

The **O.** **P.** **A.** - Project

Open Pre - Amp

Allgemeine Hinweise

Dieses Dokument beschreibt den Aufbau eines auf Röhrentechnologie basierenden Instrumentenverstärkers, der mit **lebensgefährlichen** Spannungen um 350V arbeitet.

Ein solches Gerät darf ausschließlich von Elektrofachkräften montiert werden, wer also noch nie eine Schaltung zusammengelötet hat, sollte auch mit dieser keinesfalls starten!

Auch wenn diese Anleitung versucht, den Aufbau in lockerer Form einfach und verständlich zu erläutern ist und bleibt dies **wirklich kein Projekt für Anfänger!** Wer also mit Begriffen wie „Gerät der Schutzklasse I“ und „Katodenbasisschaltung“ nichts anfangen kann und glaubt, dass nach spätestens 10 Minuten jede Lötstelle automatisch zur kalten Lötstelle temperiert, darf gern weiter**lesen**, und mit dem Gehäuse beginnen. Spätestens zur Inbetriebnahme ist aber in jedem Fall fachkundige Hilfe einzuholen, selbst wenn sich bis heute noch nie jemand über plötzliches Ableben durch Kontakt mit Hochspannung persönlich beschwert hat...

Aus diesem Grund werden an einigen Stellen auch technische Sachverhalte erklärt, die dem fachkundigen Leser längst bekannt sein sollten.

Onkel Dagobert (tm) sagt zudem: Kinder, das wird nicht billig, eher umgekehrt und der schnelle Erfolg ist nicht garantiert! Zu den nicht unerheblichen Bauteilkosten kommen mitunter noch benötigte Werkzeuge dazu und der Verlust ganzer Haarpartien durch Raufen soll auch schon vorgekommen sein. Von einer durchschnittlichen Montagezeit von mindestens 30 Stunden ist bei Ersttätern auszugehen, Sorgfalt lohnt und zahlt sich aus.

Dieses Dokument beschreibt zunächst den detaillierten Aufbau einer „Ausgangskonfiguration“, die im Weiteren durch gezieltes „Modding“ variiert werden kann, nicht muß. Natürlich kann der „Experte“ den Amp auch gleich so bestücken wie er (oder) sie das vorhat, als Ausgangspunkt empfiehlt sich jedoch, zunächst die vorgegebenen Werte zu übernehmen.

Die Bestelllisten (s. Anhang) enthalten augenblicklich auch ausschließlich die Bauteile dieser Grundkonfiguration, wer es aber bis zu deren Vollendung gebracht hat, wird sich alles weiter benötigte selbst beschaffen können.

Die Beschreibung der Schaltung im ersten Teil kann (theoretisch) übergangen werden, denn die **Schaltung enthält überhaupt keine technischen Neuerungen** sondern ist einfach eine Zusammenführung bereits bekannter Konzepte.

Kommentare und Verbesserungsvorschläge sind wie immer erwünscht.

Motivation

Röhrenschaltungen wirken auf Menschen unterschiedlich: Für die einen sind sie Relikt vergangener Zeiten, für die anderen die einzig akzeptable Form der Signalaufbreitung. Wahrscheinlich liegt die Wahrheit irgendwo dazwischen. Einen gewissen Reiz kann man den Urvätern der analogen Signalverarbeitung aber nicht absprechen und da die altbekannten Schaltungskonzepte nach wie vor aktuell sind, lohnt sich eine nähere Betrachtung allemal.

Zudem droht das Wissen um diese Technik langsam auszusterben und der neue, freie Markt liefert Scharlatanen und Schaumschlägern ausreichend Nährboden, um alte Konzepte unter neuen Namen für teures Geld an den Mann oder die Frau zu bringen. Patente und Papers sowie die Aussicht auf kurzfristige Gewinnmitnahmemöglichkeiten bremsen den ungehinderten Informationsfluß zunehmend aus und liefern die technisch (noch) nicht bewanderten den (oft selbsternannten) Gurus aus.

Dieses Dokument soll hier Abhilfe schaffen und die Materie am Beispiel einer (hoffentlich) nachbaufähigen Vorstufenschaltung ein wenig näher untersuchen. Es befindet sich zur Zeit (Anfang 2006) noch in einem sehr bearbeitungswürdigen Zustand und wird sicher noch erweitert, der Aufbau des beschriebenen Endgeräts in seiner „Default“-Konfiguration ist jedoch möglich.

Dies ist aber keinesfalls als Pauschalangriff auf die Anbieter von fertig aufgebauten Geräten zu sehen. Das Gesellschaftssystem funktioniert nun einmal so wie es funktioniert und die meisten in diesem Land fahren gut damit. Dass sich der Selbstbau aus finanziellen Gründen nicht lohnt (bzw. dazu die Stückzahl wohl in den dreistelligen Bereich gehen müßte) wurde ja schon erwähnt.

In naher oder ferner Zukunft sollen dann übrigens am Objekt die zahlreich bestehenden Mythen in direkten Vergleichen untersucht werden. Es wird sich zeigen, ob Kohleschichtwiderstände tatsächlich einen Eigenklang haben, ob ein Dielektrikum aus Polyester fluffiger klingt als eines aus Hühnerbrühe usw.

Bitte beachten:

Im folgenden werden Links und Verweise zu lebenden Personen oder Internetseiten genannt.

Sollten die Besitzer/Betreibe der folgenden URLs:

<http://www.tubetown.de>

<http://www.aikenamps.com>

<http://www.duncanamps.com>

<http://www.wikipedia.de>

<http://bear.ces.cwru.edu>

<http://newton.ex.ac.uk>

einer Nennung widersprechen, werden diese umgehend nach Kenntnisnahme des Widerspruchs entfernt.

Außerdem werden Schaltungen gezeigt, deren Ursprung die folgenden Seiten sind:

<http://www.schematichaven.com>

<http://www.drtube.com>

Auch wenn diese Schaltungen inzwischen in unzählbaren weiteren Quellen verfügbar sind, könnten Sie doch mit Urheberrechten versehen sein.

Dieses Dokument und alle mit dem Gerät das es beschreibt verbundenen Dateien stehen unter der eigentlich für Software verwendeten **GPL**, die (in Kurzform) besagt, dass sämtliche Unterlagen (in Papierform oder elektronisch) mit zum Gerät gehören und auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden müssen, auch dann wenn das Gerät nur als Basis für ein anderes diene.

Und los...

1 Schaltungsbeschreibung

1.1 Das Netzteil

Wie in (fast) jedem aus der 230V-Steckdose betriebenen Gerät, muss zu Beginn der Schaltung ein Netzteil sitzen, welches die einzelnen Schaltungsteile mit den benötigten Gleichspannungen von ausreichender Güte (hier: geringer Welligkeit und ausreichender Stabilität) versorgt. Auf den Brettern dieser Welt sind leider nach wie vor gerade Unterspannungen keine Ausnahme und die Sicherheit steht zudem meist ganz hinten an (s. u. *Schutzleiter*).

Geräte auf Röhrenbasis benötigen meist mehrere Spannungen:

- die Betriebsspannung der Röhren (im Bereich von ca. 200 V bis über 500 V)
- die Heizspannung der Röhren (6,3V bzw. Vielfache davon, je nach Schaltungsprinzip)
- Hilfsspannungen für Relais, LEDs usw. (meist 5V, 9V, 12V, 24V...)

Der hier beschriebene Verstärker kommt mit zwei Spannungen aus: einer Hochspannung von etwas über 300V und einer Hilfsspannung von 12V (die allerdings auf zwei einzelne Spannungsregler aufgeteilt und z.T. voneinander isoliert verlegt wird, Näheres dazu s.u.) aus. Da ECC83/12AX7-Röhren bekanntlich mit 6,3V oder 12,6V beheizt werden können und sich eine Reduzierung der Spannung auf 12 V erwiesenermaßen nicht auf den Klang auswirkt, soll hier dieser Weg beschritten werden. Durch die bereits vorhandene interne Strombegrenzung der Regler bekommen die Röhren dann automatisch einen schonenden „Soft-Start“ und sollten ein paar Jahre überstehen.

Das komplette Netzteil ist im folgenden Bild gezeigt:

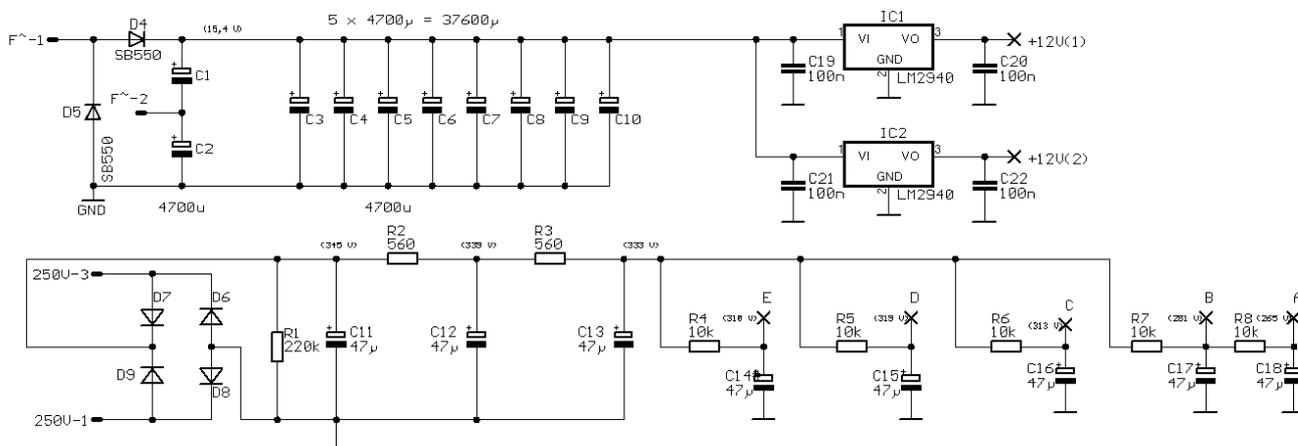


Abbildung 1: Das Netzteil (Hochspannung und Heiz-/Hilfsspannung)

Im oberen Teil wird mit Hilfe einer sog. Spannungsverdopplungsschaltung (D_4 , D_5 , C_1 , C_2) aus einem normalen 6,3V-Abgriff des Netztrafos eine Spannung von ca. 14,5V erzeugt, die dann auf den Kondensatoren $C_3 - C_{10}$ gespeichert und an die beiden Low-Drop-Regler¹ weitergereicht wird.

Es hat sich gezeigt, dass diese tatsächlich am besten funktionieren, wenn sie *keinen* nachgeschalteten Glättungskondensator aufweisen. Ein kleiner Kondensator in der Größenordnung von ca. 100 nF zur Unterdrückung evtl. vorhandener HF-Schwingungen ist trotzdem vorgesehen.. In ähnlichen Geräten taucht auch oft eine Schaltung auf, bei der zwischen PIN2 und Masse eine Diode geschaltet wird, um die Ausgangsspannung auf 12,6V zu erhöhen, was aber bei einigen getesteten Reglertypen zu

¹ *Low-Drop-Regler*: Ein Spannungsregler, der mit einer geringen Spannungsdifferenz zwischen Ein- und Ausgang auskommt. Die bekannten Standard-ICs (z. B. 7812) benötigen eine um ca. 2,5 V höhere Eingangsspannung und verursachen (da diese Spannung ja über dem Regler abfällt) auch eine höhere Verlustleistung, die dann als Wärme auftritt und über die angebrachten Kühlkörper abtransportiert werden müsste.

interessanten Oszillationen führt und schon deshalb hier gar nicht erst versucht werden sollte. Von jedem Regler werden 3 Röhren mit Heizstrom versorgt, IC2 übernimmt zusätzlich die Versorgung der Relais und LEDs.

Die Aufteilung erfolgt übrigens nicht ganz grundlos, auch wenn in einem ähnlichen Amp bereits ein einzelner IC die komplette Versorgung allein übernimmt (und dann mit einem Ausgangsstrom von ca. 900 mA knapp unterhalb des zulässigen Maximalstroms von 1 A betrieben wird). Die Aufteilung auf zwei reduziert nicht nur den Strom jedes einzelnen auf knapp unter 0,5A sondern vereinfacht die Kühlung erheblich, da die Wärmeabgabe pro IC auf unter 1,5W sinkt, so dass die verwendeten Kühlkörper sich nur um ca. 16° C erwärmen und die in unmittelbarer Nähe stehenden Elkos nicht unnötig erhitzen. Sollte im Laufe der Zeit mal einer der ICs ausfallen (was ja erfahrungsgemäß kurz vor dem wichtigsten Auftritt jeder noch jungen Karriere passiert) kann man dann auch kurzzeitig mit einer kleinen Überbrückung weiterrocken...

Unten in Abb. 1 ist die Hochspannungserzeugung zu sehen. Hier kommt eine einfache altbekannte RC-Siebketten zum Einsatz. Der Einfachheit halber wurden alle Siebelkos auf 47 µF festgelegt und bereits nach dem Gleichrichter eine erste RC-Kettenschaltung vorgesehen. Hier könnte man sicher auch weniger Aufwand treiben, aber viel hilft an dieser Stelle auch viel und am Ende ist dann wirklich kein Brummen aus dem Netzteil mehr vernehmbar.

