit is opnieuw een kwestie van subjectief afstemmen door R4 een steeds kleinere waarde te geven, beginnend bij 1M Ω . Zonder deze extra tegenkoppeling reageert de versterker net iets te sterk op de impedantie curve van de aangesloten luidspreker. Bij mijn luidsprekers (MC-3 van Rob Meyst) leverde dat enige mid-kleuring op, die als sneeuw voor de zon verdween met R4. Dit zal per type/model luidspreker verschillend zijn, waarom ieder zijn eigen afstemming zal moeten vinden. Aangenaam is het bijzondere dynamische karakter, wat bij milde totaal tegenkoppeling met R4 behouden blijft. Voor gitaar is R4-tegenkoppelen niet nodig. De versterker is dan loeihard, schoon en uiterst muzikaal.

Met deze bijzondere hoogvermogen dynamische versterker sluit ik de bespreking van balansversterkers af. De volgende keer start ik met de versterkers 1 tot en met 3, en zet daarmee de eerste schreden op het interessante pad van Single Ended versterkers.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 1/2/3



Number, Name	circuit-1-2-3 : SE PENT-UL-TR	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 2	[-]
P-max @ 1 kHz	3.1 - 4.5 - 4.5	[Watt]
-3dB low freq	57 - 35 - 23	[Hz]
-3dB high freq	31 - 23 - 19	[kHz]
A(unloaded)	245 - 85 - 17	[-]
A (4Ω loaded)	20 - 14 - 9	[-]
Z-out	45 - 21 - 3.8	[Ω]
DF (8Ω reference)	0.18 - 0.6 - 2.1	[-]

Remarks:

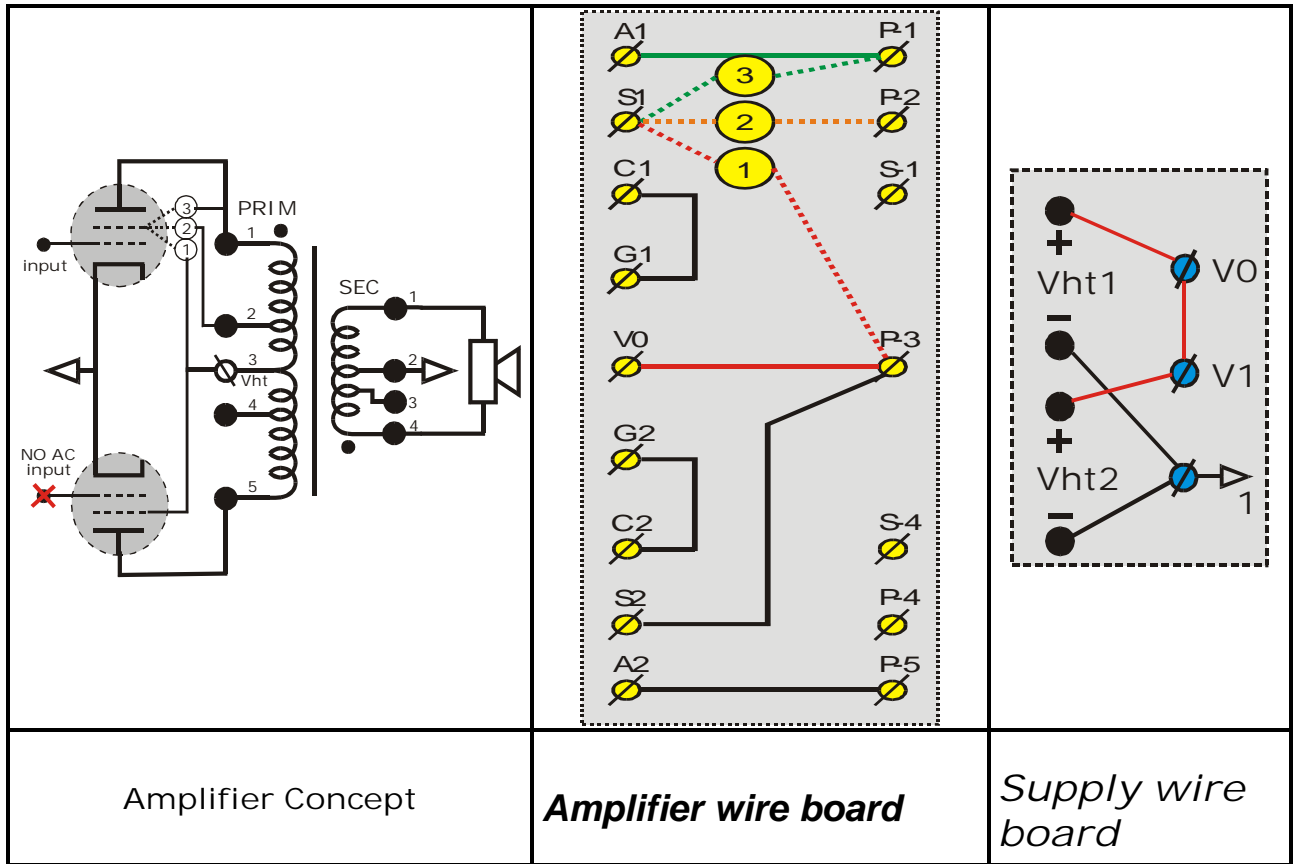
- 1) The core of the OPT is in saturation
- 2) Qualities of SE-amp are noticeable
- 3) Silky sound character
- 4) Bass sounds weak because of small L_p
- 5) Details are hidden behind a curtain
- 6) Subjective: these amps sound nice, but certainly no high end.

