

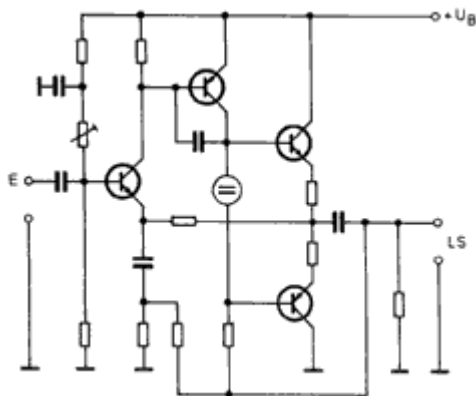
Black Devil Bauanleitung (<http://de.yahoo.com>)

Der Teufel steckt im Detail. Wo sonst sollte er zu finden sein, wenn eine Schaltung auf den ersten Blick eher standardmäßig wirkt und trotzdem den Anspruch erhebt, verteuftelt gut zu sein?

Gearbeitet wird nach High-End-Regeln: Alles überflüssige fliegt raus - jeder PN-Übergang ist ein Stolperstein für die NF - Gegenkopplung kommt immer zu spät. Nur das Wesentliche bleibt - und wird auf die Spitze getrieben.

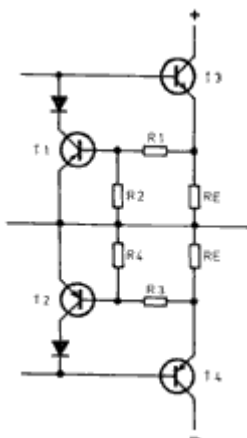
Im folgenden wird der Aufbau des Verstärkers beschrieben. Technische Voraussetzungen zum Abgleich des Verstärkers sind ein möglichst guter Sinusgenerator, ein Oszilloskop und mindestens ein genaues Multimeter.

Die Grundschaltung der Endstufe...



...ist im Prinzip die Variante einer bekannten und

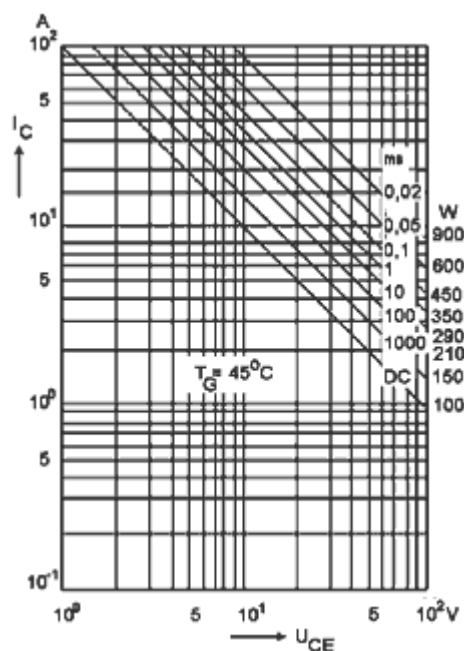
üblichen Endstufenschaltung. Entscheidend sind hier jedoch die Anordnung einiger Komponenten, die Dimensionierung der Bauteile und deren Auswahl. Was auf den ersten Blick auffällt, stellt sich zunächst als Mangel dar: jegliches Fehlen einer Kurzschlußsicherung, keine Differenzstufe im Eingang, dafür aber ein Auskoppelko vor dem Lautsprecher. Das mag seltsam anmuten, da heutzutage symmetrische Endstufen, oft auch DC-gekoppelt, mit verschiedenen Strombegrenzungsschaltungen an der Tagesordnung sind.



Daher gleich zur Strombegrenzung, deren Prinzipschaltung in Bild 2 dargestellt ist: Für jede Signalhalbwellen ist ein Leistungstransistor vorgesehen, über dessen Emitterwiderstand R_E sein Kollektorstrom gemessen wird. Erzeugt der Strom einen Spannungsabfall, der groß genug ist, um über den Spannungsteiler $R_{1,2}$ bzw. $R_{3,4}$ die Transistoren T_1 bzw. T_2 aufzusteuern, wird der Basisstrom des jeweiligen Ausgangstransistors und somit auch sein maximaler Kollektorstrom begrenzt. Die Endstufe ist also kurzschlußfest, was im Prinzip ja auch sehr wünschenswert ist. Die Kollektorströme der Endtransistoren könnten sonst bei einem Kurzschluß aufgrund des sehr geringen Innenwiderstands so groß werden, daß die Transistoren in Sekundenbruchteilen zerstören würden. Im Grunde genommen ist diese Art der Kurzschlußsicherung eine einleuchtende und gut funktionierende Sache.

