

Röhrenbrevier

**kleine Fibel zum
Dot it yourself mit Röhrenben**



Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Informationen.....	3
Vorwort und Vorbetrachtungen.....	4
Warnhinweise für den Umgang mit elektrischer Energie.....	5
.....	5
Grundlagen und allgemeine Betrachtungen.....	6
1. Netzversorgung.....	6
2. Netzfilter.....	6
3. Gleichrichtung.....	7
3.1 Einweggleichrichtung.....	7
3.3 Vollweggleichrichtung	8
4. Glättung / Siebglied (Siebkette).....	9
5. Entkoppelung.....	10
6. Masseführung.....	10
7. Stabilisierte Spannungsregelungen.....	11
.....	11
Netzteil.....	12
1. Röhrenheizung.....	12
.....	12
Warnhinweise für Selbstbauer.....	13
.....	13
Selbstbau Projekte:.....	14
GU50 Single-End-Verstärker.....	14
Aikido Vorverstärker.....	16
.....	17
Russische Röhren.....	18
1. Allgemeines.....	18
2. Entschlüsselung der Beschriftung.....	19
3. Vergleichsliste.....	19
4 Exemplarische Beschreibung.....	20
4.1 Doppeltriode 6H2II (6N2P = ECC83).....	20
4.2 Die Pentode GU50.....	20
4.3 Die Triode 6C41C.....	20
4.4 Die Triode 6C33C.....	21
4.5 Die Doppeltriode 6H9C.....	21
4.6 Die Doppeltriode 6H8C.....	21
.....	21
Begriffe und Abkürzungen:.....	22
Literatur.....	23
Tabellen.....	24

Allgemeine Informationen

Eine Freigabe des vorliegenden Dokumentes erfolgt nur für private Nutzung.

Irrtümer sind vorbehalten.

Es wird keine Verantwortung durch den Autor für Schäden, Folgeschäden und Verletzungen übernommen, die durch die Nutzung des vorliegenden Dokumentes, den Bau und Betrieb der beschriebenen Schaltungen u.U entstehen können.

Verantwortlich für einen ordnungsgemäßen Betrieb von selbst gebauten Schaltungen ist ausschließlich der jeweilige Erbauer.

Besonders werden auf die anzuwendenden **VDE Vorschriften 0100 und 0800** und die **Warnhinweise** für den Umgang mit elektrischer Energie auf **Seite 5** hingewiesen.

Vorwort und Vorbetrachtungen

Schaltungen mit Röhren benötigen eine möglichst reine Gleichspannung.

Zur Energieversorgung dient uns heute das Versorgungsnetz mit 230V und 50Hz.

Diese Spannung hat (theoretisch zumindest) einen sinusförmigen Verlauf.

Leider hat die „Verseuchung“ dieser Spannung sich im zunehmenden Maße durch moderne elektronische Geräte und Funknetze gesteigert.

Es ist keine Seltenheit, das bei der 230Volt Versorgung schon ein Klirrfaktor von 10% erreicht wird.

Eine Bereinigung der 230Volt Versorgungsspannung z.B. mit Sinusfiltern kann unter Umständen

sehr aufwendig sein. Anmerkung: dies kann nicht mit den üblichen Netzfilter z.B. in

Kaltgerätebuchsen erreicht werden, da diese erst ab Bereiche von einigen 100KHz wirksam werden.

Weiterhin ist die Spannung die wir vom Energieversorgungsunternehmen erhalten nicht so stabil wie wir immer annehmen. Bei der Auslegung von Bauteilen (insbesondere spannungsfestigkeit von Kondensatoren) sollten sie eine Toleranz von 10% berücksichtigen.

Eine weitere ungünstige Beeinflussung ergibt sich durch einen gewissen Gleichstromanteil in

unserer 230V Hausversorgung. Dieser Gleichstromanteil führt dazu das Bauteile wie z.B.

Transformatoren zu Elektromagneten werden und in ihrer ursprünglichen Wirkungsweise gemindert werden.

Wir sehen an diesen Beispielen wie wichtig die Behandlung des Themas Energieversorgung von HiFi-Produkten ist.

Die sinusförmige Wechselspannung muss nun zunächst auf die entsprechende Größe herauf oder herunter gewandelt werden. Dies geschieht üblicherweise mit Transformatoren.

Ein Transformator ist ein auf 50/60 Hz optimierter Übertrager.

Die Wechselspannung muss nun zunächst durch Gleichrichtung in Gleichspannung umgewandelt werden.

Nach der Gleichrichtung verbleibt aber immer noch eine hohe Restwelligkeit und damit ist die gleichgerichtet Spannung für Röhrenschaltungen immer noch unbrauchbar.

Die Gleichgerichtete Spannung muss nun also noch geglättet (gesiebt) werden.

Ist diese Glättung oder Siebung nicht von ausreichender Qualität hört man später im Betrieb des Verstärkers ein mehr oder weniger starkes Brummen (50 oder 100Hz je nach Gleichrichtungsart) im Lautsprecher.

Dies ist natürlich nicht gewünscht und muss durch entsprechende Maßnahmen (die wirtschaftlich vertretbar bleiben müssen) vermieden werden.

Die Auslegung des Netzteiles ist somit genauso aufwendig zu planen wie der Verstärker selbst.

Warnhinweise für den Umgang mit elektrischer Energie

An dieser Stelle sei auf einen äußerst sorgfältigen Umgang mit der 230V Netzversorgung hingewiesen.

Unsachgemäßer Umgang mit hohen Spannungen bzw. ein unsachgemäßer Aufbau bringt nicht nur sie sondern auch andere in Lebensgefahr.