De eindbuis B3 (de onderste) is niet aangesloten, alleen de eindbuis B2 is in werking. De negatieve roosterspanning wordt zo ingesteld dat er een ruststroom van 50 mA doorheen loopt. De primaire impedantie van de bovenste helft van de transformator bedraagt 2 kOhm als een 4 Ohm luidspreker secundair tussen sec-1 en sec-2 wordt aangesloten. Met deze instellingen kan later nog gespeeld worden, maar nu is enige aanpassing en optimalisatie aldaar nog niet belangrijk. De ruststroom door de primaire wikkeling wordt niet gecompenseerd en daardoor is de kern van de OPT zwaar in verzadiging. Alle magnetische kerndeeltjes zijn gericht en er is nauwelijks ruimte over om te bewegen met het ritme van de muziek. Daardoor wordt de effectieve primaire zelfinductie L_p heel klein. Dit is direct te zien aan het wegvallen van de laagste frequenties; de basweergave is slecht. De laagste -3dB frequentie wordt namelijk bepaald door L_p en de parallelschakeling Z_p van $Z_a = 2 \text{ kOhm}$ met de inwendige weerstand r_i van de buis. De laagste -3dB frequentie volgt dan uit de volgende formule: $f_{-3L} = Z_p / (2 \pi L_p)$.

Starten we met de pentode versie: hier is Z_{out} gelijk aan 45 Ohm. Dan bedraagt r_i van de buis $45 \cdot 2000 / 4 = 22,5 \text{ kOhm}$. De waarde van Z_p bedraagt nu 22.5 kOhm parallel aan 2000 Ohm, dus $Z_p = 1837 \text{ Ohm}$. Gecombineerd met de gemeten f_{-3L} van 57 Hz levert dit voor primaire zelfinductie op: $L_p = 5,1 \text{ H}$. Deze zelfinductie is heel klein, vele malen kleiner dan de maximale waarde van ongeveer $1000 / 4 = 250 \text{ H}$ (per primaire helft), waarmee de verzadiging van de kern is aangetoond. Zowel voor de ultra lineaire als de triode instelling kan men eenzelfde berekening uitvoeren. De uitkomst is steeds dat L_p nu te klein is om de bastonen goed weer te kunnen geven. In de SE versterkers die ik hierna behandel (versterkers 4 tot en met 9) voorkom ik deze kernverzadiging door compensatie van de ruststroom met de hulp van B3. Direct wordt dan de basweergave weer correct en krachtig, maar hierover later meer.

Voor de hoge -3dB frequentie kun je een soortgelijke redenering volgen, maar dan is de lekzelfinductie (samen met C_{ip}) de bepalende factor. Ik laat dat nu verder buiten beschouwing. Als jongetje van 14 jaar zette ik mijn eerste schreden op buizenpad door zelf een versterker te bouwen, push pull met 2 x EL84. Wat mij bij die versterker verbaasde was dat als ik er één EL84 uittrok, ik werkte dan dus in SE, dat ik deze versterker veel mooier vond klinken. Zo ontdekte ik voor het eerst de kracht en de schoonheid van SE versterkers en toen snapte ik er nog niks van. Nu, heel veel jaren later, begrijp ik wat er toen gebeurde. Want ondanks de matige laagweergave, ondanks de vervorming van de verzadigde kern, ondanks de nog niet optimale instelling, is aan deze project versterkers opnieuw heel goed te horen dat SE geweldig klinkt. Ik noem het natuurlijk, zijdeachtig, uiterst muzikaal. Het klopt voor mijn oren en het meet naar niks. Daarover ga ik de volgende keer verder, maar dan met een gecompenseerde ruststroom, zonder verzadigde kern. Wat er dan gebeurt wordt heel spannend!