Die Dämpfung der Grundwelle (hier 100 Hz) berechnet sich ja (unter Vernachlässigung der Phasenlage) nach:

$$a = 20 \log \frac{R}{X_c}$$

Wobei X_c der frequenzabhängige (Blind-)Widerstand des Kondensators ist und sich mit

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

ausrechnen läßt. Für einen 47 µF-Kondensator ergeben sich somit ca. 34 Ω. Für die Kombination aus $R=560 \Omega$ und $C=47 \mu F$ ergibt sich dann eine Grunddämpfung von ca. 30 dB, das ganze zwei mal, so dass an C_{13} schon 60 dB Dämpfung vorhanden sind (noch keine werbewirksame Größe). Verdopplung der Kapazität oder des Widerstandes bringt übrigens jeweils 6 dB, aber das sollte bekannt sein (notfalls mal selber ausrechnen). Es muß also weiter gesiebt werden, an den Abgriffen $B..E$ werden passiert genau dies jeweils über eine 10 kΩ / 47 µF-Kette, welche je nochmal 49 dB Dämpfung erzeugt, aber natürlich auch einen gewissen Spannungsabfall an den Widerständen mit sich bringt. Am Punkt A werden später die Eingangsstufen des *Lead-* und *Rhythm-*Kanals angeschlossen, deshalb wird hier zusätzlich gesiebt, so dass dann an diesen Stufen 158 dB Dämpfung der Grundwelle erfolgt – das ist für einen High-Gain-Preamp dann ausreichend.

1.2 Die Schaltmatrix

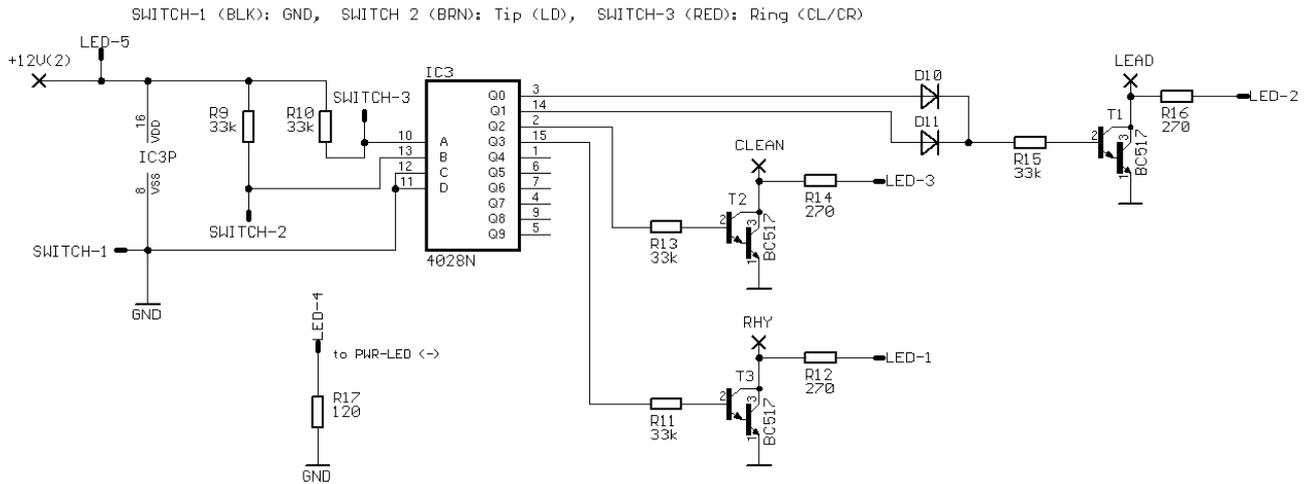


Abbildung 2: Schaltmatrix

Die Auswahl eines der drei Kanäle erfolgt über einen sog. Decoderbaustein 4028, der ein binäres Eingangssignal auf einzelne Ausgänge umsetzt. R_9 und R_{10} dienen als Pull-Down-Widerstände, die Ausgänge des ICs steuern die Transistoren die Relais und LEDs an. R_{17} ist vorgesehen, falls jemand eine Power-LED verwenden möchte. Die Vorwiderstände sind für LEDs mit einem Strom von ca. 10mA ausgelegt, wobei für die Farben *rot*, *gelb* und *grün* 270 Ω -Widerstände und für *blau* auf Grund der höheren Durchlaßspannung der Diode 120 Ω vorgesehen sind.

1.3 Die Kanäle

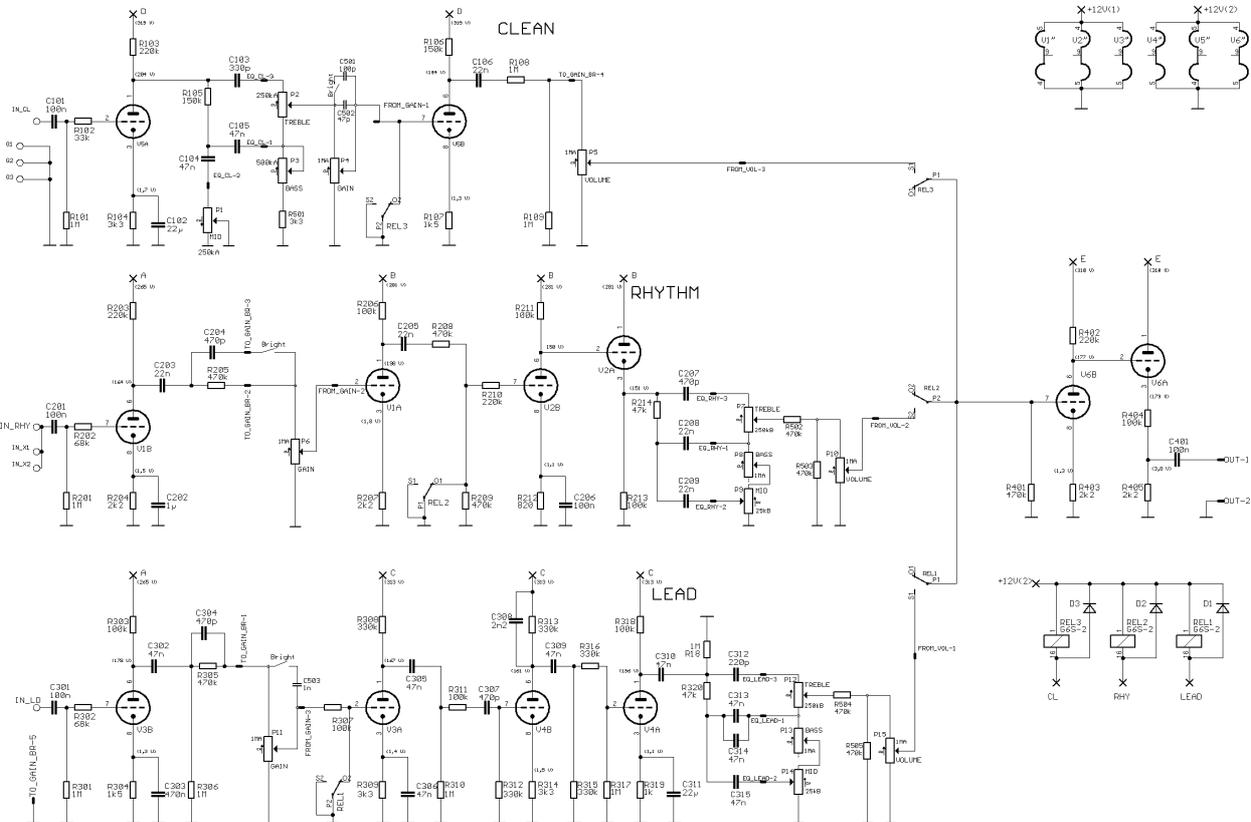


Abbildung 3: Die Kanäle des Preamps

Es wird schnell deutlich, dass die drei Kanäle zunächst komplett unabhängig voneinander geführt werden und dann auf eine gemeinsame Ausgangsstufe (*V6*) laufen. Dieses „Konzept“ ist bei einer mehr oder weniger bekannten Vorstufe eines amerikanischen Exil-Germanen (nennen wir ihn *Rainer*) abguckt, dessen Amp auch (mehr oder weniger freiwillig) den *Lead*-Kanal beisteuerte. Der *Clean*-Kanal (ganz oben im Bild) stammt aus einem berühmt-berüchtigten amerikanischen Topteil, über dessen Inhalt sich allerdings niemand so richtig im Klaren ist, von dem aber ein Plan unter dem Namen *Humble Overdraft Speciman* existiert. In einem mehr oder weniger bekannten Internetforum (<http://www.tubetown.de/forum.php>) wird übrigens seit einiger Zeit ein Amp entwickelt, der nach seiner Endstufe benannt *S.E.P.P.* heißt und über einen sehr ähnlichen *Clean*-Kanal verfügt.

Der *Rhythm*-Kanal entstammt ursprünglich einem Verstärker einer anderen bekannten amerikanischen Ampschmiede und wurde wohl von einem britischen *Sheriff 800* inspiriert. Klangbestimmend bei dieser Art von Verstärkern sind übrigens vor allem die (aus HiFi-Sicht) viel zu kleinen Kondensatoren an den Katoden, die sich nach

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

schnell berechnen läßt. So hat *V1B* eine untere Grenzfrequenz von 72 Hz und *V1A* eine untere Grenzfrequenz von ca. 2 kHz! Auf die genauen Einflüsse der einzelnen Schaltungsteile wird gleich weiter unten noch detaillierter eingegangen.

Unten im Bild ist der *Lead*-Kanal zu sehen, der wie schon erwähnt einem *3-fach-Giganten* entnommen wurde. Auch dieser wird gleich noch detailliert untersucht. Ein kurzes Zwischenfazit ist aber schon jetzt:

ALLES NUR GEKLAUT!

Keine schaltungstechnische Revolution dabei – wozu das alles?

Der Grund ist einfach: Wer's noch nicht weiß lernt hier ein wenig über die Materie und wer den Amp tatsächlich baut hat später (beim *Modden* oder *Tweaken*) die Möglichkeit herauszufinden, wie sich welche (kleine) Änderung an der Schaltung auswirken wird. Wer das Kapitel *Simulation* (s. Anhang) durchliest, ist dann (hoffentlich) sogar in der Lage, zumindest zum Teil vorauszusagen, was beim Modifizieren in etwa passieren wird.

1.3.1 Der Clean-Kanal

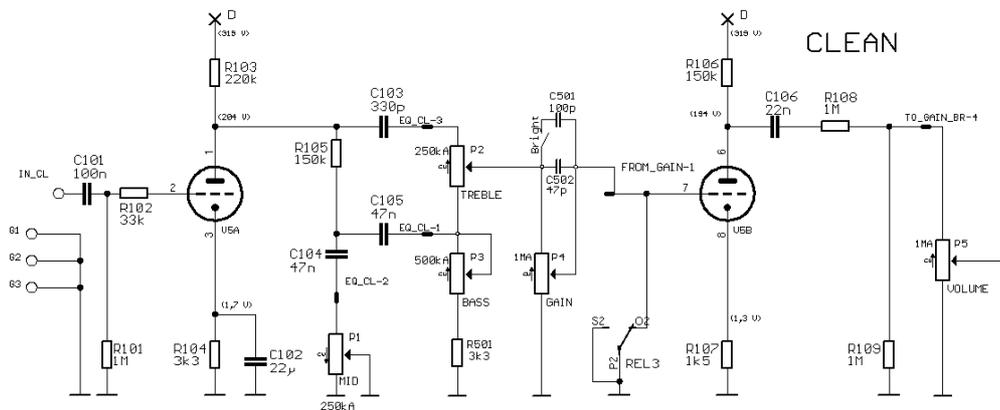


Abbildung 8: Clean-Kanal

Mindestens einen Kanal für annähernd unverzerrte Sounds vorzuhalten ist oft eine gute Idee! Hier wird ganz einfach eine unlängst im Internet aufgetauchte Schaltung, die vom Klang her recht flexibel einstellbar, bei der Bedienung des Equalizers jedoch etwas ungewohnt, ist, verwendet. Das Eingangssignal wird über C_{101} und R_{101} eingekoppelt. Diese bilden einen Hochpass mit einer Grenzfrequenz von 1,6 Hz und sind somit vernachlässigbar¹. Der Widerstand R_{102} dient in Verbindung

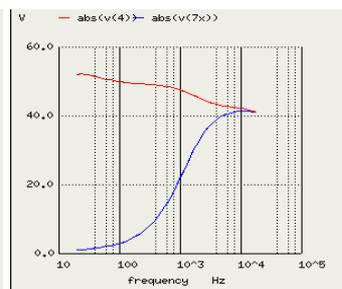
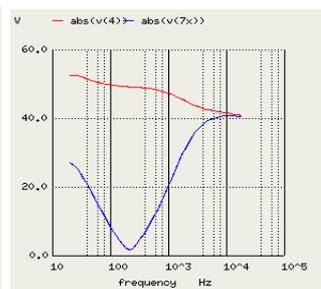
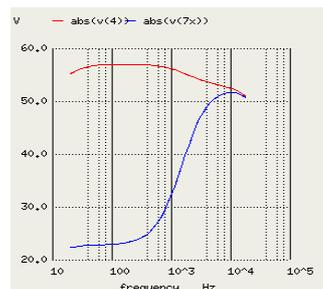
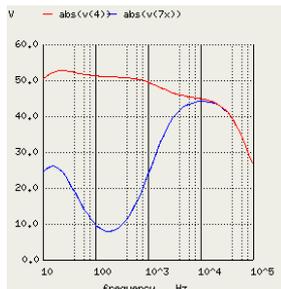


Abbildung 4: (B+/M-/T+)

Abbildung 5: (B+/M+/T+)

Abbildung 6: (B+/M-/T-)

Abbildung 7: (B-/M+/T-)

mit der sog. Miller-Kapazität des Triodensystems V_{1B} als Tiefpass. Die Miller-Kapazität (Genaueres über dieses Verhalten verrät die wirklich gut gemachte Seite <http://www.aikenamps.com/MillerCapacitance.html>) kann mit ca. 0,15 nF angenommen werden und so ergibt sich dann eine obere Grenzfrequenz von ca. 40 kHz. Das Nutzsignal kann also ungehindert passieren, hochfrequente Einstreuungen werden aber ausreichend unterdrückt. Das Übertragungsverhalten ist in den Bildern 4 bis 7 exemplarisch für verschiedenen Einstellungen der Klangregelung dargestellt. Die rote Kurve zeigt das Übertragungsverhalten von V_{5A} , die blaue den Einfluß der Klangregelung. Insgesamt wird sich wohl ein eher präsenster Klang mit ordentlich Tiefbass einstellen lassen. Der Mittenregler wirkt eher wie ein zweiter Bassregler während der eigentliche Bassregler „ganz weit unten“ ansetzt. Die Wirkung des Höhenpotis ist wohl eher mit der eines „tieferen Presence-Reglers“ zu vergleichen. Der Klang dieses Kanals wird aber als später trotz dieser scheinbaren Einschränkungen durchaus als angenehm empfunden! Der Kondensator C_{502} bewirkt eine zusätzliche Anhebung, mit dem zuschaltbaren C_{501} wird diese noch verstärkt. Das folgende Relais ändert seine Schaltstellung wenn der Kanal eingeschaltet wird, ansonsten schließt es das Gitter von V_{5B} kurz und deaktiviert so den Kanal. Die Triodenstufe V_{5B} ist voll gegengekoppelt und weist eine Verstärkung von ca. 35 auf. Um die Ausgangsstufe nicht zu übersteuern wird sie auf ca. 12 durch die Widerstände R_{108} , R_{109} und das Volume-Poti begrenzt.