Solange die Endstufe nicht in die Begrenzung kommt und solange der Lastwiderstand seinen Sollwert nicht unterschreitet, hat die Strombegrenzung auch keinerlei negative Auswirkung auf das Signal. Ist jedoch eine Mehrwege-Lautsprecherbox mit Frequenzweiche angeschlossen, arbeitet die Endstufe an einer komplexen Last, deren Impedanz keineswegs konstant ist. Nach DIN darf ein Lautsprecher oder eine Box ihre Nennimpedanz um bis zu 20% unterschreiten. Nun ist es bei komplexen Audiosignalen durchaus normal, daß gerade in dem Frequenzbereich, in dem die Box ihre Nennimpedanz um die zulässigen 20% unterschreitet, kräftige Impulsspitzen im Programmmaterial vorkommen. Hier also müßte die Endstufe für einige Millisekunden viel Strom an die Box liefern, kann es jedoch nicht, da die Strombegrenzung aktiv wird. Im Klang macht sich diese Tatsache durch eine gewisse Rauigkeit und Kratzigkeit bemerkbar. Ein weiterer Nachteil dieser Art der Strombegrenzung ist außerdem in ihrem abrupten Einsetzen zu sehen, was ebenfalls zu Klangverfälschungen führt.

Röhrenendstufen kommen gänzlich ohne Kurzschlußsicherung aus, da sie durch den Ausgangsübertrager eine immanente Strombegrenzung besitzen. Allein schon der Kupferwiderstand der Übertragerwicklungen begrenzt den Strom wirksam, aber auch der in Sättigung geratende Eisenkern. Röhrenendstufen gehen deshalb weich in die Begrenzung, was sich in einem weicheren Klangbild niederschlägt. Es gilt also nach Möglichkeiten zu suchen, wie diese weiche Form der Begrenzung in der Transistortechnik realisierbar ist.



Dazu zunächst eine grundlegende Betrachtung über das Verhalten von Leistungstransistoren: Bild 3 zeigt ein typisches SOA-Diagramm eines Leistungstransistors. (SOA Safe Operating Area = sicherer Arbeitsbereich.) Wenn die Gehäusetemperatur auf 45°C gehalten werden kann, sind im Gleichstrombetrieb maximal 100W Verlustleistung zulässig. Bei verminderter Spannung darf hingegen der Strom bis auf 15 A ansteigen und bei vermindertem Strom darf die Spannung einen Wert von 60 V erreichen. Bei einer Betriebsspannung von 60 V müßte die Strombegrenzung demnach bei etwa 1,8 A einsetzen - für die saubere Übertragung von Impulsspitzen ein viel zu geringer Wert.

Wie aus dem Diagramm aber auch zu entnehmen ist, darf für die Dauer von 10 ms der Spitzenstrom bei voller Spannung bis 5 A erreichen. Wird die Strombegrenzung auf diesen Wert eingestellt, wäre schon einige Reserve gewonnen. Sollte jedoch der Transistor so weit aufgesteuert werden, daß 40 V an der 4-Ohm-Box anliegen, müßte sogar ein Strom von 10 A fließen können. Die Strombegrenzung würde das natürlich verhindern, obwohl der Transistor diesen Betriebszustand für volle 100 ms aushalten könnte, was sogar für tiefste Bässe bei weitem genügen würde.

Nun gibt es allerdings noch eine andere Möglichkeit der Strombegrenzung, die zwar die Impulse nicht begrenzt, die Endstufentransistoren aber trotzdem wirkungsvoll vor Zerstörung schützt:

Man begrenzt einfach die maximale Stromabgabe des Netzteils. Allerdings mit einem besonderen Trick. Wäre die Stromabgabe des Netzteils ähnlich begrenzt wie die der Endtransistoren, hätte man den Teufel mit dem Beelzebub ausgetrieben - der kratzige Klang bei Aussteuerungsspitzen bliebe erhalten.