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 4/5/6



Number, Name	C 4-5-6 : SE P-UL-TR with Io-comp.	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4Ω to	sec. taps 1 and 2	[-]
P-max @ 1 kHz	5.3 - 5.3 - 5.3	[Watt]
-3dB low freq	8 - 8 - 7	[Hz]
-3dB high freq	16 - 16 - 20	[kHz]
A(unloaded)	82 - 34 - 7	[-]
A (4Ω loaded)	7 - 6 - 4	[-]
Z-out	45 - 19 - 3	[Ω]
DF (8Ω reference)	0.18 - 0.42 - 2.1	[-]

Remarks:

- 1) The core of the OPT is not in saturation: I_0 compensation by B3
- 2) Qualities of SE-amp are clear
- 3) Silky sound character
- 4) Bass sounds strong, especially in triode SE-mode
- 5) Details are open
- 6) Subjective: these amps sound very nice, close to high end
- 7) See text for actions to improve to real high end

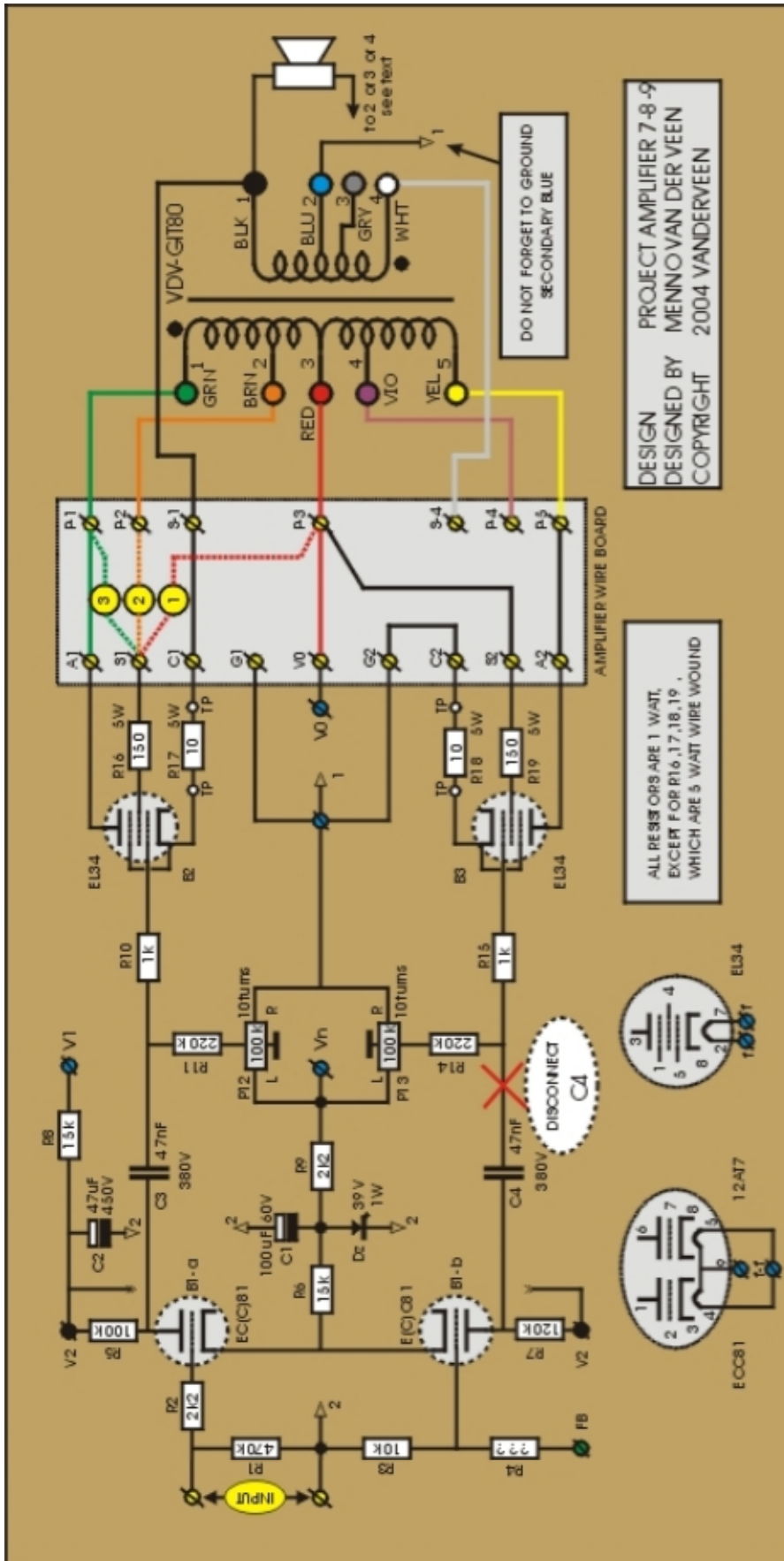
Doordat de uitgangstransformator niet meer in verzadiging is, worden nu de bastonen perfect weergegeven met kracht en dynamiek. Het geluidsbeeld heeft een zijdeachtig karakter, vol van details en ontzettend aangenaam voor het oor. Dit geluidsbeeld klopt, klinkt fijn, en toch is het nog niet optimaal. Sommige details treden niet voldoende duidelijk op de voorgrond. Om dat te verbeteren moeten nog een paar extra maatregelen worden genomen die ik nu ga bespreken.