Es gibt nicht so viele Röhrenfreunde und es kann auf keinen verzichtet werden also beachten sie gerade beim Umgang mit 230 Volt die gültigen VDE Vorschriften.

Gemäß den Vorschriften sind u.a. spannungsführende Leitungen und Verbindungen gegen unbeabsichtigtes Berühren zu sichern und zu kennzeichnen.

Das Arbeiten mit Spannungen über 50 Volt AC ist Lebensgefährlich ! **Siehe Hinweis SELV !**

Arbeiten Sie deshalb grundsätzlich im spannungsfreien Zustand der Schaltung und kontrollieren Sie die Spannungsfreiheit mit einem Voltmeter.

Schützen Sie sich und andere vor Berühren von spannungsführenden Teilen.

Es sollten nur Personen mit entsprechender Ausbildung und Sachkenntnis an diesen Geräten arbeiten.

Es sind die Richtlinien der Unfallverhütungsvorschriften (UVV) unbedingt zu beachten.

Arbeitsplätze sollten entsprechend ausgerüstet sein.

Können sie o.g. Anforderungen nicht erfüllen, wenden sie sich an eine Person die, die entsprechenden Arbeiten ausführen kann.

Beachten sie auch, das Kondensatoren auch nach dem Ausschalten noch **lebensgefährlichen Ladungen** gespeichert haben können.

Wir lehnen hiermit ausdrücklich jede Haftung für Schäden und Folgeschäden ab die im Umgang mit elektrischer Energie oder Ladung entstehen können.

Hinweis SELV (früher Schutzkleinspannung): SELV (Safety Extra Low Voltage)

Die europäische [Niederspannungsrichtlinie](#) gilt für den oberen Bereich der Kleinspannung (AC über 50 [Volt Effektivwert](#) und DC über 75 [Volt](#)).

Es wird keine Verantwortung durch den Autor für Schäden, Folgeschäden und Verletzungen übernommen, die durch die Nutzung des vorliegenden Dokumentes, den Bau und Betrieb der beschriebenen Schaltungen u.U entstehen können.

Verantwortlich für einen ordnungsgemäßen Betrieb von selbst gebauten Schaltungen ist ausschließlich der jeweilige Erbauer oder Betreiber.

Grundlagen und allgemeine Betrachtungen

1. Netzversorgung

Die Qualität eines Röhrenverstärkers hängt wesentlich von der Qualität des Netzteiles ab. Sparen sie nicht an hochwertigen und ausreichend dimensionierten Bauteilen.

Wesentlich sind auch die Sicherheitsaspekte:

1. Führen sie den Ein- Ausschalter unbedingt 2 polig aus
2. Verwenden sie Netzsicherungen auf der Primärseite.
3. Verwenden sie Sicherungen in den Sekundärkreisen

Ein kombinierte Kaltgerätebuchse mit integriertem Schalter und Sicherung schafft die notwendige Sicherheit auf der Netzseite. Zusätzlich gewährt die Kaltgerätebuchse im Reparaturfall das Abziehen des Netzkabels womit Spannungsfreiheit gewährleistet ist.

Auf gute Befestigung und Zugentlastung der Leitungen ist zu achten.

Ein Drahtbruch kann zu erheblichen weiteren Defekten und Sicherheitsproblemen führen.

2. Netzfilter

Bei den klassischen käuflichen Netzfiltern bei denen jeweils in der Zuleitung eine Spule liegt ist für Audiozwecke nicht unbedingt geeignet, da es zu hörbaren Einschränkungen kommen kann wenn ein dynamischer Leistungsbedarf gefordert ist.

In beschriebener Schaltung ist das Filter als Serienschwingkreis ($C=2,2\mu\text{F}$ und $L=3\text{mH}$) parallel zur Netzversorgung geschaltet. Der Netzversorgung beaufschlagte hochfrequente Verunreinigungen sollen also kurzgeschlossen werden.

Für noch höhere Frequenzen dient ein parallel zur Netzversorgung liegender Kondensator ($10\ \mu\text{F}$). Die beschriebene Schaltung soll natürlich auch das Kosten / Nutzen –Verhältnis berücksichtigen. Der Verbesserung ist je nach Gehäuseabmessung und Geldbeutel keine Grenze gesetzt.

Die erwähnten Gleichtakt-Verunreinigungen auf dem Schutzleiter werden durch die gleichmäßige Aufteilung in zwei Spulen (Trenntrafo mit Mittelabgriff auf der Sekundärseite) durch die Gegenphasigkeit der erzeugten Magnetfelder aufgehoben und können somit auch nicht mehr zu unserem Audiogerät gelangen.

Die Dämpfung setzt schon ab ca. 100Hz ein und erreicht folgende Werte:

300 Hz ca. -5dB 700 Hz ca. -10dB 3 kHz ca. -20dB 20 kHz ca. -50dB

Eine Dämpfung von -60dB reduziert die Netzverunreinigung um den Faktor 1000, und das ist schon ein beachtlicher Wert.

Es wird also sehr effektiv verhindert, das Netzverunreinigungen über die Netzteile der jeweiligen Audiogeräte das Nutzsignal beeinflussen können.

Die Verwendung des Filters erzeugt einen deutlich neutraleren Klang, vor allem die höheren Frequenzen erfahren eine Verbesserung.

Einer hörbaren Bedeutung kommt auch dem Phasenanschluss zu. Markieren sie den Netzstecker und Ihre Netzsteckdose damit sie Ihre Geräte „phasenrichtig“ anschließen können.

3. Gleichrichtung

3.1 Einweggleichrichtung

Die Einweggleichrichtung ist die einfachste Art der Gleichrichtung.