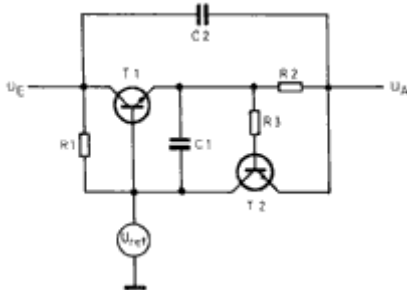
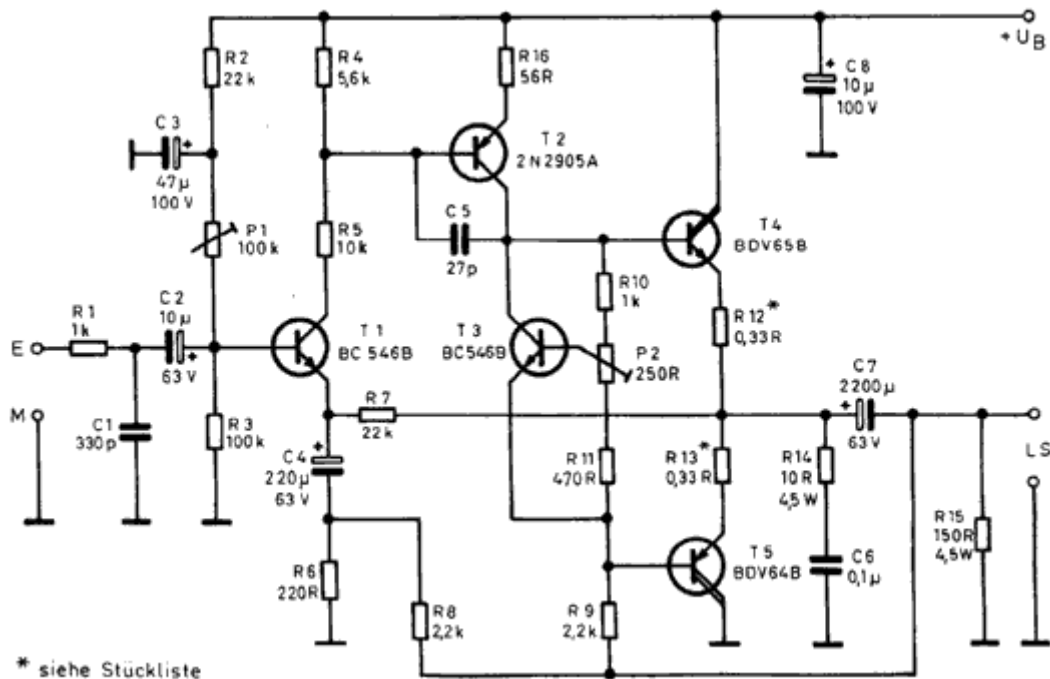


Bild 4 zeigt die Netzteilschaltung. T1 ist der Längstransistor, dessen Basis an der stabilen Spannung UREF liegt. UA ist somit gut gesiebt und stabil. Bei Überlast fällt an R2 so viel Spannung ab, daß T2 über den Strombegrenzungswiderstand R3 aufgesteuert wird und den Basisstrom von T1 begrenzt. Die Anordnung ist auf einen festen Maximalstrom eingestellt und dauerkurzschlußfest.

Damit jedoch die angeschlossene Endstufe bei Aussteuerungsspitzen genügend Strom bekommt, sind die Kondensatoren C1 und C2 vorgesehen. C1 unterdrückt das Ansprechen der Strombegrenzung bei kurzen Signalspitzen, C2 überbrückt mit seiner großen Kapazität die gesamte Anordnung. Damit wird erreicht, daß die Endstufe bei Bedarf kurzzeitig einen hohen Strom aus dem Netzteil beziehen kann, mit dem die Box während der Impulsspitzen versorgt wird. Diese Art der Schutzschaltung hat also den Vorteil einer Dauerstrombegrenzung ohne den Nachteil der gleichzeitigen Spitzenstrombegrenzung.

Nach diesen Vorbetrachtungen kann die eigentliche Endstufe untersucht werden. Bild 5 zeigt das vollständige und optimal dimensionierte Schaltbild eines Verstärkers mit einer

Nennausgangsleistung von 50 W an 4 Ohm bei dem alle eingangs erwähnten Forderungen berücksichtigt wurden.

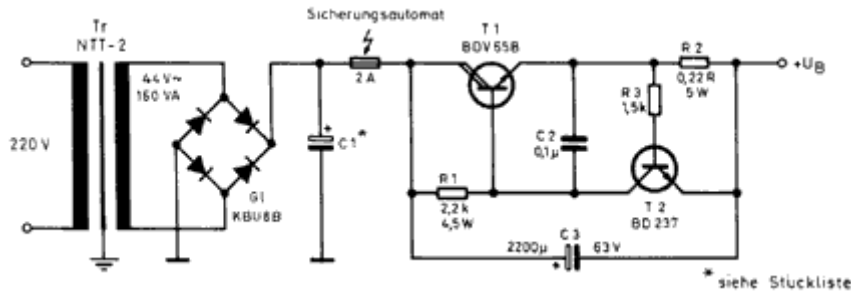


Die Grundverstärkung der Gesamtschaltung muß deshalb relativ niedrig sein und der Grundklirrfaktor ohne Gegenkopplung möglichst klein. Im Eingang wurde deshalb bewußt eine einfache Eingangsstufe anstelle eines Differenzverstärkers eingesetzt. Die Gegenkopplungsspannung wird über R7 auf den Emitter von T1 zurückgeführt, der damit auch für die Stabilität des Arbeitspunktes verantwortlich ist. Für die gleichspannungsmäßige Einstellung des Arbeitspunktes ist P1 verantwortlich. R2 und C3 sorgen dabei für eine ausreichende Entkopplung von der Betriebsspannung, so daß keine Brummanteile von der Versorgungsspannung auf den Eingang gelangen können. Der Abgleich von P1 erfolgt so, daß die Endstufe bei Übersteuerung symmetrisch in die Begrenzung geht.