Opvallend is dat alle drie versterkerversies hetzelfde uitgangsvermogen hebben, namelijk ongeveer 5 Watt. We zouden verwachten dat vooral in de pentode mode er ongeveer 10 Watt ter beschikking zou zijn. Dit is niet het geval omdat de stroombron B3 nog enige verbetering nodig heeft. De inwendige weerstand van B3 moet zo groot mogelijk zijn om optimaal als stroombron te functioneren. Pas dan zal B3 geen vermogen van B2 opeeten. Om dat te bereiken moet B3 een eigen kathodeweerstand krijgen (470 Ohm 2 Watt). Met P13 moet dan opnieuw zijn ruststroom op 50 mA afgeregeld worden. Door deze kathodeweerstand stijgt de effectieve inwendige weerstand van B3 aanzienlijk. Ik laat dit experiment aan de zelfbouwers over.

Er is een tweede reden waarom de versterkers nog niet optimaal klinken. Omdat de inwendige weerstanden van B2 en B3 ongelijk zijn (en dat moet ook zo, zie hiervoor) is in de uitgangstransformator de compensatie van de rimpel op de voedingspanning V_o onvolledig. De enige manier om deze overigens lichte brom op te heffen is de toevoeging van een extra smoorspoel (10 H) in de voeding, gevolgd door een extra buffercondensator van 100uF/450V. In dit project is de EL34 bij iedere versterker toegepast, ingesteld op een ruststroom van 50 mA. Het loont nu echt de moeite om grotere ruststromen in te gaan stellen en te experimenteren met een andere waarde van de primaire impedantie Z_a . Een betere instelling is: $I_o = 60$ mA, $V_o = 370$ V en $Z_a = 5k\Omega$. Ook deze uitwerking laat ik aan de zelfbouwers over. Opnieuw zijn voor B2 en B3 de 6550 of EL156 hier interessant, omdat dan nog grotere ruststromen mogelijk zijn (maximaal tot 135mA bij de EL156).