Hierbei wird mit einer Diode die positive oder negative Halbwelle der Sinusschwingung abgeschnitten und man erhält somit einen stark pulsierenden Gleichstrom.

Mit Hilfe eines „Ladeelko’s“ kann diese pulsierende Spannung in den Pausen gespeichert werden und den Verbraucher speisen.

Die verbleibende Restwelligkeit hat einen sägezahnförmigen Verlauf mit einer Frequenz von 50Hz.

Da diese Welligkeit im Lautsprecher als Brummen zu hören ist nennt man sie auch

„Brummspannung“.

Diese Art der Gleichrichtung wendet man nur sehr selten an, zumindest nur da wo keine großen Ströme benötigt werden wie z.B. bei der negativen Steuergitterspannung.

3.2 Zweiweggleichrichtung

Um die Gleichrichtung zu verbessern, möchte man die Energie von beiden Halbwellen nutzen.

Dazu legt man die Sekundärwicklungen des Trafo’s als zwei in Serie (Reihe) geschaltete Wicklungen aus.

Deren Mittelanschluss wird auf Masse gelegt und die beiden anderen Wicklungsanschlüsse über eine Einweggleichrichtung geführt.

Somit werden jetzt beide Halbwellen genutzt.

In Verbindung mit einem Ladekondensator ergibt sich wieder ein sägezahnförmiger Spannungsverlauf aber diesmal mit 100Hz.

Der Ladestromverlauf am Kondensator ist mehr oder weniger impulsartig, da nur wenn der Kondensator aufgeladen wird Strom fließt. Ist der Ladeelko groß gewählt, muss in kurzer Zeit der Energienachschub aus dem Trafo und der Gleichrichtung erfolgen. Dies führt zu einer starken Strom-Belastung (oder Überlastung) der Gleichrichterioden und des Trafo’s.

Häufig werden vor die Dioden strombegrenzende Widerstände geschaltet (ca. 10 Ohm)

Die starke Belastung durch einen überdimensionierten Ladekondensator kann unter Umständen sogar zu einem verstärkten Brummen des Eisenkernes des Trafo’s führen (und natürlich auch zu einer übermäßigen Erwärmung).

Es ist daher günstiger den Ladekondensator nicht zu groß (50-100uF) zu wählen und durch nachgeschaltete Siebglieder die Höhe der Welligkeit auf das gewünschte Maß herabzusetzen.

3.3 Vollweggleichrichtung

(Brückengleichrichter oder Graetz-Gleichrichter)

Der Brückengleichrichter besteht aus 4 Dioden und durch entsprechende Anordnung werden bei Verwendung von nur einer Wicklung beide Halbwellen gleichgerichtet.

Der Vorteil bei dieser Schaltung ist, dass man nur eine Sekundärwicklung benötigt.

Der Nachteil ist, dass 4 Dioden verwendet werden müssen, die bei der Umschaltung von Leitern auf Sperren (Kummutierung) Störungen hervorrufen.

Für hochwertige Lösungen verwendet man die vom Trafo zwar aufwendigere Lösung mit zwei Sekundärwicklungen aber durch die Verwendung von nur 2 Dioden störungsärmere Variante.

Es bringt eine starke Verbesserung wenn anstelle der weitverbreiteten Verwendung der Diode 1N4007 (1000V / 1A) die schnellere Version UF 4007 verwendet wird. Der Preisunterschied ist nur marginal.

Auch bei der Brückengleichrichtung gilt der Grundsatz den Ladekondensator nicht zu groß zu wählen (üblich ist 47-100 uF). Die Spannungsfestigkeit des Elko's muss mindestens $U_{eff} * 1,41$ betragen, plus einen Sicherheitszuschlag. (Achtung! Die Netzspannung von 230V kann auch nach oben schwanken)

Gegebenenfalls sind zur Erreichung der notwendigen Spannungsfestigkeit Kondensatoren in Serie (Reihe) zu schalten. Es müssen unbedingt Entladewiderstände parallel zu den Kondensatoren geschaltet werden.

Beachten Sie, dass Kondensatoren auch nach dem Abschalten der Spannung noch lebensgefährlich Energie über mehrere Tage gespeichert haben können! Sehen Sie immer einen Entladewiderstand (100-470Kohm) parallel zum Kondensator vor um sich und andere zu schützen.

Mit einer Näherungsformel (Faustformel) lässt sich die Höhe der Brummspannung in etwa bestimmen:

(der Strom I wird in mA und die Kapazität C in uF angegeben)

$$\gg U_{br} \sim 1,7 * I / C$$

Beispiel:

I=150mA / C=100uF / Zweiweggleichrichtung

$$\gg U_{br} = 1,7 * 150 / 100uF = 2,6$$

$$\gg U_{br} = 2,6V$$

Wird ein Siebglied, wie weiter unten beschrieben nachgeschaltet (Siebfaktor=175) so beträgt die Restwelligkeit noch 0,015Volt oder 15mV. Was dann schon besser aber immer noch relativ hoch ist. Man wird die Brummspannung mit einem weiteren Siebglied reduzieren müssen.

4. Glättung / Siebglied (Siebkette)

Es wird bei Geräten allg. erwartet, dass die Restwelligkeit (Brummspannung) der Versorgungsspannung nicht größer ist als die Rauschspannung an den einzelnen Bauteilen z.B. den Röhren.

Bei einer Endröhre mit einer Signalspannung von 100V an der Anode dürfte die Brummspannung bei einem Fremdspannungsabstand von 60dB (1/1000) nicht größer als 100mV sein (bei 80dB wären es nur 10mV).