Wie bei Transistorendstufen üblich, muß der Vortreibertransistor möglichst verzerrungsarm den Hauptanteil der Endstufenverstärkung liefern. Seine Qualitäten gehen also maßgeblich in die Gesamtqualität der Endstufe mitsamt ihrer Gegenkopplungsschleife ein. Hier wurde ein Kleinleistungstransistor mit UKW-Eigenschaften verwendet, der in Klasse-A-Einstellung betrieben wird. Ist T2 nämlich zu langsam, kommt es zu verzögertem Ansprechen der Gegenkopplungsschleife. Die Folge wären eine Reihe von Verzerrungen. Der Kondensator C5, der zwischen Kollektor und Basis liegt, unterdrückt hochfrequente Schwingneigungen.

Von T2 gelangt das spannungsverstärkte Signal auf die beiden Darlington-Endtransistoren T4 und T5. Mit T3 wird der Ruhestrom der Endstufe eingestellt und konstant gehalten. T3 muß thermisch mit dem Kühlkörper der Endtransistoren gekoppelt sein. Die Basis von T5 wird über R9 nicht an Masse, sondern direkt an den Lautsprecherausgang gelegt. Diese sogenannte Bootstrap-Schaltung bewirkt, daß die Basis von T5 bei Vollaussteuerung von einer negativeren Spannung gespeist wird, als sie das Massepotential darstellt. Damit wird der Spannungsabfall an R9 kompensiert, der durch den Basisstrom von T5 entsteht. R15 sorgt für die Entladung von C7 und schließt den Gleichstromweg, falls kein Lautsprecher angeschlossen ist.

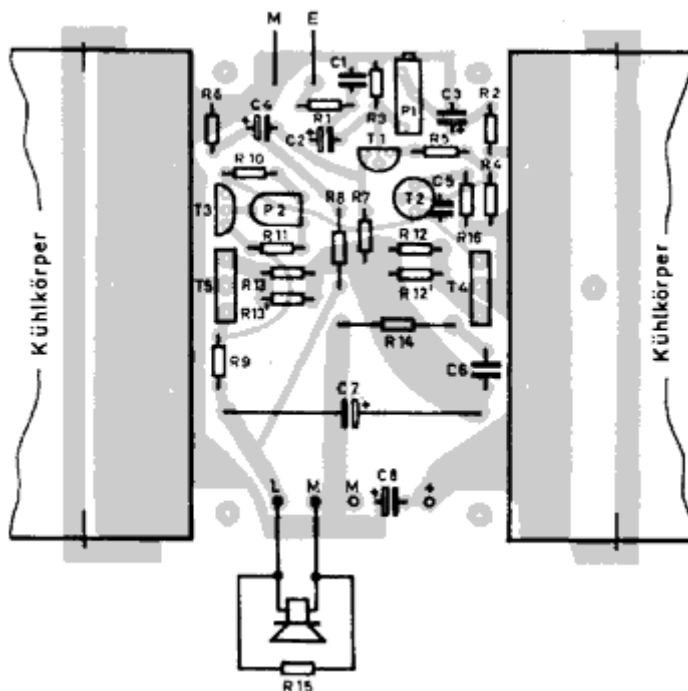
Die Klippe, an der Musikgenuß oft sein Ende findet, heißt Clipping. Hier wird sie soft gemieden.



Die Endstufe wird nur perfekt, wenn das Netzteil paßt. Bild 6 zeigt den Schaltplan des ebenfalls auf Optimum dimensionierten Netzteils. Im Prinzip wurden die einzelnen Bauteile und ihre Wirkung bereits bei der Besprechung von Bild 4 behandelt. Bauteile, die noch besonders zu erwähnen sind, sind der Sicherungsautomat und der Ladeelko C1. Für Monobetrieb genügt für C1 eine Kapazität von 10.000 μF , für Stereobetrieb müssen es 22.000 μF sein. Die Strombegrenzung im Netzteil schützt die Endstufe zuverlässig bei Kurzschlüssen in der Lautsprecherleitung und bei Überlast. Den thermischen Schutz übernimmt der Sicherungsautomat. Diese Automaten sind so träge, daß sie auf kurzzeitige Stromspitzen nicht reagieren, jedoch bei Dauerüberstrom nach einigen Minuten -je nach Stromstärke - abschalten.