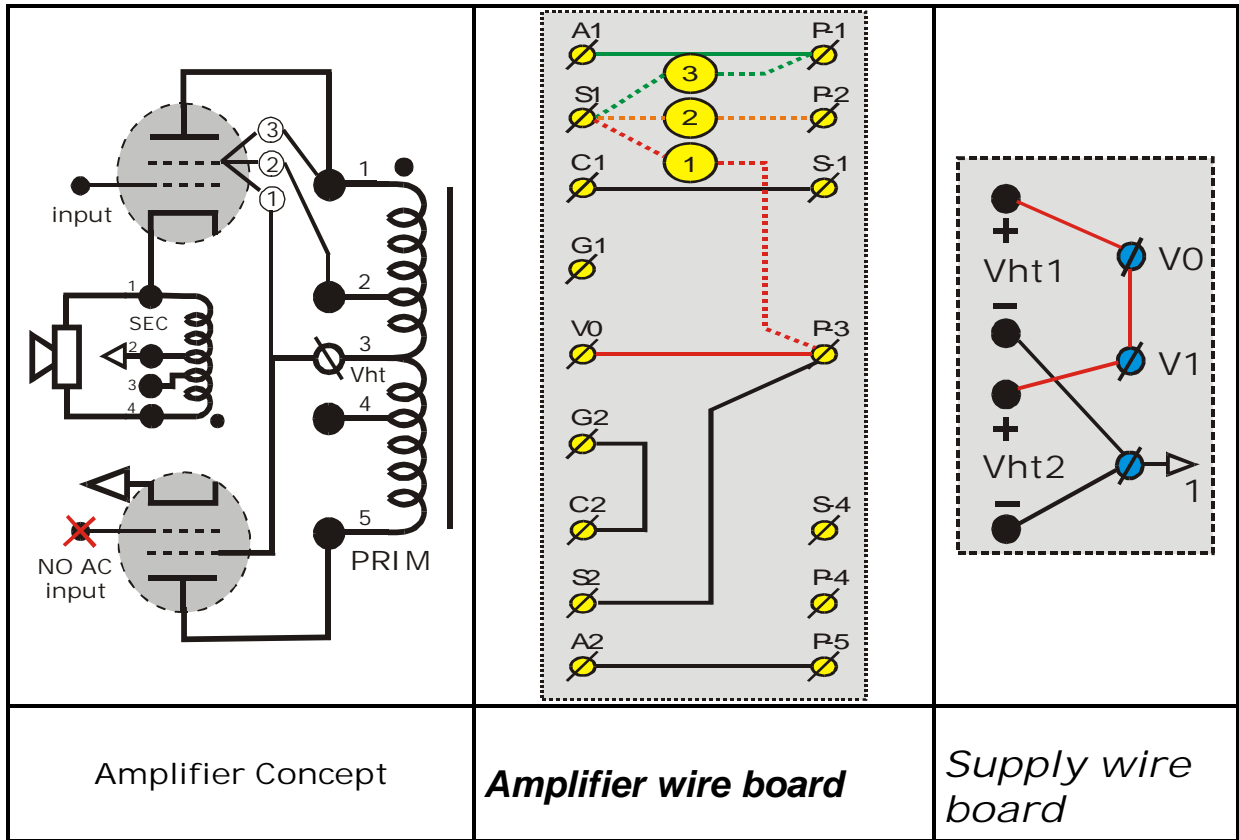
De volgende keer ga ik met versterkers 7-8-9 nog een extra stap verder, door kathode tegenkoppeling toe te passen. Dit heeft een fikse uitwerking op de inwendige weerstand van B2. Op meerdere vlakken moet dit merkbaar zijn.

Versterkers 7-8-9: SE versterkers met ruststroom compensatie en kathode tegenkoppeling



Opnieuw wordt in de versterkers 7-8-9 door B3 de ruststroom in de uitgangstransformator gecompenseerd. De secundaire wikkeling wordt aan de kathode van B2 gekoppeld, waardoor er extra tegenkoppeling plaatsvindt. Dit heeft nogal wat consequenties die verderop besproken worden.

THE VANDERVEEN PROJECT STANDARD FORM nr. 7/8/9



Number, Name	C 7-8-9 : SE, P-UL-TR, Io-comp, CFB	Units
I_0 per tube	50	[mA]
Connect 4 Ω to	sec. taps 1 and 2	[-]
P-max @ 1 kHz	9 - 9 - 6.1	[Watt]
-3dB low freq	8 - 8 - 8	[Hz]
-3dB high freq	26 - 24 - 23	[kHz]
A(unloaded)	11 - 7 - 5	[-]
A (4 Ω loaded)	5 - 4 - 3	[-]
Z-out	5 - 3 - 2	[Ω]
DF (8 Ω reference)	1.6 - 2.4 - 4	[-]

Remarks:

- 1) The core of the OPT is not in saturation: I_0 compensation by B3
- 2) The CFB at B2 improves linearity and lowers its plate resistance
- 3) B3 hardly consumes power because $R_{P, B3} \gg R_{P, B2}$
- 4) Silky sound character with lots of clear details
- 5) Bass sounds strong and well controlled
- 6) Hard clipping in overdrive
- 7) Subjective: the sound is almost too clean and controlled, see text

Als we het uitgangsvermogen vergelijken met versterkers 4 en 5 en 6, dan valt op dat het nu groter is. De oorzaak moet de extra kathode tegenkoppeling zijn. Deze zorgt er voor dat de inwendige weerstand van B2 drastisch omlaag gaat. In B3 gebeurt niks extra's en deze houdt zijn hoge inwendige weerstand. Daardoor belast B3 de uitgangstransformator nauwelijks. Ook hier geldt dat het toevoegen van een extra kathode weerstand in B3 het maximale uitgangsvermogen nog meer zal verhogen omdat zijn inwendige weerstand extra zal stijgen.