Um dies zu erreichen schaltet man Siebspannungsteiler parallel zum Ausgang des Ladekondensators.

Diese Spannungsteiler bestehen aus der Serien(Reihen)schaltung von ohmschen Widerständen mit einem Kondensator oder von einer Induktivität (Drossel) mit einem Kondensator.

Um die Reduzierung des Wechelspannungsanteils (Brummspannung) möglichst groß zu machen aber den Spannungsabfall der Gleichspannung klein zu halten wird man für höheren Strombedarf eine Induktivität (Drossel-Spule mit Eisenkern und einem Luftspalt) wählen.

Für Schaltungen mit geringem Strombedarf (z.B. negative Gittervorspannung) wählt man die weniger aufwendigen Siebglieder mit Widerständen.

Die Verkleinerung der Restwelligkeit (Brummspannung) mit Siebgliedern gibt man mit einem Faktor an, den s.g. Siebfaktor. Er beschreibt das Verhältnis von Eingangs- zur Ausgangsspannung:

$$\gg S = U_1 / U_2$$

a) Bei einem Siebglied aus einer Drossel und einem Kondensator (LC-Glied) ergibt sich folgende Formel:

(Induktivität L in Henry und Kapazität C in Farrad)

$$\gg S = (2 * \pi * f)^2 * L * C$$

b) Bei einem Siebglied aus einem ohmschen Widerstand und einem Kondensator (RC-Glied) ergibt sich folgende Formel:

(Widerstand R in Ohm und Kapazität C in Farrad)

$$\gg S = (2 * \pi * f) * R * C$$

So ergibt z.B. ein Siebglied mit einer Drossel von 2 Henry und einem Kondensator von 220uF folgenden Siebfaktor:

$$\gg S = 628 \text{ hoch } 2 * 4 * 0,00022 = 400.000 * 2 * 0,00022 = 40 * 4 * 2,2 \sim 175$$

$$\gg S = 175 = 44\text{dB}$$

Siebglieder aus R/C Kombinationen setzt man üblicher Weise nur dort ein wo die Stromentnahme gering ist und der Spannungsabfall an dem Serienwiderstand deshalb auch gering ausfällt, eine übliche Anwendung ist die Siebung für Vor- oder Treiberstufen.

5. Entkoppelung

Alle Gerätstufen sind über das Netzteil bzw. dessen Innenwiderstand miteinander verbunden. Starke Anodenstromschwankungen in der Endstufe erzeugen am Innenwiderstand des Netzteiles Spannungsschwankungen und würde ohne weitere schaltungstechnische Maßnahmen die Eingangs-, Vor- und Treiberstufe negativ beeinflussen. Es würde ein niederfrequentes „Blubbern“ in der Schaltung entstehen.

Eine Entkopplung der einzelnen Stufen und eine gleichzeitige weitere Glättung erreicht man durch weitere nachgeschaltete Siebglieder.

Für jede Stufe des Geräte wird in der Regel ein RC-Siebglied vorgesehen. Da der Strom für eine Eingangsstufe nur wenige Milliampere beträgt lässt sich mit vertretbarem Aufwand ein hoher Siebfaktor mit einem RC-Glied erreichen.

Wird für eine Stereo-Endstufe ein gemeinsames Netzteil verwendet so kann eine Entkopplung über zwei Siebdrosseln erfolgen.

Es wird sowohl die Brummspannung aus der Gleichrichtung als auch die Spannungsschwankungen am Innenwiderstand stark reduziert und somit eine Beeinflussung der Stufen untereinander sehr stark reduziert.

Siebdrosseln haben leider aber auch grundsätzliche Nachteile, sie sind schwer, teuer und erzeugen u.U. Brummgeräusche.

6. Masseführung

Weiterhin **sehr wichtig** ist auch eine getrennte, sternförmige Massenführung der einzelnen Baugruppen zu einem zentralen Massepunkt. Der zentrale Massepunkt sollte in der Nähe der Eingangsbuchsen liegen und alle Masseleitungen sollten dort sternförmig zusammengeführt werden.

Dadurch wird auch vermieden das der hohe Rückstrom (meist $> 50\text{mA}$) in der Masseleiterbahn aus der Endstufe über die Masseleitung der Vorstufen fließt. Eine saubere Masseführung ist das A und O eines guten Verstärkers.

7. Stabilisierte Spannungsregelungen

Wird eine konstante Spannung für Schaltungen benötigt, so verwendet man für geringe Ströme Z-Dioden (Zener-Diode). Mit Hilfe eines Spannungsteilers aus der Kombination eines Widerstandes mit einer Z-Diode kann an der Z-Diode die entsprechende Spannung abgegriffen werden.

Hierbei sind die vorkommenden Spannungsschwankungen, die Verlustleistung der Z-Diode und die des Widerstandes besonders zu beachten.

Schaltet man parallel zur Z-Diode einen Kondensator so können kleine Spannungsschwankungen gut abgefangen werden.

Selbstbauern mit höchsten Ansprüchen verwenden nur ungern Z-Dioden da dieses Rauschen verursachen. Diese hochfrequente Störungen können durch parallel schalten eines Folienkondensator (22nF) gemildert werden.

Eine Verbesserung der Spannungskonstanz erzielt man mit der Verwendung von temperaturkompensierten Zener-Dioden

Wird ein höherer Strom benötigt so kann o.g. Schaltung durch einen bipolaren Transistor oder Feldeffekttransistor erweitert werden.

Dabei dient die Spannung der Z-Diode als Referenzspannung für den Transistor.

Es sollten hochwertige, temperaturkompensierte Z-Dioden verwendet werden.

