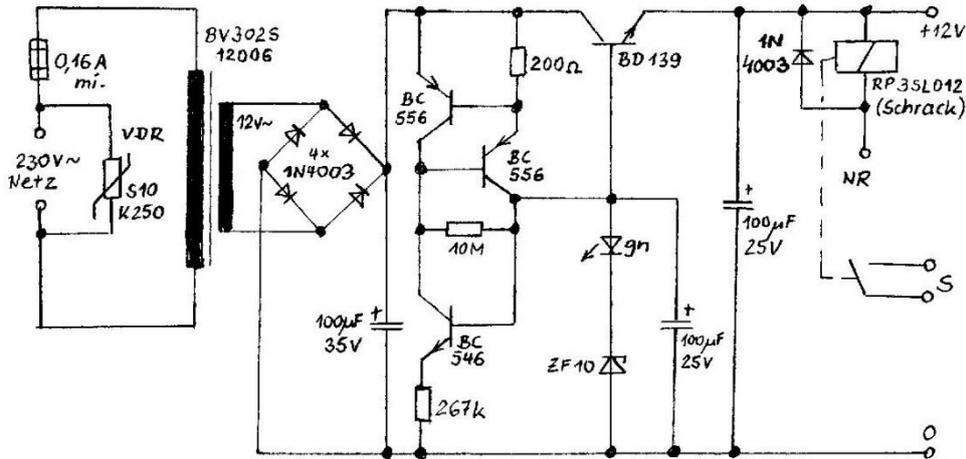


1.3.5 Hilfsnetzteil

Die Leistungsentnahme vom Netz ist im Standby-Modus unter 1W. Damit wird die C-MOS-Elektronik im Betrieb gehalten. Die Empfangseinheit für die Fernsteuerung bleibt auch bereit.

Am Netzeingang schützt der Varistor bei eventuellem Blitzschlag, indem er auf maximal 250V begrenzt.

Das Netzteil enthält die eingangs (1.2.2) beschriebenen Konstantstromquellen und statt Darlingtonschaltung nur einen Längstransistor. Der kleine Transformator liefert genügend Energie, auch das Netzrelais einschalten zu können.