Omdat de primaire helften de ongelijke inwendige weerstanden van B2 en B3 zien, wordt ook hier de rimpelspanning van de voeding niet effectief onderdrukt. Toevoeging van een extra smoorspoel en afvlak condensator in de hoogspanningsvoeding is daarom in deze versterkers ook verstandig.

De optimale waarde van Z_a ligt opnieuw in de buurt van 4 kOhm (8 Ohm luidspreker tussen de secundaire aansluitingen 1 en 2) bij de hier gebruikte hoogspanning van 370 V. Ik laat deze experimenten en fijnafstemming aan de zelfbouwer over.

In deze versterkers is heel goed te zien hoeveel invloed de kathode tegenkoppeling heeft. De effectieve uitgangsimpedantie wordt drastisch lager (evenals de effectieve versterkingsfactor). Dit betekent ook dat de harmonische vervorming door deze locale tegenkoppeling extra wordt onderdrukt. De lineariteit van de versterker neemt toe en de weergave wordt schoner en meer doortekend; details treden duidelijker op de voorgrond.

Als de versterkers tot maximaal vermogen worden uitgestuurd probeert de grote locale tegenkoppeling de lineariteit van de versterker te handhaven, zelfs bij oversturen. Dit zorgt er voor dat deze versterkers hard (plat dakje) in de oversturing gaan en dat is hoorbaar. Bij luide transiënten wordt het klankkarakter kil.

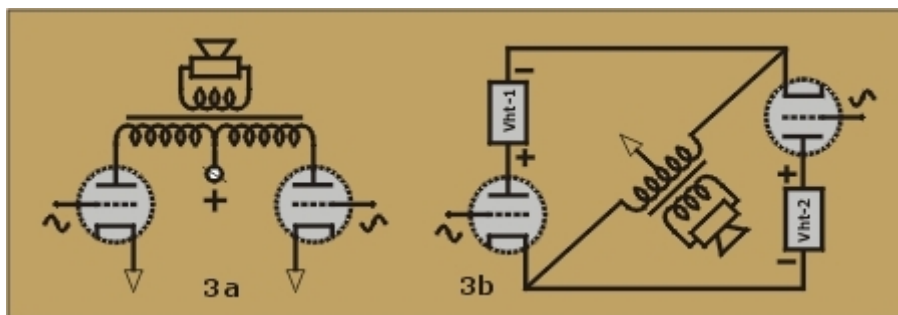
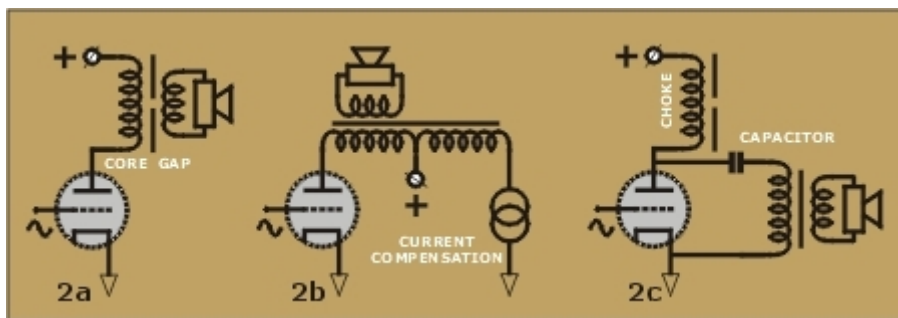
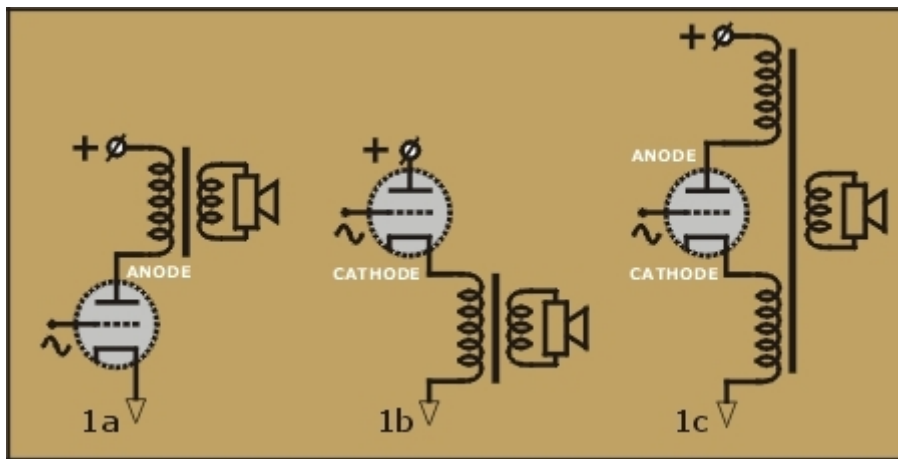
Al met al vind ik persoonlijk dat de maximale grens van locale tegenkoppeling hier echt bereikt is; iets minder tegenkoppeling zou de versterker wat vriendelijker laten klinken. Dit kan bereikt worden door in plaats van secundair pen 2 nu de aansluiting pen 4 (wit) te aarden en de kathode van B2 op pen 3 (grijs) aan te sluiten. Hierdoor wordt een kleiner deel van de secundaire wikkeling gebruikt en wordt de kathode tegenkoppeling geringer.