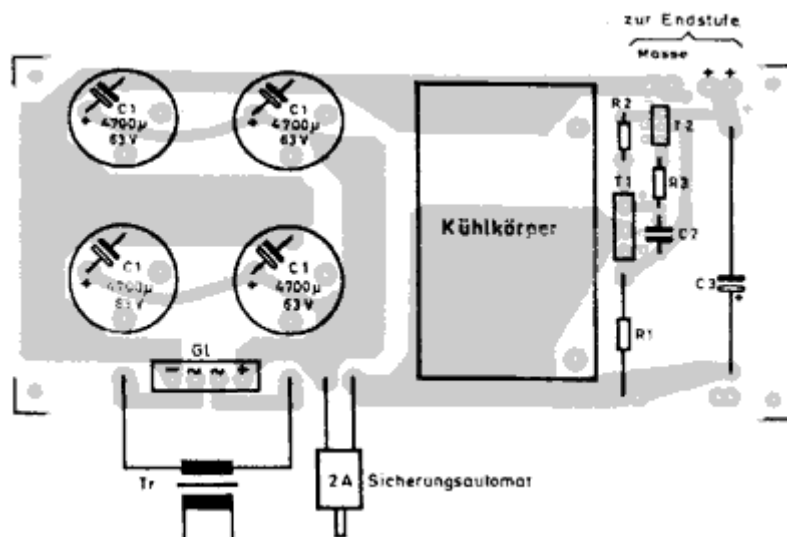
Beim Einbau der Schaltung in ein Gehäuse oder auch in eine Aktivbox ist es empfehlenswert, unter der Platine eine zweite kupferkaschierte Platte zur Abschirmung anzubringen, die mit Masse verbunden wird. Auf diese Weise werden Brummeinstreuungen wirkungsvoll unterdrückt.

Aufbau und Abgleich



Sind alle Teile richtig montiert, kann die Inbetriebnahme erfolgen. Dazu bringt man P1 und P2 zunächst in Mittelstellung, legt ein Amperemeter zwischen Netzteil und Endstufe, schließt weiterhin ein Voltmeter am Netzteil Ausgang an und schaltet den Strom ein. Ohne Signal muß die Betriebsspannung etwa 75 V betragen, und der Ruhestrom sollte zwischen 30 und 100 mA liegen. Mit P1 stellt man die Spannung am Pluspol von C7 auf die Hälfte der gemessenen Betriebsspannung ein. Als nächstes wird der Ruhestrom auf 60 mA gebracht.

Nun entfernt man Volt- und Amperemeter und legt einen Lastwiderstand von 4 Ohm mit einer Mindestbelastbarkeit von 60 W an den Ausgang. An den Eingang wird ein 1-kHz-Sinussignal gelegt, dessen Amplitude so lange erhöht wird, bis die Endstufe in die Begrenzung kommt. Mit P1 wird nun so lange abgeglichen, bis der Sinus gleichmäßig klippt. Anschließend reduziert man das Eingangssignal soweit, bis an 4 Ohm etwa 10 Veff (28,28 Vss) mit dem Oszilloskop messbar sind. Dies entspricht 25 W und somit der halben Ausgangsleistung. Auf diese Weise läßt man die Endstufe wenigstens zehn Minuten einbrennen. Dann entfernt man den Signalgenerator und gleicht nochmals Ruhestrom und Mittelpunktspannung an C7 in der bereits beschriebenen Weise ab. Damit ist die Endstufe betriebsbereit und braucht keinen Vergleich mit allem zu scheuen, was auf dem HiFi-High-End-Markt Rang und Namen hat.



Die Hörergebnisse unter gleichen Testbedingungen - und auf die kommt es ja letztendlich an - können sich "sehen" lassen. Von der Endstufe nach diesem Baumuster wurden bereits größere Stückzahlen gebaut und getestet und sind im täglichen Einsatz im Heim- und Profibereich. Tonmeister, professionelle Musiker der Klassik, Musikdozenten und andere Personen, die berufsmäßig mit Musikdarbietungen zu tun haben, testeten dieses Endstufenkonzept im direkten Vergleich zu namhaften anderen Produkten aus dem Studio- und High-End-Bereich. Mit dem Ergebnis daß die Wahl auf diese Endstufe fiel. Dies verblüfft vor allem dann, wenn man die im High-End-Bereich üblichen Preise kennt.