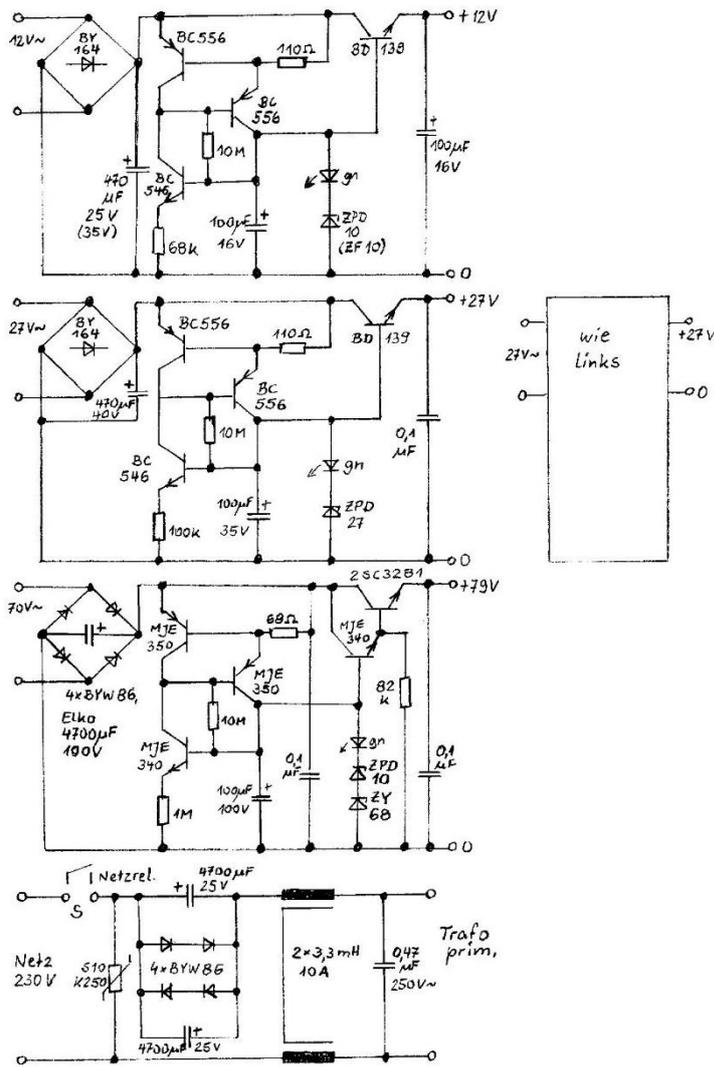
1.3.5 Hilfsnetzteil und Netzrelais



1.3.6 Stromversorgung

Die unten dargestellten Schaltungen sind auf einer Leiterplatte untergebracht, welche durch die Kühlplatten räumlich von den Verstärkerplatten getrennt ist. Die Kühlung der Längstristoren übernimmt die erste der beiden Kühlplatten.

Ziel ist, den Verstärkern eine Spannung mit geringster Restwelligkeit zu liefern. Auf den Verstärkerplatten im benachbarten Gehäuseteil folgen Schaltungen, welche diesen um etwa 3V reduzierten Spannungen noch konstante Stabilität liefern. Nebenprodukt ist gratis eine weitere „Säuberung“. Auf den Endstufen ist außerdem für eine Überstromsicherung gesorgt. Diese führt automatisch den Strom zurück, falls mal der Lautsprecherausgang kurzgeschlossen wird oder durch unsachgemäße Handhabung eine Überhitzung auftritt.



1.3.6 Stromversorgung



1.3.7 Phono-MM-Verstärker

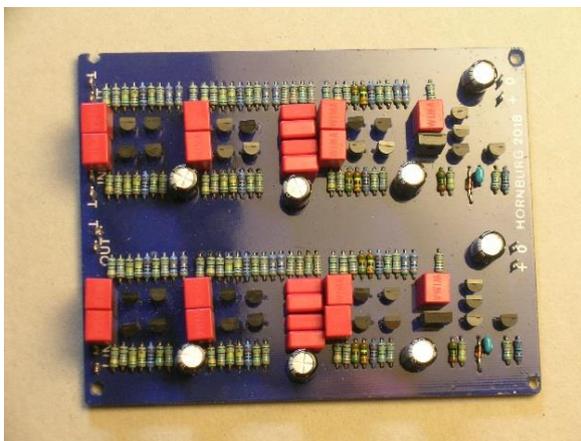
Hohe Verstärkungen bergen die Gefahr von transienten Intermodulationsverzerrungen (TIM-). In den 80er Jahren haben wir Untersuchungen mit einem Spektrum-Analyzer an Schaltungen mit unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren gemacht. Zwischen fünf- und 20-facher Verstärkung gab es die geringsten TIM-Verzerrungen. Das bleibt „hängen“, und so teile ich seitdem hohe erforderliche Verstärkungen in mehrere Stufen auf.

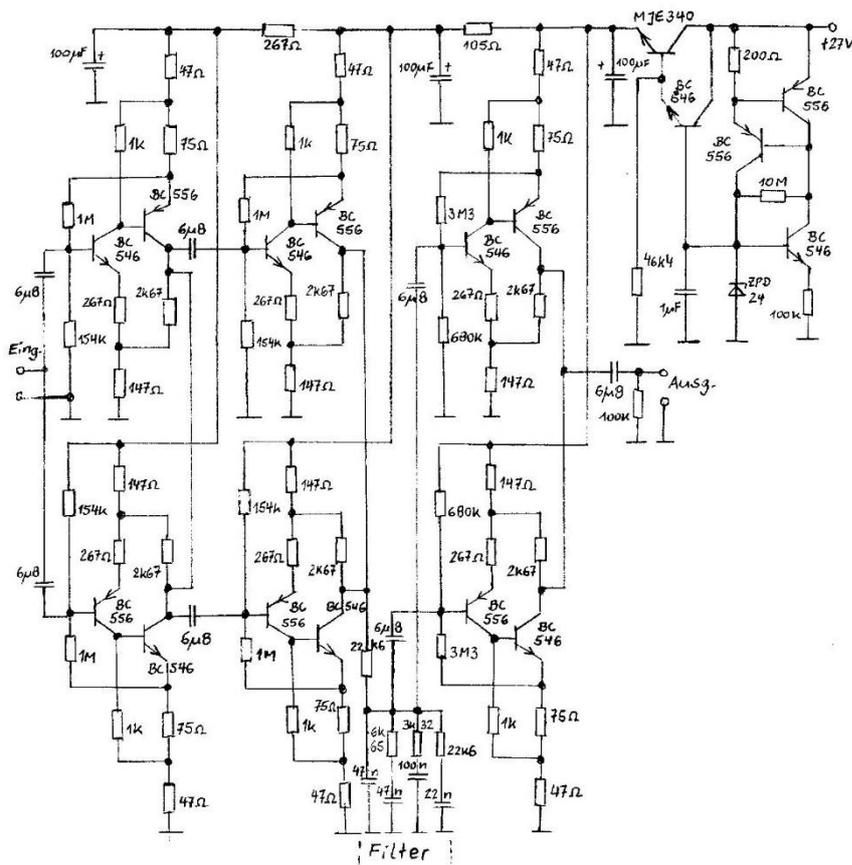
Ein MM-Tonabnehmer liefert im Mittel etwa 5mV_{eff} als Maximum. Ein Endstufeneingang benötigt für eine große Aussteuerung etwa $500\text{mV}_{\text{eff}}$ bis 1V_{eff} , das variiert bei Herstellern. Erforderlich ist also eine 100fache Verstärkung, wäre da nicht die passive RIAA-Entzerrung. Die erfordert weitere 15fache Verstärkung, weil sie um diesen Betrag dämpft, zumindest die passive Variante.