Weiterhin finden in bestimmten Bereichen auch integrierte Spannungsregler ihre Anwendung

Mit solchen integrierten Bausteinen läßt sich auch der s.g. Softstart, ein langsames schonendes hochfahren der Heizspannung einfach realisieren.

Netzteil

1. Röhrenheizung

Für ihre Funktion benötigt die Röhre freie Elektronen die aus der Kathode austreten können. Diese freien Elektronen werden durch Energiezufuhr in Form von Wärme in die Kathode erzeugt. Man unterscheidet direkt geheizte oder indirekt beheizte Kathoden. Bei den indirekt geheizten Kathoden befindet sich ein Heizfaden(ähnlich einer Glühlampe), der die Kathode soweit erwärmt das Elektronen austreten können. Traditionell bedingt beträgt die Heizspannung bei vielen Röhren 6,3 bzw. 12,6Volt. Bei Röhren der P-Reihe wird ein konstanter Strom von 300mA benötigt. Sowohl ein überschreiten als auch unterschreiten dieser Spannung führt zu einer schnelleren Alterung der Röhre. Da die Heizung sehr Wärmeträge ist erzeugt die 50Hz Wechelspannung keine Emissionsschwankung an der Kathode. Lediglich die Kapazität zwischen Heizung und Kathode der Röhre kann hier zu einer Brummeinstreuung beitragen. Diese Beeinflussung ist natürlich um so größer je kleiner die Signalspannungen ist. So verwendet man gerne bei den Eingangs- und Treiberröhren eine Gleichstromheizung. Zur Erzeugung von Gleichspannung für die Röhrenheizung (6,3 oder 12,6Volt) sind auch integrierte Spannungsregler sehr beliebt. Mit solchen integrierten Bausteinen läßt sich auch der s.g. Softstart, ein langsames schonendes hochfahren der Heizspannung einfach realisieren. Ein kalter Heizfaden hat einen bis zu 10fachen niedrigeren Widerstand als ein erwärmter. Dadurch fließt beim Einschalten ein sehr großer Strom der sowohl die Röhre selber schneller altern läßt als auch die Gleichrichterioden ungebührlich hoch belastet.

Enstufenröhren werden meistens direkt mit der Wechelspannung aus der Trafo-Wicklung versorgt. Wichtig ist dabei die „Entbrummung“ durch den Abgleich mit Widerständen oder einem Potentiometer gegen Masse.

Besonders zu beachten ist auch die max. zulässige Spannung zwischen Heizfaden und Kathode. Hierzu ist unbedingt das Datenblatt der verwendeten Röhre zu beachten. Bei den Europäischen Röhren ECC8x beträgt die Spannung meistens ca 200Volt und bei vergleichbaren Russichen Röhren (6n1P) nur ca. 100Volt.

Arbeitet man mit höheren Spannungen hilft dann nur ein „hochlegen“ der Heizspannung auf ein entsprechendes Potenzial mit Hilfe eines Spannungsteilers.

Bei Verwendung einer Gleichstrom-Heizung können am Röhrensockel, um eine restliche Brummspannung zu reduzieren Kondensatoren (Elko 10-47uF) parallel geschaltet werden. Achten Sie unbedingt auf richtige Polung und die Spannungsfestigkeit des jeweiligen Elektrolyt Kondensators..

Warnhinweise für Selbstbauer

Und nochmals:

**Das Arbeiten mit elektrischer Energie bedeutet grundsätzlich
und immer Lebensgefahr!**

**Denken Sie bei aller Bastelfreude immer an Ihr Leben und die
Sicherheitsregeln.**

**Nur durch sorgfältiges, konzentriertes Arbeiten und Beachtung
der Sicherheitsvorschriften schützen sie ihr und das Leben
anderer.**

Selbstbau Projekte:

GU50 Single-End-Verstärker

Für Freunde des russischen Röhren-Klassikers GU 50 stellen wir hier einen SE Verstärker vor. Diese Pentode, die ursprünglich nicht für NF Verstärker konstruiert wurde, sondern in osteuropäischen Sendeanlagen eingesetzt wurde, übt einen gewissen visuellen Reiz aus. Neben den visuellen Attributen ist diese HF Röhre auch sehr gut für NF Verstärker geeignet. Zudem ist sie einfach und preiswert zu beschaffen Ziel war es also mit dieser optisch exotischen Röhre einen interessanten SE-Verstärker (SE = singel end / Class A) zu entwickeln. In einer erweiterten Version, als Parallel- Singel-End (PSE) wird der Verstärker mit zwei parallel geschalteten GU50 betrieben um die Leistung eines Kanals auf ca. 18 W zu erhöhen. Damit können dann auch Lautsprecher mit schlechtem Wirkungsgrad mit der notwendigen Energie versorgt werden.

Die Qualität und Auslegung des Netzteiles trägt im erheblichen Umfang zur Qualität des gesamten Monoblockes bei. Einen wesentlichen Anteil haben dabei die verwendeten Gleichrichter-Dioden, angepaßter Ladekondensator, eine entsprechend ausgelegte hochwertige Siebdrossel und großzügig dimensionierte Siebkondensatoren. Um den Siebfaktor zu erhöhen und wenn Platz, Gewicht und finanzielle Mittel keine Rolle spielen ist sogar eine LC-LC Siebung zu empfehlen. Der Siebfaktor für die Endstufe beträgt in der vorliegenden Schaltung $S=160$. Für die Vor- und Treiberstufen-Röhren ist eine Gleichstromheizung mit Softstart vorgesehen. Die Gleichstrom-Heizspannung wird mittels Regler auf 6,3Volt eingestellt. Zur weiteren Glättung der Heizspannung können direkt an den Röhrensockel zusätzliche Kondensatoren (C_x und C_x ca 10-47uF) eingelötet werden