Damit wäre eigentlich alles zu dieser Bauanleitung gesagt. Doch vielleicht stellt sich ja dennoch die Frage, warum viele Leute, die von Berufs wegen gut hören müssen, diese Endstufe anderen vorzogen. Die zum Musterverstärker angegebenen technischen Daten können nicht der alleinige Grund sein. Man stellt nämlich leicht fest, daß zu tiefen Frequenzen hin ein Abfall der Ausgangsspannung stattfindet und die Klirrfaktorwerte nicht so niedrig liegen, wie oft gewohnt: Für eine Reihe von High-End-Endstufen sind

Klirrfaktorangaben von $< 0,0001\%$ durchaus üblich. Diese Endstufe steht mit den Werten von bestenfalls $< 0,03\%$ demgegenüber vergleichsweise bescheiden da. Der Klirrfaktor liegt immerhin 30mal höher!

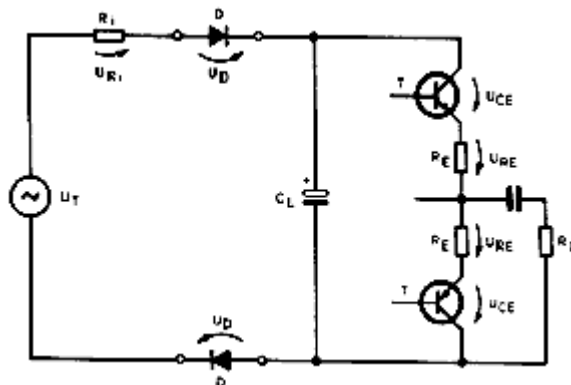
Es ist auf den ersten Blick kaum einleuchtend, daß eine Endstufe mit $0,03\%$ Klirrfaktor besser klingen soll als eine mit nur $0,0001\%$. Das Geheimnis liegt darin, daß die $0,03\%$ Klirrfaktor überwiegend aus k_2 bestehen und lediglich noch geringe Restanteile von k_3 aufweisen - dann kommt nichts mehr! Wird die Endstufe wie oben beschrieben abgeglichen, können diese Eigenschaften leicht erreicht werden. Wer über einen Sinusgenerator der Spitzenklasse verfügt und einen passenden Spektrumanalyzer, kann den Abgleich dieser Endstufe sogar so vornehmen, daß der geringe Gesamtklirrfaktor nur noch aus k_2 besteht, k_3 und höhere Anteile kommen dann nicht mehr vor!

Wenn der Klirrfaktor aber nur aus k_2 besteht - seine Anteile also eine Oktave über dem Grundton liegen - dann fügen sich diese Verzerrungen ohne störende Dissonanzen harmonisch in die Obertonreihen von Instrumenten ein. Höhere Spektralanteile des Klirrfaktors erzeugen, bezogen auf die entsprechenden Grundtöne, kleinere Intervalle (Quinten, Quarten, Terzen, Sekunden), die umso größere Dissonanzen und Klangverfälschungen verursachen, je kleiner das Intervall ist. Endstufen nach üblicher Bauart haben zwar einen statisch niedrigen Klirrfaktor z.B. bei 1 kHz , bei Aussteuerung entstehen jedoch dynamische Klirrfaktoren, die das Klangbild negativ beeinflussen und oft um ein Vielfaches über dem statischen Klirrfaktor liegen. Dieses Endstufenkonzept hat zwar einen statisch höheren Grundklirrfaktor, der sich jedoch bei Aussteuerung nicht mehr verändert.

Doch es gibt noch mehr Qualitätskriterien: Die Impulsverarbeitung wurde schon mehrfach erwähnt. Dieser wurde bei der Konstruktion besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da Musik bekanntlich nicht aus $1\text{-kHz-Sinus-Signalen}$ besteht, sondern aus komplexen Frequenz- und Amplitudengemischen (Musiksignale können auch durchaus stark unsymmetrische Anteile enthalten). Die Netzteilschaltung berücksichtigt dies genauso wie die schnelle Gegenkopplungsschleife und das schnelle Reagieren auf Signalanstiege.

Die guten Grundeigenschaften der Endstufe können nur voll genutzt werden, wenn der Auslegung des Netzteils genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird. Einige Rechengänge und Überlegungen sowie eine Tabelle mit Meßergebnissen an der Musterschaltung belegen die Wichtigkeit einer guten und überlegten Konstruktion.

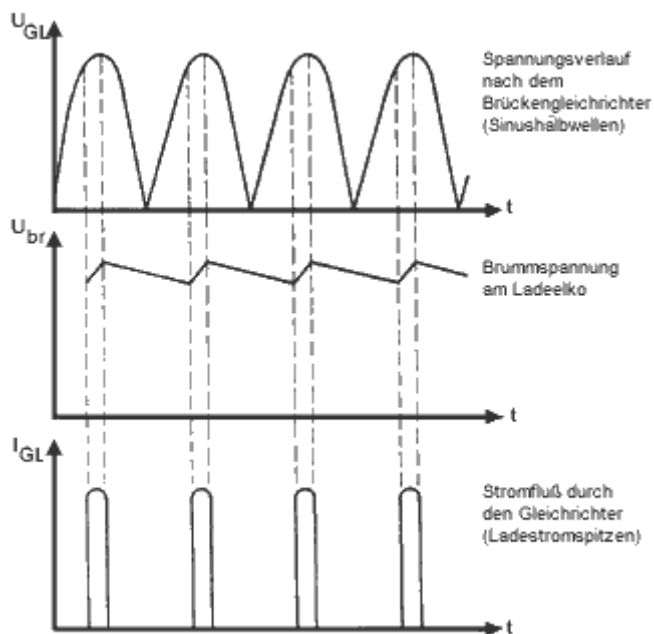
**Technische Daten sind so gut wie die erzeugenden Meßvorschriften.
Was man hört, hat *immer* seine Aussagekraft.**