Meine Aufteilung beinhaltet in der ersten Stufe 13fache und in der zweiten Stufe 15fache Verstärkung, die von der Entzerrung um denselben Betrag gedämpft wird. Die dritte Stufe verstärkt wiederum 15fach. Dabei gilt es, gleichzeitig als Eingangswiderstand der ersten Stufe $47\text{k}\Omega$ zu erfüllen, weil sich das als optimale Anpassung an MM-Systeme ergeben hat. Die zweite Stufe soll möglichst niederohmig die passive Entzerrung speisen, während die dritte eingangsseitig möglichst hochohmig sein soll, um die Filter nicht zu belasten. Am Ausgang ist wieder Strom gefragt, damit Kapazitäten der Verbindungen zum Lautstärksteller und zur Endstufe keinen Einfluss nehmen.

Diese drei Verstärkerstufen pro Kanal ziehen bei 27V Betriebsspannung 40mA Strom, beide Kanäle also 80mA. $P=U \times I$, $27 \times 0,08 = 2,16\text{W}$. Fast so viel Leistung braucht eine Doppeltriode nur für die Heizung ($6,3\text{V} \times 0,3\text{A}$).

Aus dem Schaltbild ist die (eingangsseitig kapazitive) Parallelschaltung der einzelnen Stufen erkennbar. Der obere Eingangstristor übernimmt die positive, der untere die negative Halbwelle. Hier geht es um Anpassung und Linearisierung, während der Ausgangstristor die Verstärkung bereitstellt. Über die hochohmigen Basiswiderstände ($>1\text{M}\Omega$) gibt es Spannungsgegenkopplung, die Stromgegenkopplung vom Kollektorwiderstand des zweiten Transistors bewirkt eine Kennlinienbegradigung und damit Begünstigung von schneller Anstiegszeit. Die Stromgegenkopplung auf den Emitter des zweiten Transistors macht den selben Sinn in den Endbereichen der Aussteuerung. Das lässt sich beim Rechteckverhalten darstellen. Hat direkt nichts mit Musik zu tun, wirkt sich aber dennoch bei deren Übertragung aus, z.B. bei der Durchhörbarkeit leiserer Instrumente während großorchestraler Passagen. Beispiel? CBS: Strawinskys „Le Sacre du Printemps“, Cleveland Orchestra, dirigiert von Boulez.





1.3.7 Phono-MM-Verstärker, ein Kanal. Der zweite ist identisch.

1.3.8 Endstufe mit Stromversorgung

Die Stromversorgung bezieht schon eine Gleichspannung aus dem Netzteil, das sich im Gehäusedrittel befindet, das durch zwei dicke Kühlbleche von den Verstärkerplatinen getrennt ist. Mit diesem auf der Endstufen-Leiterplatte angeordneten Teil gilt es, Spannungsstabilität zu gewährleisten. Dafür ist der Regeltransistor vorgesehen, der über das 5kΩ-Trimpoti die Vorgabe bekommt, auf welche Spannung er den Ausgang halten soll.