Wer es hier eher in Richtung eines Original 7ender-Cleansounds getrimmt hätte sei auf das Kapitel

¹ Genau genommen müsste hier eigentlich die Parallelschaltung aller 3 Eingangsstufen zuzüglich der Leitungskapazität berücksichtigt werden.

Mods hingewiesen.

Außerdem sollte erwähnt werden, dass in dieser Beschaltung das Gain-Poti nicht zum Übersteuern des Kanals sondern als Anpassung an das Instrument verstanden werden sollte/kann und wohl meist maximal aufgedreht werden wird/muss. Bei der Verdrahtung der Frontplatte ist dann noch die aus dem S.E.P.P. übernommene Deaktivierungsmöglichkeit der Klangregelung gezeigt, die aus einem Schalter direkt unter dem Treble-Poti besteht und wahlweise hinzugefügt werden kann.

1.3.2 Der Rhythm-Kanal

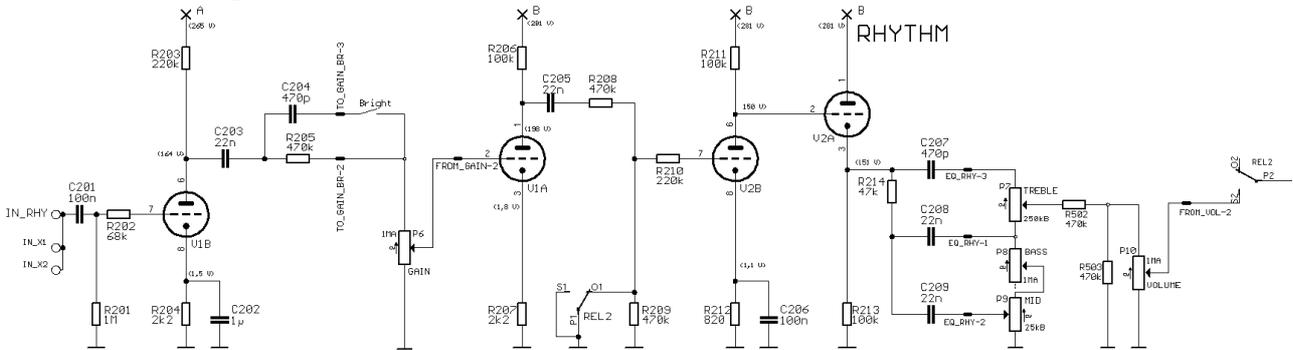


Abbildung 9: Der Rhythm-Kanal

Los geht's mit wieder einem 100nF-Kondensator und 1MΩ_v Widerstand (s.o.). Der Widerstand R_{202} begrenzt das Signal bei ca. 16 kHz, wirkt also wie schon im Clean-Kanal gezeigt zunächst als Schutz vor hochfrequenten Einstreuungen und kaum klangformend. Das Bild rechts zeigt das Ausgangssignal (ausgehend von einem Eingangssignal mit 1V). Der rote Verlauf gilt bei eingeschaltetem Bright-Schalter, der blaue bei ausgeschaltetem Bright-Schalter.

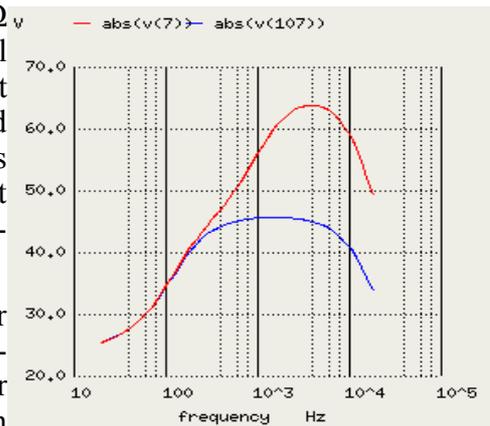


Abbildung 10: Das Signal nach V1B

Ein Höhenboost bei 2 kHz ist ganz deutlich auszumachen, der Abfall des Frequenzganges danach ist auf R_{202} und die Miller-Kapazität zurückzuführen. Das (virtuelle) Gain-Poti war übrigens ganz aufgedreht (das passt irgendwie bei englischen Verstärkern ganz gut...). Genau genommen müßte eigentlich noch der Einfluß der nachgeschalteten Röhre mit betrachtet werden, aber dieser soll (zunächst noch) vernachlässigt werden.

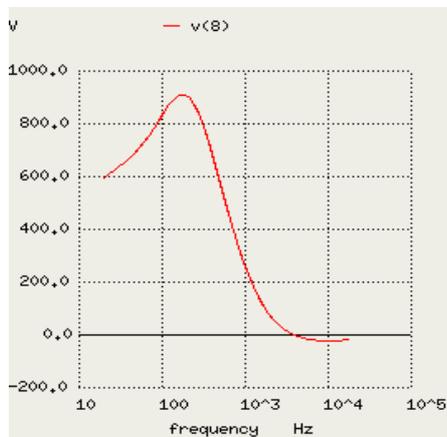


Abbildung 11: Das Signal nach V1A

Fügen wir nun $V1A$ hinzu und gucken mal, was mit unserem Signal passiert (Bild 11). Hier sehen wir, dass die Simulation nicht stimmen kann, denn 900 V sind doch etwas übertrieben und von unserer Schaltung so gar nicht lieferbar! Man könnte jetzt überlegen, was passieren muß: Verzerrungen – na endlich kommen sie! Hier hilft die Simulation dann vielleicht doch weiter, denn beim Betrachten des echten (simulierten) Signals im Zeitbereich sieht man das Übersteuern schon deutlich (Bild 12: dargestellt wird das Signal zwischen R_{208} und R_{209}). Nicht beachtet wird hier, dass wahrscheinlich ein Gitterstrom durch die nachfolgende Stufe fließen wird, der ebenfalls Verzerrungen erzeugt! Vom Sinussignal ist also nicht mehr viel übrig geblieben.

Die Funktion des Relais sollte offensichtlich sein: Im dargestellten Zustand (entspricht dem nicht-angewählten Kanal) wird das Signal über R_{209} kurzgeschlossen und nicht weiterverstärkt. Das

Kurzschließen eines Kanales an geeigneter Stelle sollte übrigens immer dann erfolgen, wenn dieser im „Normalbetrieb“ auch nur annähernd übersteuert werden könnte, denn dann sind die Amplituden der übersteuernden Signale auf den Leitungen derart hoch, dass Übersprechen in andere Schaltungsteile vermieden droht. Beim *Clean*-Kanal könnte auf den Kurzschluss vor *V5B* vermutlich sogar verzichtet werden, aber das Relais ist ja schonmal drin...

Als nächstes soll *V2* in voller Schönheit angefügt werden. *V2B* ist ja wieder die altbekannte Katodenbasisschaltung mit einem Höhenboost bei 2 kHz. Das macht durchaus Sinn, denn eine Verzerrung der tiefen Frequenzen würde sonst zu etwas „matschigen“ Sounds führen. Interessant ist, dass vor dem Gitter wieder ein Widerstand sitzt, der in Verbindung mit der Miller-Kapazität wie ein Tiefpass bei 4,8 kHz wirkt. Man muss wissen, dass durch die Verzerrungen (Fachbegriff: *nichtlineare* Verzerrungen) sogenannte „Harmonische“ erzeugt werden.

Im Klartext heißt das, dass z.B. ein reines Sinussignal von 100 Hz nach der Übersteuerung nicht mehr allein dasteht sondern (je nach Art der Übersteuerung) nun auch Vielfache dieser Frequenz (also 200 Hz, 300 Hz usw.) vorhanden sein können.

Aufschluß über die genaue Zusammensetzung eines solchen Signals gibt die sogenannte Fourier-Analyse, quasi eine Black-Box, in die man vorne das zu messende Signal einspeist und die dann hinten anzeigt, welche Frequenzen drin sind.

Grau ist alle Theorie, gucken wir und doch mal die Zusammensetzung des Signals an:

Das Bild ist folgendermaßen zu interpretieren: Die horizontale Achse (1..9) zeigt die Vielfachen der Grundfrequenz (hier: 1 kHz) an. Die Vertikalachse zeigt die (auf 1 normierte) Amplitude des Signals an. Hineingegeben wurde also 1 kHz und heraus kommt auch ein Signal dieser Frequenz, aber zusätzlich noch ein weiteres Signal mit 2 kHz (das ungefähr 20% der Amplitude der Grundwelle hat), eins bei 3kHz mit ca. 0,25V usw.

Auch 6kHz sind vertreten. Wenn man nun bedenkt, dass unser Instrument ja schon von sich aus kein reines Sinussignal sondern ein

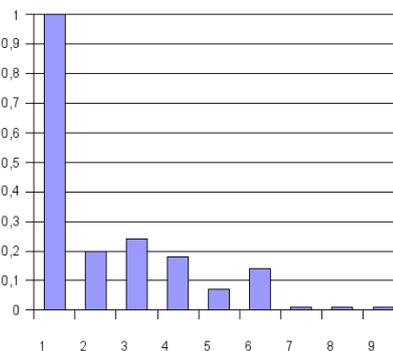


Abbildung 13: Fourieranalyse VIA

Frequenzgemisch erzeugt von sich gibt, wird klar, warum es beim Übersteuern auch „dicker“ klingt wird: Es ist schließlich mehr drin als vorher!

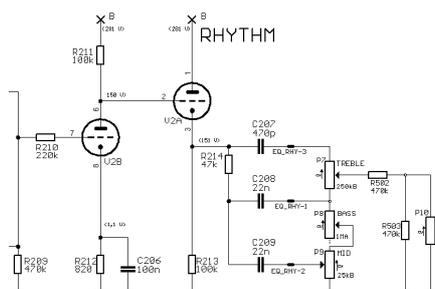


Abbildung 14: *V2*

Inzwischen sollte aber klar sein, dass man zwar viel simulieren kann, aber dabei auch immer mehr Vereinfachungen bzw. Ungenauigkeiten entstehen. Es ist meist besser, sich über das

Verhalten der einzelnen Stufen genau zu informieren und dann grob abzuschätzen, wie diese auf das ihnen zugeführte Signal reagieren werden. Deshalb soll an dieser Stelle nicht mit dem gerade verwendeten stark übersteuerten Signal weitersimuliert sondern *V2B* gesondert untersucht werden. Bild 14 zeigt nochmal den Ausschnitt, um den es geht. Im folgend gezeigten Bild 15 ist der Frequenzgang nach dem Katodenfolger (also an *R213* abgegriffen) in rot und nach einer auf Rechtsanschlag stehenden Klangregelung in blau gezeigt.

Die rote Kurve zeigt zunächst das frequenzabhängige Übertragungsverhalten hervorgerufen durch den Gitterwiderstand *R210*, welcher für den Frequenzabfall ab ca. 2 kHz verantwortlich ist. Die Erhöhung ab ca. 1200 Hz wird vom kleinen Katodenkondensator *C206* in Verbindung mit dem Katodenwiderstand *R212*

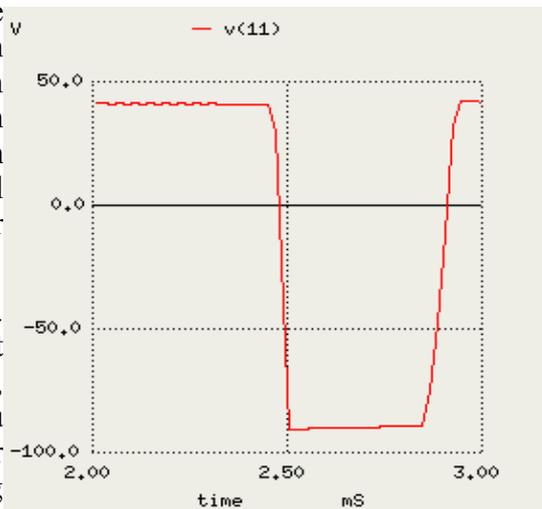


Abbildung 12: Signal nach *V1A*

verursacht.

Die nachgeschaltete Klangregelung dämpft dann das mühsam verstärkte Signal auf ca. 25% herunter (ein typisches „Feature“ dieser Klangregelung“ und hat bei ca. 200 Hz ein leichtes „Mittenloch“ erzeugt.