Zunächst soll untersucht werden, wie - die Wechselwirkungen zwischen Netzteil und Endstufe aussehen. Bild 7 zeigt den Trafo mit seiner Leerlaufspannung U_{Tr} und dem Innenwiderstand R_i , den Gleichrichter, der durch die beiden Dioden D charakterisiert ist, den Ladeelko CL und die Konfiguration der Endstufentransistoren. Damit sind alle wesentlichen Bauteile erfaßt, durch die große Ströme fließen. Der TrafoInnenwiderstand geht einerseits in das Ergebnis der erzielbaren Ausgangsleistung stark mit ein, andererseits bestimmt er maßgeblich, in wieweit der Ladekondensator aus dem Netz genügend nachgeladen werden kann. Nur genügende Nachladung sichert auch ausreichenden Energievorrat für kräftige Musikimpulse. Die Endtransistoren mit ihren Emitterwiderständen werden in der Regel von den Typen und der Dimensionierung her auf beste Signalverarbeitung ausgesucht. Der Lastwiderstand ist üblicherweise 4 Ohm oder 8 Ohm, da die meisten Boxen so angeboten werden. Die Spannungsabfälle an den Dioden des Brückengleichrichters sind durch das Material Silizium auch festgelegt. Der Ladeelko CL muß mit einem niedrigen RESR (= equivalent series resistance) aufwarten und auch zu höheren Frequenzen hin einen niedrigen Scheinwiderstand haben. Elko ist hier nicht gleich Elko, und vor allem ist ein Elko nicht mit einem idealen Kondensator gleichzusetzen. Für den Blindwiderstand eines Kondensators X_C gilt die Formel

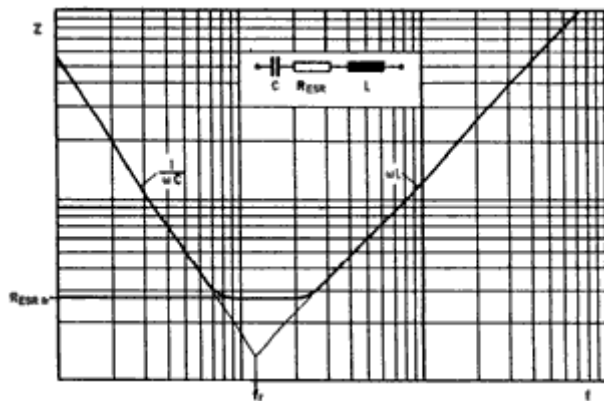
$$X_C = 1/(\omega C)$$

wobei nach dieser Formel der Blindwiderstand zu höheren Frequenzen hin immer kleiner wird.



Auch wenn Elkos mit ihren Eigenschaften weit von einem idealen Kondensator entfernt sind, kann man dennoch nicht auf sie verzichten, da große Kapazitäten nur in dieser Technologie ökonomisch herstellbar sind. Umso-mehr muß deshalb auf das Verhalten über den in Frage kommenden Frequenzbereich geachtet werden. Hier mag der Einwurf folgen, daß ein Elko im Netzteil nur mit 50 Hz bzw. 100 Hz konfrontiert wird. Doch weit gefehlt! Ein Brückengleichrichter liefert zwar 100-Hz-Halbwellen, jedoch stellen diese nur die Grundfrequenz dar. Da es sich um Halbwellen und nicht um einen reinen Sinus handelt, entsteht ein großes Oberwellenspektrum, mit dem der Elko fertig werden muß.

Außerdem wird der Elko nicht jedesmal bis auf 0 V entladen, bevor die nächste Halbwelle kommt. Er wird nur um einen Teilbetrag entladen, und wenn der Gleichrichter öffnet, durch einen Stromstoß nachgeladen. In Bild 8 sind diese Verhältnisse dargestellt. Wenn mit Fourierreihen untersucht wird, welche Frequenzen entstehen, stellt man Oberwellen bis zu hohen Frequenzen fest. Erschwerend kommt noch dazu, daß der Elko nicht mit konstantem Strom entladen wird, sondern im Rhythmus der Musik. Auch hier handelt es sich also wieder um komplexe Entladeströme. Es ist somit einzusehen, warum einige Elkos für High-End-Endstufen geeignet sind, andere dagegen nicht.