Ein Stromsensor-Widerstand 0,1Ω sorgt mit dem zugehörigen Transistor dafür, dass bei Überschreiten von 6A die Spannung zurückgenommen wird. Dazu werden die Darlington-Transistoren gesperrt, bis die Stromaufnahme wieder auf Normalmaß sinkt oder ein vorliegender Kurzschluss beseitigt ist. Während des Fehlers leuchtet die rote Leuchtdiode.

Von den beiden Konstantstromquellen speist eine die grüne Leuchtdiode, die hier als Zenerdiode (2V) ihren Dienst macht. Die zweite speist die Darlingtontransistoren. Deren Verstärkungsfaktor B, miteinander multipliziert, entscheidet, welcher maximale Strom über den Längstransistor fließen könnte. Hätten beide einen B von 50, also gesamt 2500, würden schon 2mA Basisstrom reichen, um 5A fließen lassen zu können. Die Konstantstromquellen liefern je etwa 5,5mA.

Die 10nF-Kondensatoren am Regel- und Stromsicherungs-Transistor verhindern mögliche Schwingneigung.

Die Endstufe ist mit einem Eingangsverstärker gleicher Bauart wie in der Phonorstufe bestückt. Die Verstärkung beträgt etwa Faktor 20, der Eingangswiderstand ist auf etwa 10kΩ eingestellt. Die Speisung dieser Verstärkerstufe ist von der Ausgangsstufe über die 680Ω und 680μF-Siebkapazität entkoppelt. Wegen der recht hohen Betriebsspannung ergibt sich am Ausgang eine etwas erhöhte

Zusammenfassung

Eingangs habe ich erwähnt, dass ich diesen Verstärker nicht vermarkten möchte. Er würde einfach viel zu teuer werden.

Bei der gesamten Schaltungsauslegung stand immer Dauerhaltbarkeit im Vordergrund. Die oft krumm erscheinenden Widerstandswerte sind völlig normal aus der E24-Reihe 1%iger Metallfilmwiderstände, die preiswert zu bekommen sind. Kondensatoren sind MKT-Typen zur Gleichspannungsentkopplung und MKP-Typen in den Filtern (HF, RIAA). Da ist Zuordnung angesagt, möglichst gleiche Werte an derselben Stelle im linken wie im rechten Kanal. Für die Elkos in den Netzteilen spare ich natürlich nicht, da wird die Variante mit höherer Temperaturverträglichkeit genommen und am Lautsprecherausgang auf Gleichheit selektiert. Die Selektion findet natürlich auch bei Transistoren statt.

In Berlin (von mir nicht weit) gibt es den Elektronikladen Seegor mit netten Leuten, die nicht schief gucken, wenn ich mit meiner kleinen Kiste komme, mit der ich dort die teuren Leistungstransistoren für die Endstufe selektiere. B möglichst um 100, darunter sind sie eher noch für Netzteile zu gebrauchen.

Die Leiterplatten stelle ich komplett selbst her, vom Kleben der Belichtungsvorlage, Euro-Karte 160 x 100mm oder passend gesägt, belichten, entwickeln, ätzen und chemisch glanzverzinnen, bohren und bestücken, löten. Das hört sich alles schlimm an, ist es auch. Aber da steht ja eine Idee dahinter und die Neugier. Das mit dem Kleben des Layouts scheint „vorsintflutlich“, hat aber den Vorteil, jederzeit kurzfristig eine Änderung vornehmen zu können.

Die gesamte Mechanik des Verstärkers inklusive Gewindeschneiden in die Kühlkörper, noch ein extra Holzgehäuse, lässt wohl erkennen, dass insgesamt viel Zeit ins Land geht. So natürlich auch bei meinen letzten Lautsprechern. Mein dreibeiniger Plattenspieler braucht zum Glück keinerlei Nachbearbeitung. Den hatte ich 1995 zum Teil mit einer Laubsäge aus Birke-Multiplex gesägt, während der schwere Typ mit dreibeinigem Tisch schon damals bei den Funkausstellungen 1989-93 erhalten musste.

Musizieren und Schreiben geht auch noch. Ich wünsche Jedem, in der Zeit nach der manchmal stressigen Arbeitswelt noch Hobbies parat zu haben, die den Kopf fordern.

Danke für Ihr Interesse!

Klaus Hornburg