Die Lage dieses „Loches“ wird bekanntlich maßgeblich vom Widerstand R_{214} und vom Kondensator C_{207} bestimmt. Bevor man hier zur Eigensimulation greift soll auf den *Tonestack Calculator* von <http://www.duncanamps.com> hingewiesen werden. Mit diesem ist eine weiter gehende Analyse einfacher möglich (allerdings enthält er auch noch nicht alle Tonestack-Schaltungen). Allgemein gilt, dass eine Vergrößerung des Widerstandes das Mittenloch zu tieferen Frequenzen und eine Verkleinerung des Kondensators C_{207} das Mittenloch zu höheren Frequenzen verschiebt und die absenkende Wirkung verstärkt. Die Fa. Mesa Boogie hat diverse Verstärker, bei denen der Kondensator durch einfaches Hinzuschalten eines weiteren vergrößert und somit das Mittenloch abgeschwächt und zu tiefen Frequenzen hin verschoben wird und nennt diesen Schalter dann „Mid Boost“. Bei Ampegs VL-Serie ist sind über einen Stufenschalter gleich mehrere verschiedene Kondensatoren auswählbar. Im Eigenbau ist darauf zu achten, dass ein solcher Schalter nach Möglichkeit in der Nähe des Treble-Reglers platziert wird.

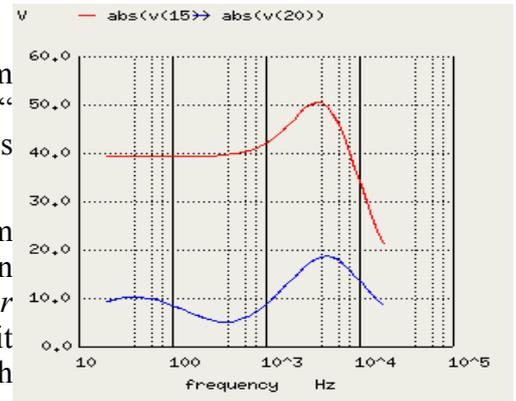


Abbildung 15: Frequenzgang von V2

1.3.3 Der Lead-Kanal

Dieser Kanal verfügt ebenso wie der Rhythm-Kanal über insgesamt 4 Triodensysteme, verwendet aber keinen Katodenfolger als letzte Stufe, so dass noch weiter übersteuert werden kann (und wird).

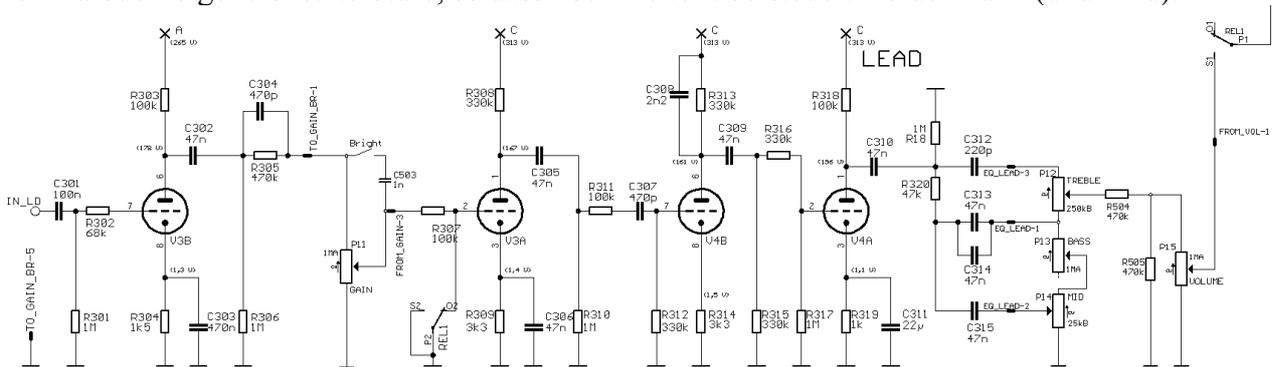
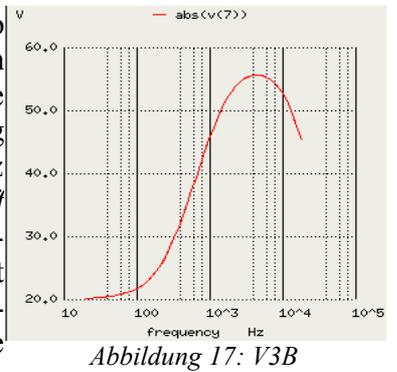


Abbildung 16: Lead-Kanal

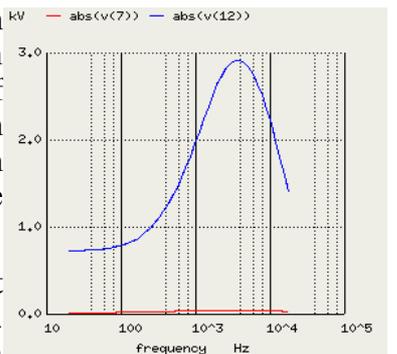
Zu Beginn ist wieder die schon aus den beiden anderen Kanälen bekannte 100nF/1M Ω -Kombination mit der schon bekannten Grenzfrequenz von weniger als 2 Hz zu sehen. Zunächst soll die erste Stufe $V3B$ separat bis zum Gain-Poti betrachtet werden. Die Katodenkombination aus R_{304} und C_{303} sorgt für ein Hochpassverhalten mit unterer Grenzfrequenz von 225 Hz, was zwar als nackte Zahl zunächst ziemlich hoch erscheint, aber dennoch Sinn macht. Hierzu muß man wissen, dass die Frequenzinformation in der Verteilung der Obertöne immer vertreten ist und wahrgenommen wird. Das soll heißen, dass unser späteres Eingangssignal, da es sich hierbei ja nicht um einen reinen Sinus handeln wird, ein Frequenzgemisch sein wird.

Nehmen wir mal 100 Hz als Grundwelle an, dann sind zusätzlich die sog. *Ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz*, also die Frequenzen 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz usw. schon mit dabei. Unsere Ohr rekonstruiert nun aus diesen Differenzen von je 100 Hz automatisch die Grundwelle - wir „hören“ also 100 Hz auch dann, wenn diese Frequenz gar nicht im Signal enthalten ist und dieser aus z.B. zwei Signalen von 300 Hz und 400 Hz besteht. Eine typische Anwendung hierfür ist ja da bekannte Telefon, hier sind die Bässe auch massivst herausgefiltert und trotzdem bleibt die Sprache verständlich. Das war aber auch die einzige Gemeinsamkeit zwischen einem Telefon und diesem kleinen Verstärker... Durch das Wegfiltern der Bässe wird für eine gewisse „Entmatschung“ gesorgt, denn stark übersteuernde

(Tief-)Bässe will (noch) niemand hören, allerdings ist später im Betrieb die Wirkung des Bassreglers mitunter eningeschränkt. Über C_{302} wird dann das Signal ausgekoppelt. Dieser ist so groß bemessen, dass er keine weitere Beschneidung des Basssignals bewirkt, denn in Zusammenhang mit R_{305} und P_{11} bildet sich hier ja erneut ein Hochpass aus (Grenzfrequenz hier ca. 2 Hz). Zusätzlich gibt es aber den seit Urzeiten von *Sheriff* eingesetzte Mittenboost durch das Parallelschalten eines 470pF-Kondensators (C_{204}) zu R_{205} . Im Bild 17 ist die Übertragungsfunktion gut zu erkennen. Der Abfall des Frequenzganges ist wieder auf die Miller-Kapazität im Zusammenhang mit R_{302} zu erklären. Nur mal am Rande bemerkt: wenn man den Katodenkondensator dieser Stufe dezent auf z.B. $10\mu\text{F} \dots 22\mu\text{F}$ erhöhen würde, erhielte man eine irgendwie ganz bekannte „andere“ Eingangsstufe.



Weiter geht's in Richtung *V3A*, ein recht großer Katodenwiderstand, ein recht großer Anodenwiderstand und ein kleiner Katodenkondensator in Verbindung mit einem ziemlich großen Gitterwiderstand. Das läßt auf eine Beschneidung der Höhen vor der Stufe und einen weiteren Höhenboost durch die Stufe erwarten. Die Höhen ab ca. 10 kHz werden eingangsseitig durch den Gitterwiderstand gedämpft, ab 1 kHz setzt die erhöhte Verstärkung auf Grund der Katodenbeschaltung ein.



Wenn man nun mal die beiden Röhrenstufen hintereinander hängt, erkennt man sofort, dass es wohl ziemlich heftig zur Sache gehen wird (Bild 18). Die (Gesamt-)Verstärkung von 3000 wird natürlich in heftigen Verzerrungen enden (das ist hier ja so gewollt). Rot dargestellt ist übrigens die Übertragungsfunktion der vorherigen Stufe. Interessant wäre mal wieder ein Blick auf das Zeitsignal (Bild 19).

Abbildung 18: Signal nach V3A

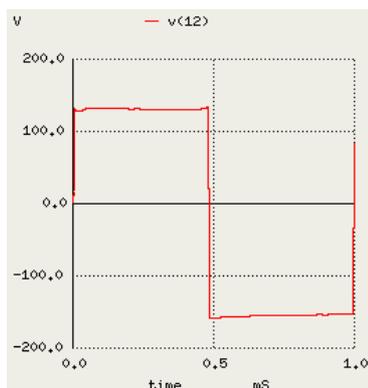


Abbildung 19: Signal nach V3A

Wie vermutet: das geht zur Sache. Der arme Sinus ist schon ziemlich lädiert und es kommen ja noch zwei weitere Stufen. Böse Zungen würden behaupten, dass diese fast symmetrische Signalverformung auch ganz leicht durch den Einsatz von Silizium zu erreichen gewesen wäre, aber das ist eine andere Geschichte... Die nächste Triodenstufe (*V4B*) hat dann zwei kleine Besonderheiten aufzuweisen. Zunächst mal ist dort die Kombination R_{311} , C_{307} , R_{312} . Diese drei bilden in erster Linie einen Hochpass (tiefe Frequenzen werden von C_{307} geblockt) mit einer Grenzfrequenz von ca. 1 kHz, zusätzlich wird aber durch den Kondensator C_{308} der Widerstand R_{313} für Frequenzen ab ca. 220 Hz überbrückt, so

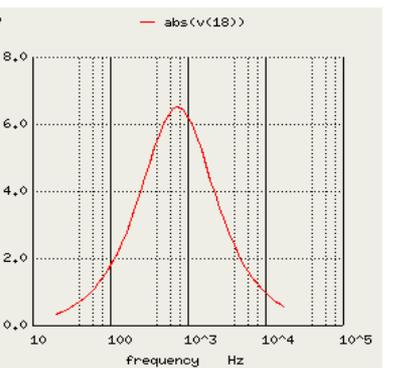


Abbildung 20: Bandpassverhalten

so dass sich ein Bandpassverhalten ergeben wird (s. Bild 20). Die Verstärkung dieser Stufe ist nicht besonders hoch (dargestellt ist das Signal zwischen vor *V4B*), da die Grenzfrequenz des Tiefpass-Anteils des Bandpasses unter der des Hochpass-Anteils liegt (wer das begriffen hat, hat gerade die komplizierteste Teilschaltung dieses Verstärkers geschafft!)

So wird das stark verzerrte Signal also unterhalb von ca. 200 Hz und oberhalb von ca. 2 kHz stark beschnitten werden. Die letzte Stufe des Kanals dient dann der breitbandigen Verstärkung für die nachfolgende Klangregelung, die in Aufbau und Dimensionierung stark an die altbekannten Werte von 7ender angelehnt ist.

1.3.4 Die Ausgangstufe

Diese Stufe dient ausschließlich als Aufholverstärker und koppelt das Signal einigermaßen niederohmig aus. *V6B* übernimmt die Verstärkung und *V6A* die Auskoppelung über R_{405} und C_{401} .

Das Signal ist maximal ca. 2V groß und somit ausreichend, um eine nachgeschaltete Endstufe o.ä. mit einem ausreichend hohen Pegel zu versorgen.

2 Die Platine

Einen solchen 3-Kanaler kann man theoretisch auch frei verdrahtet oder auf Lötösen aufbauen, dann muß man aber schon genau wissen, wo man am besten welches Bauteil platziert und welche Leitungsverbindungen evtl. kritisch sind. Der Platzbedarf würde wohl ansteigen und die Nachbausicherheit wäre als leicht verringert anzusehen.

Die hier dargestellte (zunächst) einseitige Platine mag manchen Röhrenfreak abschrecken, bisher sind aber noch keine Probleme hinsichtlich der mechanischen Stabilität aufgetreten und das elektrische Verhalten ist bekanntlich schwer veränderbar (aber natürlich durchaus „Modding“-tauglich...). Ähnliche Geräte sind im vergangenen Jahr (leider) schon vom Fullstack gefallen und leben nach wie vor...(deshalb beim Gehäuse später unbedingt die Bügel anschrauben!!!)