Die Heizung der Endröhre erfolgt mit 12,6 Volt Wechselfspannung, die mit zwei 150 Ohm Widerständen gegen Masse symmetriert ist. Die Leitung ist zu Abschirmzwecken stark zu verdrillen und soweit möglich nahe am Gehäuse zu verlegen. Das Steuergitter (g_1) der Einstufenröhre wird mit einer negativen Gittervorspannung betrieben, welche im Netzteil erzeugt wird. Mittels Potentiometer wird der entsprechende Kathodenstrom (120mA) eingestellt und über den Spannungsabfall an dem 10 Ohm Kathodenwiderstand mit einem Millivoltmeter gemessen. Der Ruhestrom soll nach ausreichender Aufheizung (min. 10-15 Minuten) 120mA betragen. Nach dem Ohmschen Gesetz ($U=R \cdot I$) ist an einem 10 Ohm Widerstand bei 120 mA eine Spannung von 1,2 Volt zu messen. Die Schirmgitterspannung(g_2) darf bei der Endstufenröhre GU50 laut Datenblatt maximal 250V betragen. Diese Spannung wird über ein Siebglied (Vorwiderstand R_x und Kondensator C_x) mit Zenerdiode (ZD1) erzeugt. Der Schirmgitterstrom (I_{g2}) beträgt dabei ca 5 mA. Zur Vollaussteuerung der GU50 sind laut Datenblatt ca. 25Vss NF-Spannung erforderlich. Diese Spannung ist leicht mit dem Verstärkungsfaktor einer ECC83(6N2P) oder 6SL7 in der Vorstufe erreichbar.

Als Eingangs- und Treiberstufe wurde das „Aikido“ Schaltungskonzept von John Broskie verwendet. Diese Schaltung besteht aus einem Anodenfolger mit Konstantstromquelle im Anodenkreis und einem gleichstromgekoppelten Kathodenfolger mit einer Konstantstromquelle im Kathodenkreis. Die Kathodenwiderstände werden nicht durch klangverfälschende Elkos überbrückt was die Linearität der Röhre stark verbessert (SLCF Super linear Kathodenfolger). Diese Schaltung zeichnet sich unter anderem durch niedrige Klirrwerte, keine globale Rückkopplung, hohe Eingangsempfindlichkeit, hohe Aussteuerbarkeit und eine extrem niedrige Ausgangsimpedanz (600 Ohm) aus. Weitere besonderer Pluspunkte gegenüber anderen Schaltung sind: Im Signalkreis liegt nur ein Koppelkondensator (hochwertige Ausführung verwenden) Eine sehr hohe (ca. -30dB) Brummspannungsunterdrückung (PSR) der Netzteilspannung. Keine Geräusentwicklung aus der Stufe während dem Einschaltvorgang.

Die Eingangs- und Treiberstufe gibt es sowohl in der Ausführung mit den Noval Röhren ECC83(6n2P)/ ECC99 als auch mit den Octal Röhren 6SL7GT / 6SN7GT

Der Verstärkungsfaktor der Vorstufe liegt bei ca. $\mu/2$ der eingesetzten Vorstufen Röhre (bei der hier verwendeten ECC83 etwa $50 = 34\text{dB}$). Die Verstärkung der Treiberstufe als Kathodenfolgers ist $< 1 / 0,93 = -0,67\text{dB}$. Der Kathodenfolger erzeugt in dieser Schaltung eine extrem niedrige Ausgangsimpedanz (ca. $600\ \Omega$). Verwendet wird eine ECC99 die einen Innenwiderstand von $2,3\text{k}\Omega$ und eine Anodenverlustleistung von max. 5W besitzt. Die ECC 99 ist eine qualitativ hochwertige Röhre die zu dem preiswert und gut zu beschaffen ist. Die gesamte Stromaufnahme der Eingangs-und Treiberstufe beträgt ca 15mA .

Extrem wichtig für geringe Brummspannung des Verstärkers ist eine saubere Masseführung. Das Gehäuse wird nur an einem Punkt (unmittelbare Nähe der Eingangsbuchsen) mit Masse verbunden. Alle notwendigen Masseleitungen führen von dort aus sternförmig zu den einzelnen Platinen und Anschlüssen. Besonders wichtig ist, das der hohe Rückstrom (120mA) der Endstufe nicht durch die Masseleitung der Vor- oder Treiberstufe fließt.

Weiterhin zu beachten ist der zulässige Spannungsunterschied zwischen Kathode und Heizfaden (meistens ein Wert zwischen $100\text{-}200\text{Volt}$ Um Herstellervorgaben einzuhalten wurde in der Vor- und Treiberstufe der Bezugspunkt (Pluspotential) der Heizspannung über einen Spannungsteiler ($R_x\text{-}R_x\ 330\text{k}$ zu 100k) auf ca. $70\ \text{Volt}$ hochgelegt. Der Kondensator C_x dient zur Stabilisierung.

Der Netztrafo ist von hoher Qualität und großzügig dimensioniert

Kern: M1002B

Prim.: 230VAC

Abschirmfolie

Sek.1: 220V

Sek.2: 240V

Sek.3: 9V

Sek.4: $12,6\text{V}$

Der Ausgangsübertrager ist mit seinen Daten an die Impedanz der GU 50 angepasst.