In Bild 9 ist der idealisierte Impedanzverlauf eines typischen Elkos und dessen Ersatzschaltung dargestellt. Die einzelnen Teile der Ersatzschaltung sind folgendermaßen definiert:

$$\text{RESR} = (\tan \delta) / (\omega C W)$$

wobei $\tan \delta$ der Verlustfaktor ist und CW die wirksame Kapazität. Bei einem Kondensator müssen im Idealfall Strom und Spannung um 90° phasenverschoben sein. Der Verlustfaktor - er sollte möglichst klein sein - drückt aus, um wieviel der reale Kondensator von diesem Ideal abweicht. Der Scheinwiderstand Z setzt sich aus der geometrischen Summe des kapazitiven Blindwiderstandes und RESR zusammen:

$$Z = [(\text{RESR}^2 + (1/\omega C)^2)]^{1/2}$$

Das gesamte Gebilde stellt in dieser Form einen bedämpften Serienresonanzkreis dar. Unterhalb der Resonanzfrequenz f_r überwiegt der kapazitive Anteil des Elkos, in der Nähe der Resonanzfrequenz ist der Einfluß von RESR maßgebend, und darüber der induktive Anteil. RESR bildet sich aus allen Leitungswiderständen von den Elkoanschlüssen bis zu den Kondensatorbelägen, der induktive Anteil kommt durch die Induktivitäten der Zuleitungen und vor allem durch den Kondensatorwickel zustande, der wie eine Spule wirkt.

Für den praktischen Einsatz ist wichtig, daß RESR des vorgesehenen Elkos sehr niedrig liegt, da er sonst weder schnell geladen werden kann, noch innerhalb kurzer Zeit genügend Ladung abgeben kann. Brauchbare Exemplare für diese Endstufe sollen deshalb Werte deutlich unter 50 mΩ aufweisen. Die Resonanzfrequenz sollte in der Größenordnung von >20 kHz liegen. Daß die Zuleitungen vom Trafo über den Gleichrichter zum Elko und weiter zur Endstufe ordentliche Querschnitte haben sollten, ist selbstverständlich.

Durch einen geringen Innenwiderstand des Netztrafos lassen sich weitere Verbesserungen erreichen. Je niedriger er ist, desto schneller kann er Ladestrom an den Elko liefern, wodurch sich das Impulsverhalten der Endstufe weiter verbessert. Es wurden deshalb mehrere Trafotypen mit gleicher Leistungsangabe aber verschiedenen Kernschnitten auf ihre Innenwiderstände untersucht, wobei der Trafotyp mit dem höchsten Innenwiderstand gleich 100% gesetzt wurde. Damit ergaben sich folgende Ergebnisse:

- M-Kern : 100%
- EI-Kern : 94%
- Ringkern : 66%
- PM-Kern : 38%
- MD-Kern : 28%

Wie man sieht, ergeben sich gravierende Unterschiede. Da die beschriebene Endstufe auf beste dynamische Eigenschaften hin konstruiert wurde, können durch den falschen Netztrafo wieder viele Eigenschaften hinfällig werden, sodaß der ganze Aufwand umsonst war. Die Angaben im Datenblatt zur Endstufe wurden mit einem optimierten MD-Trafo gemessen. Ein Ringkerntrafo ist ebenfalls denkbar, jedoch sollte er für die Strombelastbarkeit um mindestens 50% überdimensioniert werden um die gleichen Eigenschaften zu erreichen!

Zum Schluß noch einige Anmerkungen zu den Dämpfungsfaktoren.

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Bestimmung des Dämpfungsfaktors. Einmal mißt man die Leerlaufspannung des Verstärkers und dann die Spannung mit Lastwiderstand - die übliche Methode. Dabei erhält man sehr große werbewirksame Werte für den Dämpfungsfaktor. Den aussagekräftigeren Wert erhält man, wenn über einen hochohmigen Widerstand eine Spannung in den Endstufenausgang eingespeist wird. In der Praxis wird dies immer der Fall sein, wenn der angeschlossene Lautsprecher nachschwingt und somit als Generator wirkt. Gerade hier sollte die Endstufe den Lautsprecher möglichst stark bedämpfen. Die auf diese Weise gemessenen Dämpfungsfaktoren sind um einiges kleiner als bei der ersten Methode. In den Daten der Endstufe sind der Vollständigkeit halber und wegen der besseren Vergleichbarkeit beide Angaben für verschiedene NF-Spannungen gemacht. Die Grundlagen zum oben gesagten gibt es hier!