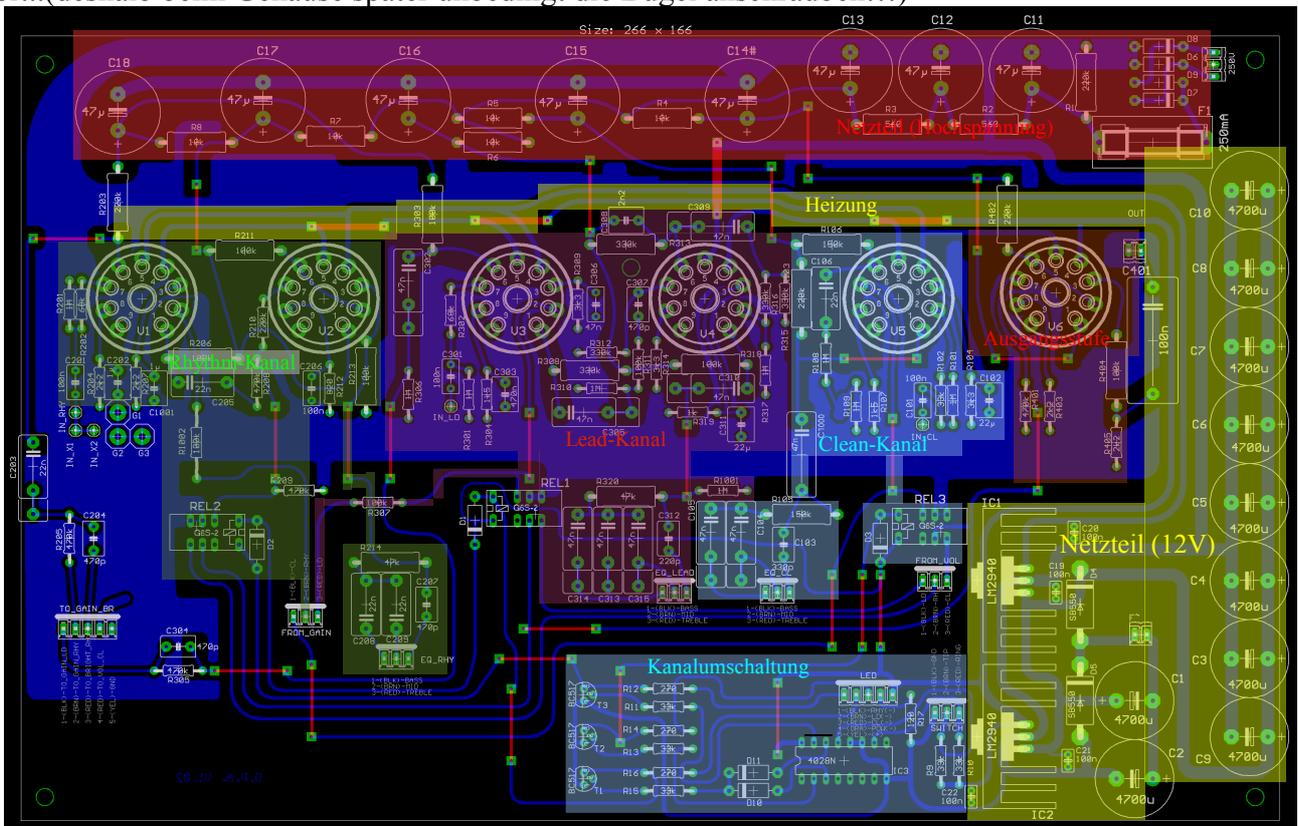


Abbildung 21: Platine

Im oberen Teil (rot markiert) sieht man das Netzteil, rechts außen sitzen die vier Gleichrichterdiolen, links daneben die erste Siebkette. Bis zum linken Rand ziehen sich die weiteren Siebglieder. Zwischen allen irgendwie kritischen Signalen sind übrigens in sich nicht geschlossene Masseflächen verlegt. Die Abstände zwischen den Leiterbahnen und Pads entsprechen DIN EN 60065 und erlauben den Betrieb der Platine mit Spannungen bis zu 500 V¹. Die Kondensatoren sowie der unten rechts befindliche Teil der Schaltung (gelb markiert) auf der rechten Seite dienen zur Glättung der 12 V-Heiz- und-Hilfsspannung. Die Masseführung verläuft „schneckenförmig“ vom Ausgang an C₄₀₁ über die zentrale Masseleitung in der Mitte zum linken Rand und von dort nach oben - dann am oberen Rand zurück. Die Siebglieder der einzelnen Anoden sind separat geführt und bei C₁₄ auf den „zentrale“ Massefleck gelegt – quasi ein „Mix“ aus alter Verdrahtungstechnik auf „modernem“ PCB.. Die Zuordnung der Röhren zu den einzelnen Kanälen ist nicht willkürlich geschehen. Im Clean-Kanal wird das Nutzsignal von V₅ und V₆ (als Ausgangsstufe) bearbeitet, gleichzeitig arbeiten aber auch V₁ und V_{3B}. V₄ ist „ruhiggestellt“, so dass aus dem vorderen Schaltungsteil keine Einstreuungen zu erwarten sind. Am

¹ (DIN EN 60065, S. 116: Mindest LUFT- und KRIECHSTRECKEN): $d = 0,78 \cdot \log \frac{U}{300}$ mm

Rhythm-Kanal sind *V1* und *V2* maßgeblich beteiligt, *V3B* ist deshalb in eine Massefläche verpackt, damit ein Übersprechen aus *V2A* vermieden wird. Im *Lead*-Kanal schließlich sind die zentral gelegenen Röhren *V3* und *V4* verantwortlich. Eine kritisch Stelle ist der Anschluß des Eingangssignals an *V5*, das bei hohen Verstärkungen über die Eingangsleitung (s.u.) zu unerwünschten Rückkopplungen in Form von Pfeifen oder Heulen führen kann. Deshalb ist die erste Stufe des *Clean*-Kanals auch im rechten System von *V5* angesiedelt, da es im Vorfeld (bei einem ähnlichen Amp) hier ständig Probleme gab. Alle kritischen Gitterleitungen sind ohnehin von Masse umschlossen (zumindest in der 2D-PCB-Welt). Die Heizleitungen liegen zwar einseitig auf Masse, werden aber getrennt aus der 12 V-Versorgung geführt.

Auf die Größe der zu bohrenden Löcher kann man bei den Widerständen über die Padform schließen: alle Widerstände der Bauform 207 (also die kleinen) haben runde Pads und werden mit 0,8 mm gebohrt, ebenso die Relais und alle Wima-Kondensatoren mit Ausnahme der 47 nF-Cs (meist zu erkennen an den 3 Löchern, damit man auch auf 22 nF ausweichen kann). Diese, sowie alle Elkos und die Platinensteckverbinder, werden mit 1 mm gebohrt. Die Löcher für die Röhrensockel, die großen Schottky-Dioden sowie die Masseanschlüsse der geschirmten Leitungen werden mit 1,5mm-Löchern versehen und die Platine an 5 Löchern von je 3,5mm mit 3mm-Schrauben befestigt.

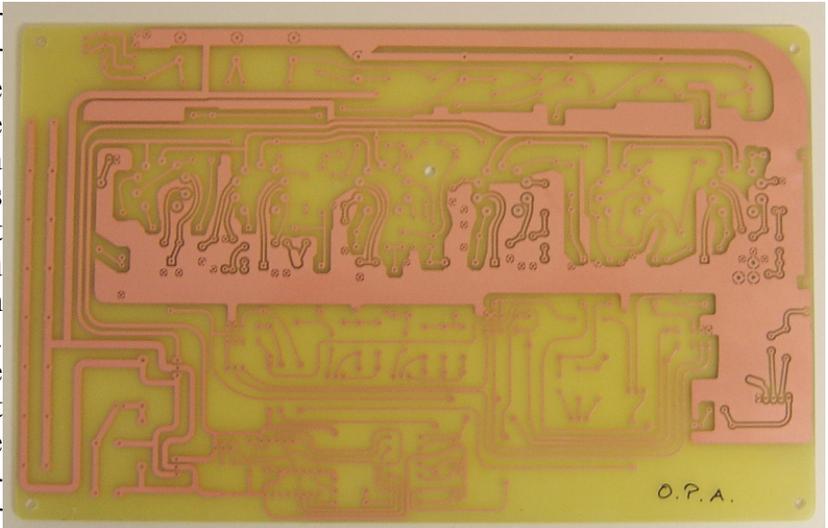


Abbildung 22: unbestückte Platine

Die roten Drahtbrücken sind ebenfalls für 0,8 mm-Löcher vorgesehen, man kann aber auch sog. „Null-Ohm-Widerstände“ verwenden. Sie haben quadratische Pads. Es gibt nur zwei Biegegrößen, nämlich 10 mm und 15 mm (auch für die Drahtbrücken) so dass das Bestücken unter Zuhilfenahme einer einfachen Biegelehre recht zügig läuft.

Nach dem Ätzen (und Lackieren) sieht die Platine ungefähr so aus, wie in Bild 22 gezeigt.

2.1 Bestücken

Hat man sich die Platine erstellt, sollten zunächst die Drahtbrücken eingesetzt, auf der Lötseite etwas krummgebogen und in einem Rutsch angelötet werden. Zur Kontrolle muß man beim Löten nur darauf achten, dass man steht auf einem quadratischen Pad lötet und am Ende keines von denen mehr frei ist.

Danach bieten sich die Widerstände der kleineren Bauform 207 an. Hier sollten einfach der Reihe nach alle baugleichen eingesetzt, ebenfalls durch etwas Krummbiegen auf der Lötseite vor dem Herausfallen gesichert und in einem Rutsch eingelötet werden. Danach kommen die größeren Bauteile, also die Dioden (der Einfachheit halber sind hier überall identische 1N4007-Dioden verwendet worden), dann die Platinensteckverbinder (deren Nut ist als dicker Strich im Plan eingezeichnet), die kleinen Katodenkondensatoren, die Relais usw. Die Röhrensockel sollten am Ende eingesetzt werden und zwar ohne Spiel, also zunächst an z.B. 3 Beinchen erstmal gerade einglöten. Beim IC4028 bitte den Sockel nicht vergessen und ganz am Schluß können die 5 Distanzstücke montiert werden. Als letztes müssen unter der Platine noch drei geschirmte Leitungen verlegt werden (das Eingangssignal wird unterhalb von *V1* an den dafür vorgesehenen Punkten entnommen und *V3* und *V5* (rechts!) jeweils vor dem 100nF-Kondensator zugeführt. Von *V5A* muß eine weitere Leitung zum Platinensteckverbinder „TO_GAIN_BR“, hierfür sind die schrägen PADS auf der Unterseite vorgesehen, Der Schirm der Leitung wird dabei ausschließlich an der Seite angeschlossen, wo das Signal „beginnt“. Die andere Seite

wird abisoliert und mit Schrumpfschlauch zusätzlich isoliert.

Die meisten Widerstände kann man übrigens jetzt schon mal nachmessen oder zumindest optisch kontrollieren. Gefahr besteht immer bei gleichartigen Farben (3k3 ↔ 330k, 4k7 ↔ 470k usw.).

Auch die korrekte Einbauposition der Elkos sollte kontrolliert werden. Im Fehlerfall werden die extrem niederohmig, platzen und reißen vorgeschaltete Widerstände mit ins Bauteilnirvana! An den Anoden werden zwar die Symbole der Folienkondensatoren verwendet, sollten diese größer als einige µF sein, sind natürlich entsprechende Elkos einzusetzen, deren Minuspol in Richtung Platinenunterseite zeigt.

Danach kann Platine erstmal weggestellt werden

3 Der Aufbau des Gehäuses

Der aus meiner Sicht grausamste Teil ist immer die Metallbearbeitung, aber wat mut dat mut...

3.1 Boden, Deckel und Seitenteile für Trafo- und PE-vorbereiten

Erstmal suchen wir das ganze Material zusammen:

- das Paket mit dem Gehäuse
- die Baumwollhandschuhe
- ein altes Handtuch o.ä. als Unterlage
- Tesafilm (oder ein ähnlicher Konkurrenzprodukt)
- Körner (notfalls ausreichend lange Spax-Schraube)
- Hammer
- 3,5mm-Stahlbohrer
- 4mm-Stahlbohrer
- 1 Bohrer zw. 10mm und 12mm
- Bohrmaschine
- Schablonen für Trafobefestigung/PE-Schraube
- Schablone für die Preamp-Platine
- Kreuzschlitzschraubendreher für 4mm Schraube und 6-Kantschlüssen o.ä. Größe XXX

Die Schablonen liegen (wie auch der Schaltplan) im **.brd*-Format vor. Dieses Format wird vom Layoutprogramm *EAGLE* der Fa. *CADSOFT* verwendet. Ich empfehle den Download der Demo-Version, da man die Files mit dieser auf jeden Fall maßstabsgerecht drucken kann. Ansonsten funktionieren aber auch die hinterlegten **.pdf*-Files. Für den Trafo ist dies das File

Wuestens-Trafo.pdf

Wuestens-Trafo.brd

Achtung: Bei der Verwendung von PDF-Dateien muß im Druckdialog die Skalierungsoption ausgeschaltet werden!

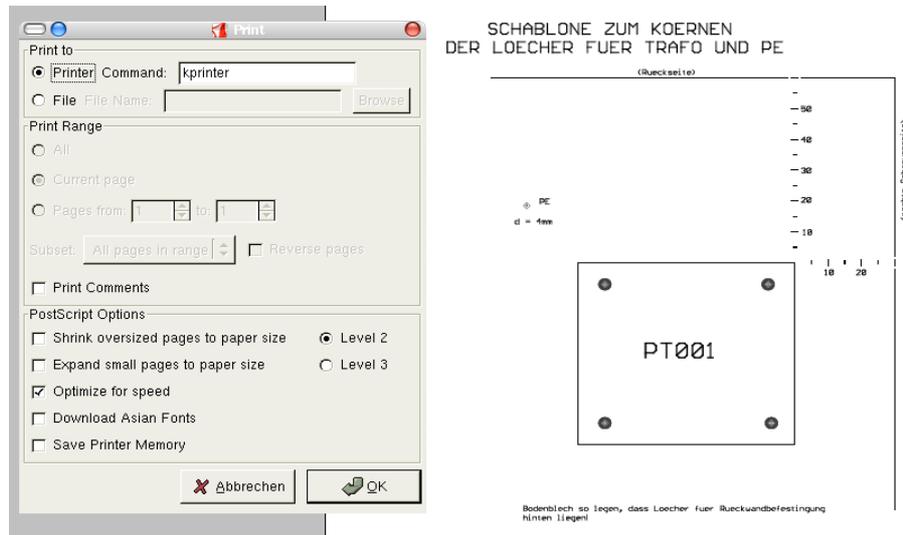


Abbildung 23: Deaktivieren der automatischen Skalierung beim Acrobat Reader

Die Spannung steigt, die Hände werden feucht? Da wir gleich ein paar Stunden auf dem armen Stahlblechgehäuse rumwerkeln werden, ziehen wir besser erstmal die Baumwollhandschuhe aus der Lieferung von Conrad über, ansonsten sieht unser Amp nämlich nach dem Aufbau schon wie ein Gebrauchtgerät aus.