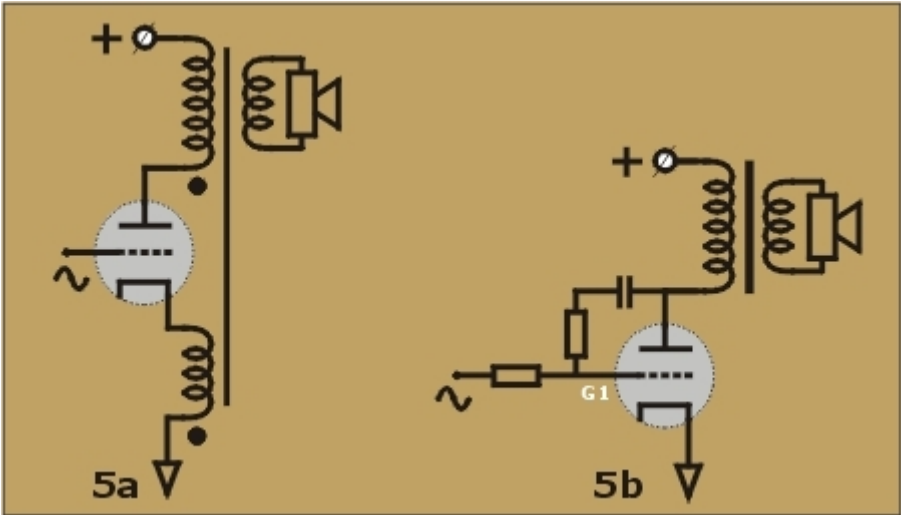
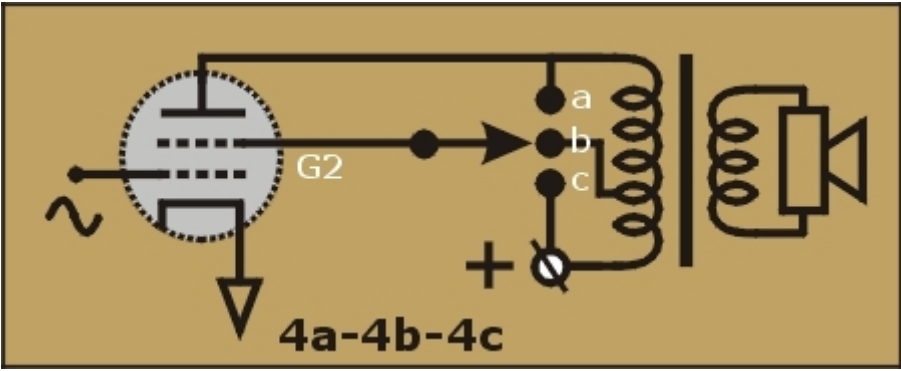
DE MATRIX

In de voorafgaande projecten 13 tot en met 26 heb ik twintig totaal verschillende buizenversterkers besproken. Deze kunnen alle gebouwd worden met de standaard universele uitgang GIT80 (zie project 8) en de bijbehorende universele voeding POW80 (zie project 9).

Ook het versterkerschema is universeel (zie project 10) Alleen door het wijzigen van enkele verbindingen (draadjes anders leggen) kunnen alle versterkers gemakkelijk worden gerealiseerd.

Deze keer wil ik kijken naar de systematiek die aan al deze versterkers ten grondslag heeft gelegen. Deze is uitgebreid besproken in de projecten 6 en 7. De nu volgende figuren laten de hoofdelementen van de systematiek opnieuw zien, nu voorzien van een nummer.