Kern: M102B

Prim.: $3\ \text{k}\Omega$

Sek.: $8\ \Omega$

Aikido Vorverstärker

Das Aikido Schaltungskonzept

Das Verstärkerkonzept ist durch ein paar Schaltungskniffe den anderen Schaltungen, wie z.B. der SRPP in Bezug auf Eingangsempfindlichkeit, Ausgangsimpedanz, Austeuerbarkeit, Klirrvverhalten, und der Unterdrückung von Störsignalen aus dem Netzteil weit überlegen.

Die Schaltung arbeitet völlig ohne globale Gegenkopplung, dies bedeutet, es werden erst gar keine Fehler produziert die nachträglich, wenn der Fehler schon entstanden ist wieder eliminiert werden. Die jeweiligen Kathodenwiderstände werden nicht durch klangverfälschende Kondensatoren überbrückt, wodurch die Gleichstromgegenkopplung erhöht und die Arbeitskennlinie der Röhre linearisiert wird.

Bedenken sie, das eine Röhre kein Bauteil ist was in allen elektrischen Werten konstant ist.

Keine Röhre ist wie die andere. Durch das Aikido Prinzip werden diese Schwächen zu großen Teilen kompensiert.

Im gesamten Signalweg befindet sich lediglich ein einziger aber sehr hochwertiger Koppelkondensator.

Der Verstärker hat eine Brummspannungsunterdrückung(PSRR) von -30dB (ein Kathodenfolger mit dem gleichen Röhrentyp hat gerade mal -6dB). Mit einer entsprechenden Widerstandsbeschaltung von R15 können bis -60dB erreicht werden.

Ein weiteres Novum ist die universelle Verwendbarkeit der Schaltung mit beliebigen Trioden ohne eine Änderung der Schaltung vornehmen zu müssen.

Das Schaltungskonzept kann man vereinfacht wie folgt beschreiben:

Ein Anodenfolger mit einer Konstantstromquelle im Anodenkreis steuert einen gleichspannungsgekoppelten Kathodenfolger mit einer Konstantstromquelle im Kathodenkreis.

Es können Ausgangsspannungen bis 20Volt erreicht werden. Damit eignet sich die Schaltung auch ausgezeichnet als Treiber für SE oder PSE Endstufen.

Mit entsprechender Beschaltung lässt sich auch ein exelenter Kopfhörer Verstärker realisieren, geeignet sowohl für nieder- als auch hochohmige Kopfhörer.

Im Nutzer-Handbuch werden entsprechende Schaltungs- und Dimensionierungsempfehlungen vorgestellt.

Tabellen liefern entsprechende Werte für die einzusetzenden Widerstände abhängig vom Röhrentyp und der Betriebsspannung.

Für den Aufbau sollten nur hochwertige Bauteile verwendet werden.

Die Schaltung hat eine hohe Nachbausicherheit, so dass auch Neulinge in der Röhrentechnik damit schnelle und hervorragende Erfolge erzielen.

Beachten Sie unbedingt die Sicherheitshinweise für Arbeiten mit lebensgefährlichen Spannungen ! Siehe auch Punkt 3 !

Schaltunsausführung (Auswahl der Röhren)

Die Schaltung arbeitet in einem weiten Versorgungsspannungsbereich, der vom Röhrentyp abhängig ist, zwischen 100 und 300 Volt.

Die Verstärkung der gesamt Schaltung hängt im Wesentlichen vom Verstärkungsfaktor der Eingangsröhre ab und beträgt ca $\frac{1}{2}$ mu.

Beispiele (Novalröhren):

Noval: ECC 81 ca. 29 / 29dB

Noval: ECC 82 ca. 8 / 18dB

Noval: ECC 83 ca. 40 / 34dB (oder die russ. Varinate 6N2P)

Beispiele (Octalröhren):

Octal: 6SN7GT ca. 20dB (oder die russ. Varinate 6H8C)

Octal: 6SL7 ca. 34dB

Die Ausgangsröhre arbeitet als Kathodenfolger und hat eine Verstärkung von <1 .
Einen guten Eindruck macht dabei die Röhre ECC99.

Ohne Einfluß auf das Schaltungskonzept sind die Schutzwiderstände R5 / R6 und R7 / R12.
Die jeweils 1Mega Ohm Widerstände sorgen für stabile Spannungsverhältnisse sollte es zu einem Heizfadenbruch kommen oder eine Röhre entfernt werden.

Leiterplattenausführung

Die Leiterkarte ist aus extra dickem Material (2,4mm), doppelseitig beschichtet mit Leiterbahnen mit einer Stärke von 70 μ m(!).

Beide Platinenseiten haben einen Bestücksdruck für die Bauteile.

Aufgrund ihrer hohen Stabilität wird die Leiterkarte beim Ziehen oder Stecken von Röhren nicht beschädigt.

Die Leiterkarte ist in den Ausführungen als Monostufe oder als Stereostufe erhältlich.

Zudem gibt es **Bausätze** für die Mono- und die Stereoausführung für Noval-Röhren.

Die Abmessung der **Mono Leiterkarte** beträgt 101,6mm x 152,4mm und hat 5 Befestigungsbohrungen zu jeweils 4mm.

Die Abmessung der **Stereo Leiterkarte** beträgt 101,6mm x 254,0mm und hat 8 Befestigungsbohrungen zu jeweils 4mm.

Komplette Schaltungen mit Netzteil und Stereoverstärker auf einer Platine stehen zur Verfügung.

Dimensionierungsbeispiele für Vor-, Line- oder Kopfhörverstärker sind dokumentiert.

Netzteil für Aikido Verstärker

Im erheblichen Umfang trägt die Qualität des Netzteiles und die Führung der Masseleiterbahnen zur Qualität des gesamten Vorverstärkers bei.