Dann kontrollieren wir sicherheitshalber die Schablonen, indem wir den Trafo und die Platine einfach mal drauflegen. Falls die Löcher nicht richtig sitzen, ist beim Ausdruck etwas schief gelaufen (notfalls einfach nachzeichnen). Die Schablonen schneiden wir aus und kleben wir mit etwas Klebeband so wie auf Bild 24 gezeigt auf die Gehäuseunterseite.

Die Preamp-Platine sollte ca. 2 cm von den Rändern entfernt sitzen (es reicht aus, die Schablone mittig auf DIN A4 zu drucken und das Blatt dann einfach links unten an die Kante zu schieben). Die Schablonen zum Körnen der Seitenteile, in das jeweils eine PE-Schraube soll, kleben wir auch auf (die Dateien sind online verfügbar). Am Deckel suchen wir und eine beliebige Stelle in der Nähe des Trafos aus. Aufpassen, dass wir nicht direkt über dem Trafo bohren, sonst könnte es beim Zusammenschrauben eng werden.

Tip:

Wer alternativ ein anderes Gehäuse verwendet (auch schick ist das unter der Best.-Nr. 549817-07 bei Conrad erhältliche Einschubgehäuse, bei dem man die mitgelieferte Frontplatte gravieren lassen kann [Frontplattenfile s. Homepage – Preamp PR-2]) sollte den Trafo evtl. versetzt montieren, damit die Hochspannungsklemmen nicht direkt unter den dann anders sitzenden Lüftungsschlitzen liegen. Aus sicherheitstechnischer Sicht wäre es wahrscheinlich weiterhin unbedenklich (der „Normfinger“ passt nicht durch...), aber vielleicht hält ja ein findiger Jurist die Lüftungsschlitze für einen Spardosenzugang und steckt all sein Kleingeld rein...

Beim gerade genannten Gehäuse kann man sich übrigens die Rückseite sparen, da dieses eine U-förmige Wanne aus Seitenteilen und Rückseite hat, muß dann aber auf der (Stahlblech-)Rückseite sämtliche Bohrungen usw. von Hand anbringen.

Achtung!

Beim hier verwendeten Gehäuse ist bei Deckel, Bodenteil und bei den Seitenteilen ist dort hinten, wo im Falz die kleinen Löcher für die Befestigung der Rückwand sitzen! Das Bodenteil hat vorn keine (!) Löcher, die Seitenteile haben vorn die großen und hinten die kleinen Löcher!

Nun wird gekörnt (PE nicht vergessen!) und anschließend werden die Schablonen entfernt. Jetzt kann vorsichtig gebohrt werden. Die Preamp-Platine benötigt 3,5mm-Löcher (eigentlich reichen 3mm, aber

mit etwas Reserve können wir sie später ganz ohne Spannungen einbauen), alle anderen Löcher (Trafo, PE) werden mit 4 mm gebohrt. Manche Bohrmaschinen haben einen „Anschlag“, mit einem Stück Holz untergelegt ist's evtl. einfacher. Es ist hilfreich, um die Bohrer direkt vor dem Bohrfutter etwas Isolierband zu kleben, dann zerkratzt man beim „Anschlag“ auf das Gehäuse dieses nicht sofort.



Nachdem die Löcher dann gebohrt sind, werden die Grate entfernt und anschließend die PE¹-Schrauben montiert. Die Schraube bekommt außen eine Zahnscheibe, die sich später beim Festziehen durch den Lack bis auf das Blech beißt, innen noch eine Zahnscheibe, darüber eine Unterlegscheibe, dann die Lötöse, eine weitere Unterlegscheibe und einen Sprengling – darüber dann die Mutter (s. Bild 25).

An die Schraube neben dem Trafo kommen insgesamt 7 Lötösen, weil von dort Leitungen zu den Seitenteilen, der Rückwand, dem Deckel und zum Trafo gehen werden und der GND-Lift-Schalter auch noch dran muß.

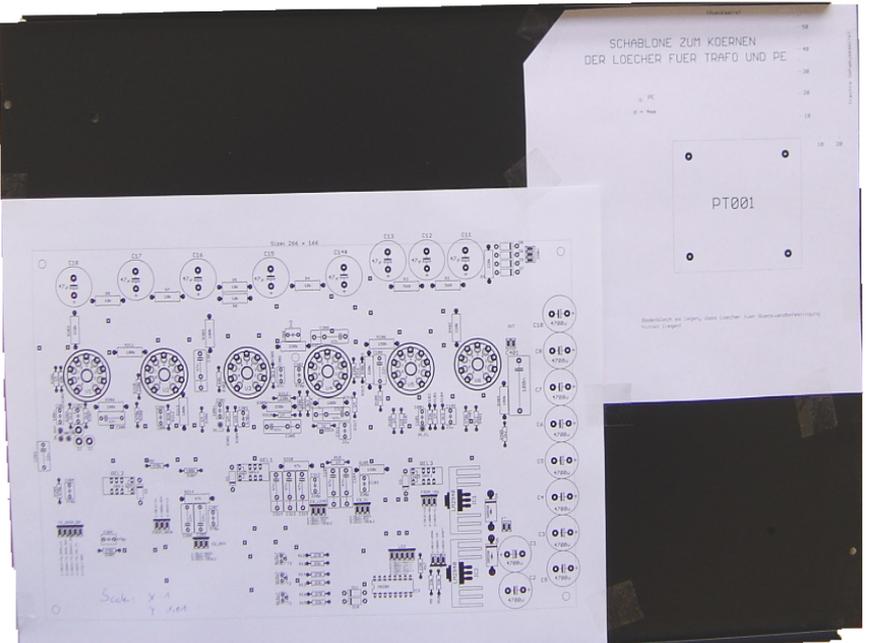


Abbildung 24: Bohrschablonen im Gehäuse

3.2 Trafo montieren

Im Anschluß daran können die Gehäusefüße montiert werden. Der Trafo kann auch montiert werden, ebenso die Seitenteile. Alle Schraubverbindungen sollten erstmal „handwarm“ angezogen werden. Dann kann der Boden mit den Seitenteilen erstmal weggestellt werden.

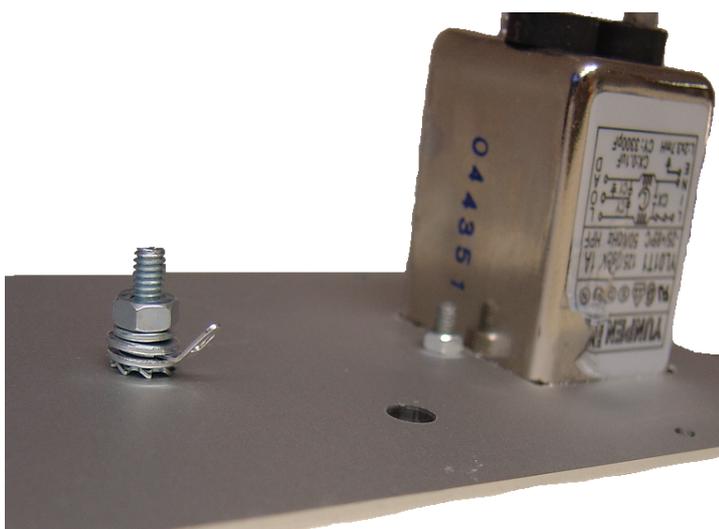


Abbildung 25: PE-Schraube und Netzfilter

1 PE: *Protective Earth* – Schutzleitersnschluß Dieser stellt sicher, dass am Metallgehäuse keine beim Berühren gefährlichen Spannungen anliegen. Neben dem korrekten Anschluß ist bei der Inbetriebnahme auch mindesten eine Prüfung erforderlich.

3.3 Rückwand vorbereiten

Hier werden zunächst die Klinkenbuchsen (ohne Werkzeug von Hand) eingebaut, dann der Netzfilter eingesetzt und mit den Senkkopfschrauben (M3x12) samt Muttern befestigt. Der Ground-Lift-Schalter (1-polig, EIN-AUS) wird montiert.

Anmerkungen zum Thema GND-Lift

GND-Lift oder übersetzt „Auftrennen der Erdverbindung“ ist ein heikles Thema, weil hier immer wieder sog. „Experten“ mitunter lebensgefährliche Lösungen anbieten. Weil man es gar nicht oft genug erwähnen kann, soll zunächst erklärt werden, wie die Schutzerdung bei Geräten der Schutzklasse 1 überhaupt funktioniert. Eigentlich sollte das jeder, der sich auch nur ansatzweise mit dem Gedanken zum Eigenbau eines solchen Verstärkers beschäftigt, wissen, aber der Vollständigkeit halber packen wir das lieber nochmal hier hin:

Ein *Gerät der Schutzklasse 1* zeichnet sich zunächst mal durch ein Metallgehäuse aus, und wird mit einem dreipoligen Schuko (=Schutzkontakt-)stecker mit dem Netz verbunden. Dieser Anschluß kann natürlich auch über eine sog. Kaltgeräteverbindung erfolgen. (Der folgende Text sowie die Bilder sind <http://www.wikipedia.de> entnommen).



Abbildung 26: Schuko-Stecker

„Wesentlich ist, dass ein dritter Pol, Pol der Schutzkontakt, an Steckern und Buchsen zu finden ist. Dieser sollte vorauseilend sein, das heißt, eine leitende (Schutz-)Verbindung (Schutzleiter) herstellen, bevor die Strom führenden Leitungen Kontakt bekommen. Beim Schuko-Stecker wird dies über Kontaktflächen an der Steckerseite und die charakteristischen Kontaktfedern der Dose sichergestellt. Zur Verkabelung wird ein dreiadriges Kabel verwendet. Ein metallisches Gehäuse muss mit dem Schutzleiter verbunden sein. Dies ist für alle Geräte mit metallischem Gehäuse Vorschrift. Bei den Kabeln hat der Schutzleiter die Farbe grün-gelb.“

Wichtig ist, dass die grün-gelbe Leitung nie und nimmer vom Gehäuse getrennt wird – GND-Lift hat also nur indirekt mit dieser zu tun. Somit ist immer sichergestellt, dass das Gehäuse auf Erdpotential liegt, denn im Fehlerfall (also dann, wenn im Inneren des Gerätes eine Leitung, die eine gefährliche Spannung führt, abreißt und ans Gehäuse kommt) passiert dann nichts, weil der Schutzleiter das Gehäuse weiterhin auf Erdpotential hält. Wer über einen FI (=Fehlerstrom)-Schalter verfügt, wird dessen Auslösen bemerken, denn dieser Schalter testet, ob denn genau der Strom, der durch ihn *herausfließt* auch wieder *hereinkommt*. Im Falle eines Abfließens über ein Gehäuse zur Erde würde etwas Strom fehlen und der FI schaltet ab vorsorglich ab – eine tolle Erfindung!

Nun kann aber das Problem einer sog. *Brummschleife* entstehen. Dieses tritt auf wenn:

- mehrere Geräte mit Schutzleiter (also min. 2) in der Signalkette vorhanden sind

UND

- bei beiden Geräten die Signalmasse mit dem Schutzleiter verbunden ist.

Nun gibt es zwei Möglichkeiten der Abhilfe:

1. Man trennt bei *einem* der Geräte die Verbindung zwischen Masse und Schutzleiter auf, wobei der Schutzleiter natürlich weiterhin am Gehäuse angeschlossen bleibt! Dies kann (wie hier) durch einen GND-Lift-Schalter erfolgen. Dann ist aber sicherzustellen, dass die Schaltungsmasse in einem anderen (mit dem gelifteten über eine Signalleitung verbundenen) Gerät hergestellt wird.

2. Man erhöht den Widerstand der entstehenden Leiterschleife, indem man die Verbindung zwischen Masse und Schutzleiter über einen hochohmigen Widerstand (meist ca. 1 k Ω) herstellt. Die Fa. *Sheriff* verwendet in ihren Geräten zur Zeit die folgende rechts gezeigte Schaltung.

Alle Bauteile müssen natürlich den für den Scheitelwert der Netzspannung von 325 V (besser: ca. 500 V) zugelassen sein. Die Dioden werden bei ca. 0,7 V Spannungsdifferenz zw. Gehäuse und Schaltungsmasse leitend, C_1 unterdrückt hochfrequente Einstreuungen und liegt im Bereich von 100 nF...1 μ F.

So kommt man eigentlich auch ohne einen GND-Lift-Schalter aus. Eine Kombination ist ebenfalls möglich (einfach den GND-Lift parallel zu den 4 Bauteilen anschließen).

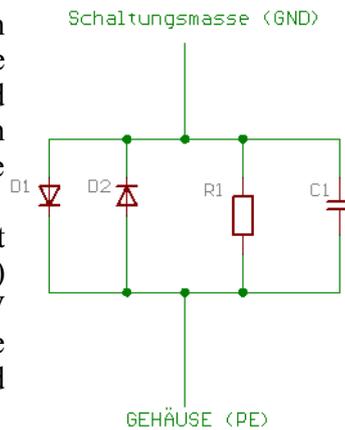


Abbildung 27: GND und PE

Welche Verschaltung man auch wählt, es darf für die Leitung zum GND-Lift-Schalter **keine** grün-gelbe Leitung verwendet werden, die ist und bleibt für den Schutzleiter reserviert!