Elke versterker uit dit project gebruikt een aantal van deze keuzes. Dit is overzichtelijk weergegeven in onderstaande matrix. Bij elke versterker (verticaal) wordt horizontaal precies aangegeven welke keuzes zijn toegepast. Aan de matrix is extra toegevoegd de verticale kolom 4d. Deze staat voor positieve tegenkoppeling op het schermrooster (zie de Super Pentodeversterker 13). Extra is ook de onderste horizontale rij, aangeduid met ST. Dit is de UL40-S2 bouwdoos in Super Triode modificatie (zie "bouwdozen" op deze website). Daar wordt uitvoerig uitgelegd hoe deze opmerkelijke schakeling functioneert. In de projectversterker kan de ST modificatie probleemloos worden ingebouwd met exact dezelfde extra componenten als bij de UL40-S2.

	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b	4c	4d	5a	5b	?
1	x			x							x				
2	x			x						x					
3	x			x					x						
4	x				x						x				
5	x				x					x					
6	x				x				x						
7			x		x						x			x	
8			x		x					x				x	
9			x		x				x					x	
10	x						x				x				
11	x						x			x					
12	x						x		x						
13			x				x					x	x		
14			x				x				x			x	
15			x				x			x				x	
16			x				x		x					x	
17		x					x		x					x	
18		x	x					x			x			x	
19	x						x				x				
20	x		x				x				x			x	
ST	x						x			x					x
?															

THE MATRIX
 (amplifiers vertical, choices horizontal;
 4d is positive feedback at screen grid;
 ST is Super Triode circuit in UL 40-S2)

Het meest opmerkelijke aan deze matrix is dat er nog vele niet gebruikte blanke velden zijn. Daarin ligt een enorme uitdaging. Heb ik alle mogelijkheden wel uitgeput, heb ik misschien iets over het hoofd gezien, iets vergeten? Of ligt in deze matrix een geweldige nieuwe schakeling verborgen waar nog niemand aan heeft gedacht?

Overzichtstabel 20 versterkerconfiguraties

<i>Amp</i>	<i>P@1kHz</i>	<i>f_{-3L}</i>	<i>f_{-3H}</i>	<i>Z_{out}</i>	<i>Gain</i>	<i>Remarks</i>
1	3,1	57	31	45	20	SE-pentode small L _p , little bass, silky
2	4,5	35	23	20,6	13,8	SE-UltraLinear small L _p , little bass, silky
3	4,5	23	18,6	3,8	8,9	SE-triode small L _p , some bass, silky
4	5,3	8	15,7	45,2	6,7	SE-pentode with current comp. loud
5	5,3	8	15,7	18,9	5,9	SE-UltraLinear with current comp. good bass, silky
6	5,3	7	19,8	3,3	3,9	SE-triode with current comp. deep bass and silky
7	9	8	26	4,9	4,9	SE, as 4, with CFB hard clipping, not open
8	9	8	24	3,4	4,0	SE, as 5, with CFB hard clipping, not open
9	6,1	8	23	2,0	3,0	SE, as 6, with CFB hard clipping, not open
10	29	8	47	53	13,3	PP-pentode clean, loud, dynamic
11	28	8	26,4	9,3	9,5	PP-UltraLinear clean, loud, dynamic
12	14	8	24	3,4	6,2	PP-triode very clean, superior
13	26	8	56	12,8	11,1	PP-Super Pentode powerful, somewhat harsh character
14	30	8	50,8	6	8	PP-pentode with CFB powerful, not harsh
15	29	8	42	3,8	6,8	PP-Super Triode powerful, extreme clean and open
16	13,4	8	28	2,4	4,9	PP-triode with CFB less power but cleanest of all
17	8	8	59	1,93	1,5	Triode Cathode Follower driver stage is limiting
18	11	7	68	1,33	0,2	PPP-pentode Cathode Follower driver stage is limiting
19	78 (91 peak)	8	20	45	12	PP-Pentode V ₀ = 737V loud, not very open
20	72 (91 peak)	8	38	4,2	7,1	PP-Pentode V ₀ = 737V, with CFB dynamic, loud, open
[-]	[W]	[Hz]	[kHz]	[Ω]	[-]	

- P@1kHz = Pmax vd configuratie tegen de clipgrens aan
- F-3L = ondergrens bij -3dB
- F-3H = bovengrens bij -3dB
- Zout = uitgangsimpedantie vd versterker op de uitgangsklemmen
- Gain = effectieve versterking van in tot uit, belast met dummyload van 4ohm