3.4 Rückwand und Boden-/Seitenteil verbinden

Nun kann die Rückwand an das Bodenteil und das linke Seitenteil montiert werden. Auch hier gilt: Nicht gleich bis zum Anschlag festziehen, das machen wir später. Der Trafo wird endgültig festgezogen, das rechte Seitenteil bleibt entfernt, bis die Netzzuleitungen an den Trafo angeschlossen sind.

3.5 PE-Leitungen anschließen

Der Schutzleiter ist bekanntermaßen unsere Lebensversicherung, falls sich mal eine Hochspannung führende Leitung im Inneren lösen und in Kontakt zum Gehäuse kommen sollte. Deshalb werden wir alle (!) Gehäuseteile mit dem Schutzleiter verbinden. Als praktisch hat es sich

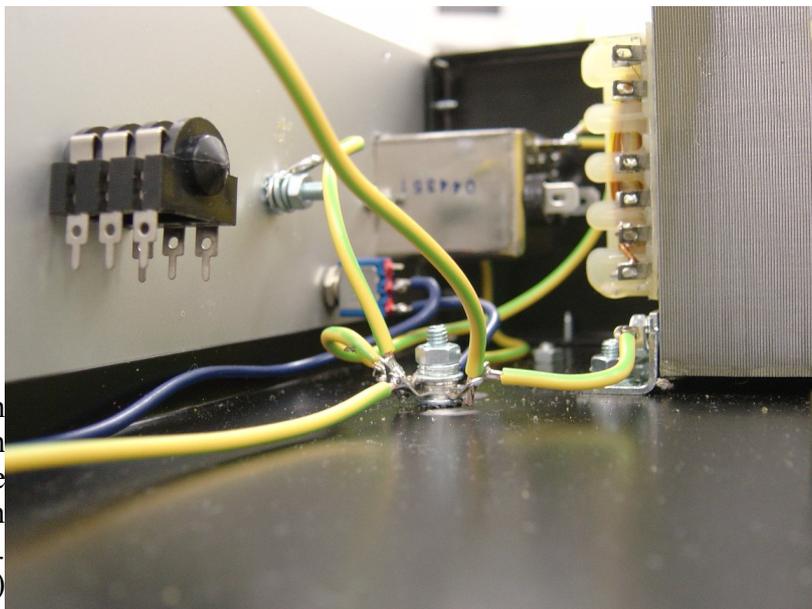


Abbildung 28: PE-Leitungen und Trafo

erwiesen, wenn man zunächst die Verbindung vom Netzfilter zum Sternpunkt anlötet (auch wenn der Netzfilteranschluß steckbar wäre – eine gelötete Verbindung ist besser für's Gewissen) und dann vom Sternpunkt zurück zum Boden, den Seitenteilen und dem Deckel geht. Von den Seitenteilen werden wir zusätzlich je eine Leitung in Richtung der Frontplatte legen.

4 Aufbau der Frontplatte

Zuerst müssen die Achsen der Potis gekürzt werden. Dazu werden diese (also die Achse!) in einen Schraubstock gespannt und mit einer Eisensäge etwas unterhalb der Mitte des gezahnten Teils abgesägt. Dann werden die kleinen Nasen zum Schutz vor Verdrehen abgekniffen und die Kontakte vorsichtig im 90°-Winkel nach oben gebogen. Die Bright-Schalter werden montiert. Von deren 2 Muttern kommt eine hinter die Frontplatte, die andere auf die Unterlegscheibe vorn.

Anschließend wird der Netzschalter montiert (aber noch nicht verdrahtet). Der Schalter wird so eingebaut, dass die weiße Schrift an der Seite auf der rechten Seite liegt (dann ist die EIN-Stellung oben).



Abbildung 29: Poti nach der Bearbeitung

Achtung!

Da es sich bei dem hier verwendeten Schalter um einen einpoligen handelt, liegen evtl. 230V Netzspannung an einer Seite des Trafos an, wenn der Schalter nicht eingeschaltet ist!

Als Alternative kann natürlich ein 2-poliger Netzschalter verwendet werden, der dann beide Zuleitungen zum Transformator auftrennt. Dann ist aber ein anderes Layoutfile für die Frontplatte zu verwenden bzw. das vorhandene anzupassen!

Die Eingangsbuchse wird so angeschlossen, dass bei nicht eingestecktem Stecker alle Kontakte kurzgeschlossen sind und der eingesteckte Stecker diesen Kurzschluß unterbricht.

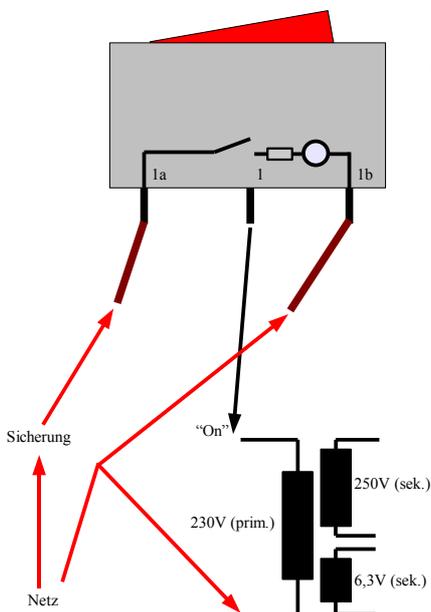
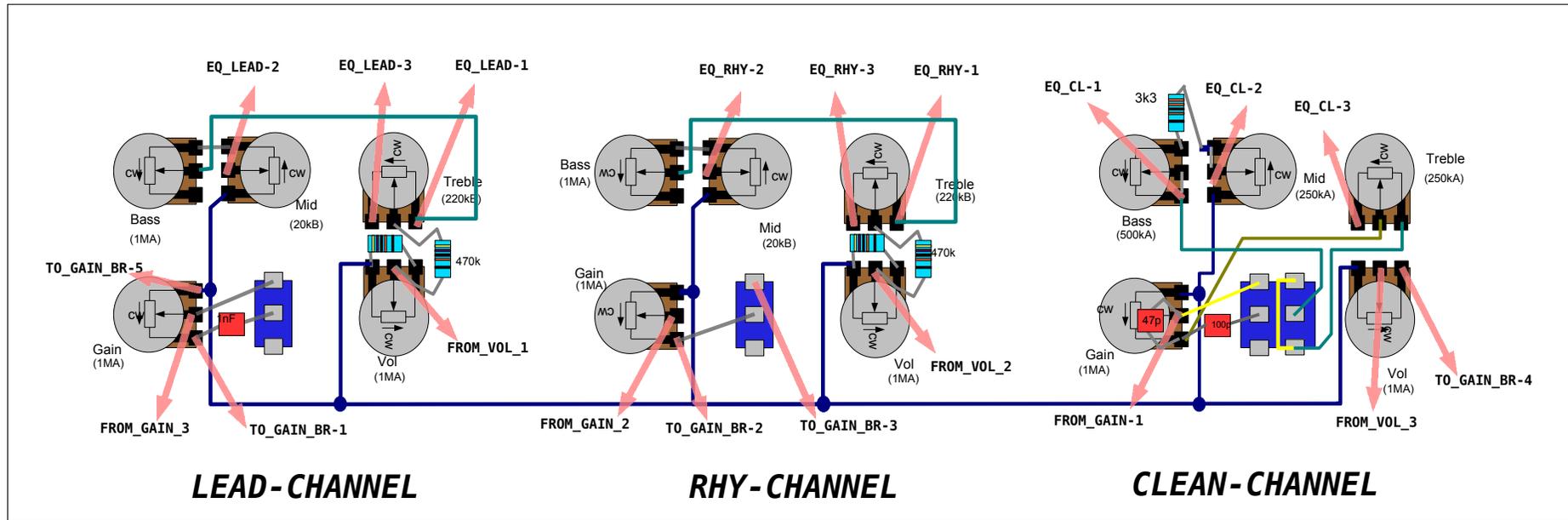


Abbildung 30: Netzschalter in AUS-Stellung

Die zusätzlichen Befestigungslöcher werden ganz am Schluß, wenn die Frontplatte montiert ist, mit einem 2,5 mm-Bohrer in Boden und Deckel gebohrt.



(Frontplatte oben)

Abbildung 31: Verdrahtung der Frontplatte

5 Inbetriebnahme

Es wird spannend. Wer ein Oszilloskop besitzt ist klar im Vorteil, es soll aber mit einem normalen Multimeter losgehen. Das Kapitel ist so geschrieben, dass genau diejenigen, die den Amp nicht bauen sollten, auch noch das Nachwort lesen können...

(Die Platine ist noch nicht eingebaut!)

5.1 Schutzleiter prüfen

Das Netzkabel wird eingesteckt und der Widerstand vom Schutzleiteranschluß bis zum Abgriff am Netzfilter gemessen. Dieser sollte deutlich geringer als $0,3 \Omega$ sein. Es ist bekannt, dass die handelsüblichen Vielfachmessgeräte bei so kleinen Widerständen ungenau arbeiten, aber das soll nicht abschrecken, denn zum Feststellen der Niederohmigkeit reicht die Genauigkeit. Sollte der Widerstand größer sein, ist zunächst mal der Eigenwiderstand des Messgerätes zu ermitteln (Prüfspitzen aneinandrer halten) und dieser dann vom Messergebnis abzuziehen. Typische Werte sind $0,2 \Omega$ bis $0,4 \Omega$ für das Messgerät und $0,1 \Omega$ bis $0,2 \Omega$ für den gemessenen Widerstand. Dann wird vom Schutzkontakt der Anschlußleitung zur Frontplatte gemessen (die DIP-Schalter eignen sich gut!). Keines der Messergebnisse darf (korrigiert) größer als $0,3 \Omega$ sein – sonst liegt ein Fehler vor, der **vor der weiteren Inbetriebnahme** abgestellt werden muß. Fachkundige Hilfe ist hier angebracht, ansonsten kann man sich evtl. schon mal beim Bestatter vorstellen und vermessen lassen.

Die Messwerte sollten man zur Sicherheit genau hier eintragen:

- Widerstand zwischen Schutzleiter und Netzfilter: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Prüfspitzen des Messgeräts: _____ Ω
- Widerstand zwischen Schutzleiter und Netzfilter: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Schutzleiter¹ und Frontplatte: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Schutzleiter und Boden: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Schutzleiter und Seitenteil l.: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Schutzleiter und Seitenteil r.: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Schutzleiter und Rückwand: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)
- Widerstand zwischen Schutzleiter und Potentiom.: _____ Ω (< $0,3 \Omega$)

1 Anschluß am Schukostecker

5.2 Platine einbauen

Die Platine wird eingesetzt und alle Verbindungen **außer der Hochspannung** werden hergestellt. An der Hochspannungsleitung wird erst die unbenutzte mittlere Leitung direkt am Stecker entfernt, die Verbindung zum Trafo noch **nicht** hergestellt.

Der Trafo besitzt eine 20V-Hilfswicklung, die für den regulären Betrieb nicht verwendet wird. Diese wird jetzt testweise als „Hochspannung“ verwendet, damit ein dieser erste Test (ohne eigentliche Funktion) nicht zu gefährlich wird. Die eigentlichen Lötanschlüsse für die 250V-Wicklung sollte man sicherheitshalber mit Isolierband verkleben, da sie am Trafo ganz oben liegen. Den Anschluß der Heizleitung, aus der die 12 V-Spannungen erzeugt werden, bereiten wir ebenfalls vor und schließen diesen ebenfalls noch **nicht** an, die Platine wird also noch nicht mit Spannung versorgt.

5.3 Netzschalter testen

Die 250 mA-Sicherung wird eingesetzt und dann eingeschaltet. Als erstes wird geprüft, ob der Trafo sie korrekten Ausgangs**w**echselspannungen liefert und der Netzschalter den Betrieb auch optisch vermeldet. Nun kann also der Netzstecker in die Steckdose (nochmal gucken, ob auch wirklich nichts an der Sekundärseite des Trafos angeschlossen ist) und eingeschaltet werden. Der Netzschalter muß leuchten und an den Klemmen der Heizwicklung müssen ca. 6,3 V – 8 V AC gemessen werden können. An den Klemmen und der Hilfswicklung müssen ca. 20 V – 25 V AC gemessen werden können. Es sollte auch geprüft werden, ob diese Spannungen nach Ausschalten des Geräts bei weiterhin eingestecktem Stecker auch wirklich auf 0 V absinken.

- 6,3 V AC an Klemmen: _____ V (6,3 V ... 8 V)
- 20 V AC n Klemmen: _____ V (20 V ... 25 V)
- Nach Ausschalten beide spannungsfrei (JA/NEIN) _____ (JA)

5.4 Heizspannung und Kanalumschaltung testen

(Es sind übrigens immer noch keine Röhren eingebaut!)

Bei ausgeschaltetem Verstärker wird die 6,3 V-Wicklung mit der Platine verbunden und dann der Verstärker eingeschaltet. Außer der Betriebsanzeige des Netzschalters muß nun die LED des Rhythm-Kanals leuchten und an den Klemmen 4 und 5 von jedem Sockel müssen 12V DC (bzw. -12V DC) meßbar sein. Nach Einstecken eines 2-fach Fußschalters muss mit dem Schalter, der mit der Spitze des Klinkensteckers verbunden ist, der LEAD-Kanal schaltbar sein, der zweite Schalter wechselt bei ausgeschaltetem LEAD-Kanal zwischen CLEAN- und RHYTHM-Kanal. Wer einen Einfach-Schalter verwendet muss zwischen LEAD- und CLEAN-Kanal schalten können. Die Relais sollte man beim Umschalten hören.

5.5 Anodenspannung mit 20V-Hilfswicklung testen

Es wird ausgeschaltet und die 20 V-Hilfswicklung an Stelle der Hochspannung angeschlossen. Dann wird zugeschaltet und geprüft, ob an allen Anodenanschlüssen (Sockelpins 1 und 6) ca. 30 V – 33 V DC anliegen. Ist dies bestätigt wird erneut geprüft, ob alle 350 V-Elkos richtig herum eingebaut sind.

Nun wird ausgeschaltet und **weiterhin** an einer Anode die Spannung **gemessen**. Diese muss sich nun

langsam (ca.30 s – 60 s) auf unter 3 V abbauen. Danach können die Röhren eingesteckt werden. Die Hochspannung wird an die dafür vorgesehenen Klemmen angebracht und isoliert aber noch nicht auf die Platine gesteckt!

Nach einem weiteren Einschalten sollten alle Röhren sichtbar glühen. Es wird wieder ausgeschaltet und die Hochspannung gesteckt.

NACH DEM NÄCHSTEN EINSCHALTEN LIEGEN DANN CA. 350V AN DER PLATINE!

Wer sich also unsicher ist, sollte spätestens hier fachkundige Hilfe einholen. Auch wenn der Amp eigentlich so gut wie fertig ist, kann man immer noch großen Schaden anrichten!

Der letzte Schritt ist dann Einschalten und in Ruhe testen :-)

6 Mods & Co.

HIER WIRD GERADE DRAN GEWERKELT...

Anhang 1: Ein Einstieg in die Simulation

Dieses kleine Kapitel soll als kurze Einführung in die Simulation der hier verwendeten Grundschaltungen dienen. So kann man im Vorfeld schon eine Menge über das zu erwartende Übertragungsverhalten einer Schaltung aussagen und sich planloses Ausprobieren (was durchaus auch zu klanglichen Spitzenergebnissen führen kann) sparen.

Was braucht man?

Zunächst mal muss man sich die frei verfügbare Simulationsumgebung *SPICE* besorgen. Unter Linux ist das relativ einfach, da diese wohl in jeder Distribution enthalten ist, bei Windows bietet sich WinSpice an.

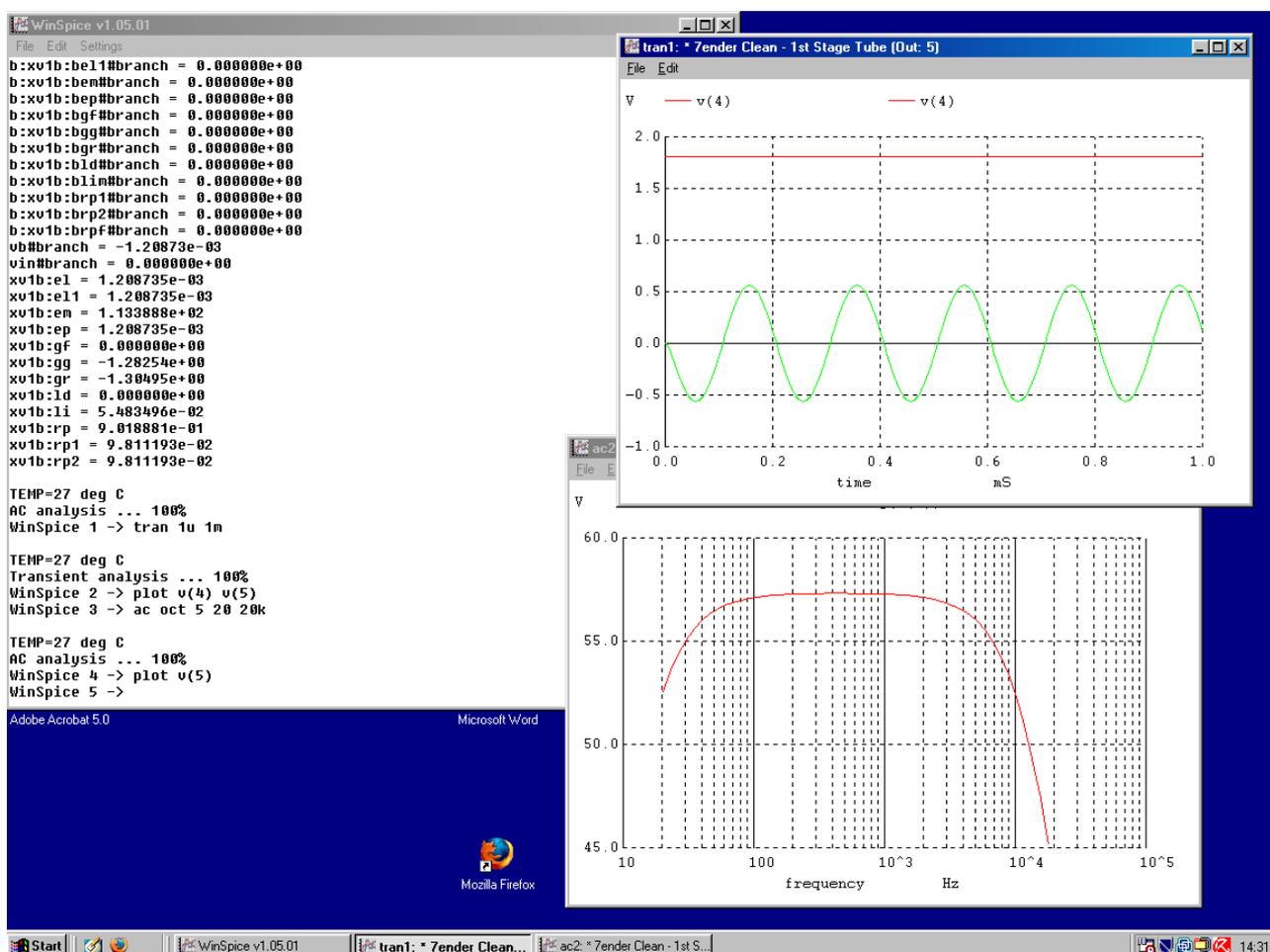


Abbildung 32: WinSpice in Aktion

Ein erster Versuch

... findet an einem leicht angepassten File von dieser Seite

http://bear.ces.cwru.edu/eecs_cad/tut_spice3_tube.html

statt. Es wurde ursprünglich von *Michael McCorquodale* geschrieben, das Modell der Röhre ist *courtesy of duncanamps* (www.duncanamps.com). Im Beispielfile werden die Widerstände im Megaohmbereich mit *M* beschrieben, keine der gleich verwendeten Simulationsumgebungen kommt aber damit klar (also

alle *M*'s durch *Meg* ersetzen!).

Ein Blick in das Simulationsfile:

```
***** ANALYSIS *****
*.OP
*.TRAN 1u 4m 0 2u
.AC OCT 5 20 20k
*****
```

Hier steht, dass wir eine Untersuchung des Frequenzverhaltens zwischen 20 Hz und 20 kHz machen wollen, wobei pro Oktave 5 Punkte berechnet werden sollen.

Nun folgt die eigentliche Schaltung. Zuerst werden zwei Quellen definiert (Versorgungsspannung und Signalquelle) und dann die Schaltung in einer sog. „Netzliste“ dargestellt:

```
***** MAIN CIRCUIT *****
VA 100 0 DC 350
VIN 1 0 AC 1 DC 0 SIN(0 1000m 1k)
*****
```

```
***** PREAMP CIRCUIT *****
RG 1 2 68k
RGB 1 0 1Meg
RA 100 5 100k
RK 4 0 1.8k
CK 4 0 22u
X1 5 2 4 12AX7
CO 5 6 47n
RO 6 0 1Meg
*****
```

Die Syntax ist recht einfach, jedes Bauteil kriegt einen Namen (logisch), Widerstände heißen dann *Rxxx*, Kondensatoren *Cxxx*, unabhängige Spannungsquellen *Vxxx* (hier: Betriebsspannung und ein Eingangssignal), sogenannte *Subcircuits* (quasi kleine Unterprogramme) werden mit *Xxxx* bezeichnet. Hier haben wir eins für die Triode (s.u.). Die Knoten, an denen das Bauteil angeschlossen wird, können ebenso beliebig benannt werden, eine Nummerierung ist aber schon sinnvoll.

Dann folgt noch der Subcircuit für die Triode

```
***** 12AX7 MODEL *****
.SUBCKT 12AX7 A G K
```

(... das schenken wir uns mal ...)

```
*****
```

und ganz am Schluß ein finales

```
.END
```

damit der Simulator weiß, dass Schluß ist.

Für uns sind eigentlich nur die Bereiche *Main Circuit* und *Preamp Circuit* wichtig.

Direkt nach dem Laden sollte WinSpice „AC Analysis ... 100%“ melden. Die Eingabe von

```
PLOT V(6) [RETURN]
```

liefert dann schon die Übertragungsfunktion der Stufe (beim Original-*Spice3f5* ist ein Minuszeichen nötig, also PLOT -V(6)).

Das Ergebnis sieht dann so aus, wie im Bild rechts gezeigt:

Man sieht, dass diese Schaltung zwischen ca. 80 Hz und 20 kHz annähernd linear um etwa Faktor 57 verstärkt.

Die Analyse kann man auch einfach mittels des Kommandos:

```
AC OCT <PUNKTE/OKT> <VON> <BIS> [RETURN]
```

direkt an der Kommandozeile der Simulation veranlassen.

Oft ist interessant wie ein Signal im Zeitbereich aussieht (Stichwort: virtuelles Oszilloskop). Hier hilft die *Transientenanalyse* weiter. Der Befehl

```
TRAN 0.1m 1m [RETURN]
```

leitet eine solche ein. Hier wird das Zeitintervall von 1 ms in 0.1 ms-Schritten untersucht. Als Daumenregel nimmt man als Startwert einfach 1/1000 des Endwertes. Ehrlicher Weise muss man eingestehen, dass die Schaltung eigentlich im – mehr oder weniger - eingeschwungenen Zustand untersucht werden müßte, damit hat meine Version aber gerade ein kleines Problem...

Die Werte der Transientenanalyse sind also an die Signalquelle am Eingang angepasst

```
VIN 1 0 AC 1 DC 0 SIN(0 1000m 1k)
```

... bedeutet nämlich: Diese Quelle ist für die AC-Analyse mit 1V zu verwenden, hat keinen Gleichanteil (*DC 0*) und als Transientenquelle eine Sinusquelle (Verzögerung 0, 1000mV, 1kHz).

Wenn wir und nun das Eingangssignal mittels PLOT v(1) angucken, sehen wir eine formschönen Sinus (kein Bild). An der Anode können wir das verstärkte Signal incl. Gleichspannungsoffset sehen (PLOT v(5)) und hinter dem Koppelkondensator ebenso (PLOT v(6)), beide gleichzeitig kann man sich mittels PLOT v(5) v(6) anzeigen lassen. Hier klärt sich auch nebenbei gleich die Frage nach der Spannungsfestigkeit des Koppelkondensators, denn wenn wir das Eingangssignal mal ordentlich hochfahren (in der Zeile der Quelle mal 20 anstatt 1000m eintragen) sehen wir eine schöne Übersteuerung, die hier bis knapp 200 V reicht. Wer mag, kann jetzt mal schrittweise den Katodenkondensator verkleinern. Ein kleines *u* steht bei Spice für μ , 0.68uF sind also 0,68 μ F oder 680 nF, als Dezimaltrenner ist ein Punkt zu verwenden, die Bezeichnungen der elektrischen Größen (V, F...) kann man weglassen, sie werden ignoriert.

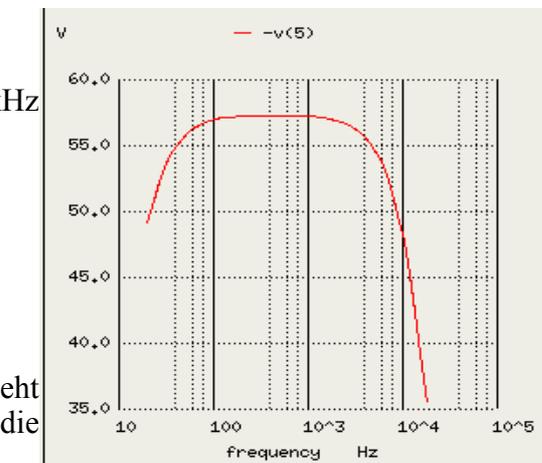


Abbildung 33: Übertragungsverhalten der Beispielschaltung

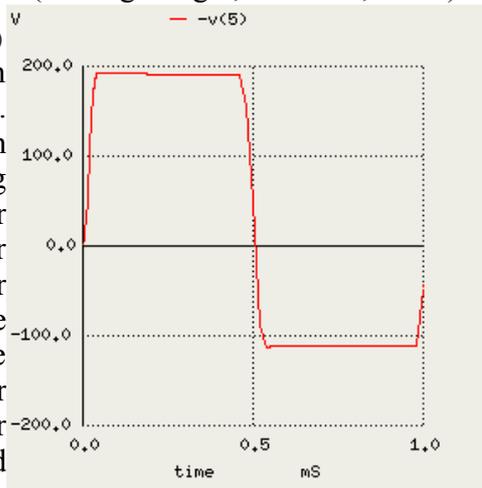


Abbildung 34: Übersteuerte Röhrenstufe

Viel mehr muss man auch zunächst eigentlich hgar nicht wissen. Die WinSpice-Version ist über die *Analysis*-Anweisungen des Netzlistenfiles auch gut steuerbar (im Gegensatz zur Linux-Version). Entfernt man das Kommentarzeichen vor der *.OP*-Anweisung, kriegt man (nach dem Anklicken von *Speichern*) sofort sämtliche DC-Arbeitspunkte angezeigt. Zum Losspielen ist die kleine

Beispeischaltung erstmal gut geeignet.

Weiter gehende Informationen zum Thema Spice liefert natürlich das Manual, welches online unter anderem unter der Adresse

<http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/Electronics2/userguide/> zu finden ist.

Bauteil- und Bestelllisten

(.-> gibt's aktuell online)