Ein entsprechender hochwertiger Bausatz inkl. Umfangreicher Beschreibung ist im Angebot

Russische Röhren

(in einer Auswahl vorgestellt)

Übersicht:

1. Allgemeines
2. Beschriftung und Übersetzung
3. Vergleichsliste
4. Exemplarische Beschreibung
5. Warnhinweise für den Selbstbauer
6. Liste mit Bauvorschlägen
7. Anhang (Kyrillisches Alphabet)

1. Allgemeines

Für Westeuropäer üben russische Röhren eine exotische Faszination aus. Mag es daran liegen, das sie für uns lange Zeit nicht erreichbar waren.

Als in Westeuropa schon keine Röhren mehr gefertigt wurden ging die Entwicklung der Röhren in der Sowjetunion noch lange Zeit weiter.

Die Entwicklung war stark Militärisch geprägt mit einem hohen positiven Einfluß in die Qualität und Robustheit der Röhren.

Einige russische Röhren sind auch direkt kompatibel zu den Westeuropäischen Modellen wie z.B. die 6N2P mit der ECC83.

Es gibt aber auch eigenwillige und interessante Ausführungen wie die legendäre GU50 oder die Triode 6C33C.

Beide o.g. Röhren wurden für den militärischen Einsatz entwickelt, erzielen aber auch beim Einsatz in Hi-Fi Schaltungen sehr gute Ergebnisse.

Wer seine Audioverstärker oder High-End Träume gerne durch Selbstbau realisiert, kann mit russischen Röhren sehr gute Ergebnisse erzielen.

In diesem Bericht erhalten sie eine exemplarische Übersicht über einige gängige und gut (und preiswert) zu erhaltene russische Exemplare.

Auf gar keinen Fall sollte man sich durch den günstigen Preis irritieren lassen.

Die Qualität der russischen Röhren ist wirklich gut und viele sind als Neue Ware aus alter Fertigung (NOS) zu erstehen. (NOS= new old stock)

Viele Modelle sind mit den gängigen Octal- oder Novalsockel versehen, so daß ihrem Einsatz nichts im Wege steht.

2. Entschlüsselung der Beschriftung

Damit die Röhrenbeschriftung auch für uns zu deuten ist werden sie häufig mit der lateinischen Übersetzung ihrer kyrillischen Schrift beschrieben.

Kennziffer 1 ist der abgerundete Wert der Heizspannung
z.B 6,3V = 6 / 12,6V = 12

Kennziffer 2 gibt den Typ an

Triode = C

Pentode = H

Leistungspentode = II

Abstimmröhre = E

Kennziffer 3 gibt die lfd. Nummer der Entwicklungsreihe an (Fabrikationsschlüssel)

Kennziffer 4 gibt die mechanische Ausführung von Kolben und Sockel an

C = Glaskolben (d>25mm) meist Ocktalsockel

II = Novalröhre (d=22,5mm)

Anhang (ein oder zwei Ziffern) gibt besondere Eigenschaften an

EB = langlebig, hohe Zuverlässigkeit

3. Vergleichsliste

Europäisch	Amerikanisch	Russisch	Lateinisch	Bemerkung
ECC83	12AX7	6H2II	6N2P	
E88CC	6DJ8	6H23II	6N23P	Vergleichstypen 6N1P oder 6922
EF86	6267	6X32II	6J32P	
EL34	6CA7	6II27C	6P27S	
EL84	6BQ5	6II14II	6P33P	
EM80	6BR5	6E1II	6E1P	
	6SN7GT	6H8C	6N8S	Doppel - Triode
	6SL7GT	6H9C	6N9S	Doppel - Triode
		6ry50	GU50	Leistungsenderöhre Pa=40W
		6C33C	6C33C	Leistungstriode Pa= 60W
		6C41C	6C41C	Leistungstriode Pa= 25W

4 Exemplarische Beschreibung

4.1 Doppeltriode 6H2II (6N2P = ECC83)

Die 6H2II Doppeltriode ist als NF-Verstärker Triode ausgelegt. Sie entspricht im Wesentlichen der Europäischen ECC83 mit kleineren Abweichungen.

Sie kann entgegen der ECC83 nur mit 6,3V geheizt werden und statt dem Heizungsmittelabgriff der ECC83 auf Pin9 ist bei ihr ein Schirmanschluß herausgeführt.

Zu beachten ist auch die maximale Spannungsdifferenz zwischen Heizfaden und Kathode von 100V gegenüber 180V bei der ECC83.

Ihre garantierte Lebensdauer ist mit 4000 Std. angegeben.

4.2 Die Pentode GU50

Die Gu50 (ry50) wurde ursprünglich als Hochfrequenz Oszillator in osteuropäischen Sendeanlage eingesetzt

Als besonderes Kennzeichen kann man den Aluminiumdeckel mit dem schwarzen Bakelitknopf ansehen. Der Glaskolben hat einen Durchmesser von 40mm mit einer seitlichen Nase zur Kennzeichnung des Stiftes 1, der maximale Durchmesser beträgt 45,3mm. Sie ist insgesamt (mit Stiften) 93,5mm hoch und wiegt ca 100g.

Die Heizspannung beträgt 12,6V und benötigt dabei einen Strom von 0,60 – 0,85 A

Ihre Steilheit liegt zwischen 3-5,5 mA/V

Die maximale Spannung am Schirmgitter (g2) darf 250 V nicht übersteigen.

Die maximale Spannung zwischen Kathode und Heizung liegt bei 200V.

Die maximale Anodenverlustleistung beträgt Pa=55W.

Die Standzeit ist mit etwa 1750 Std. angeben

4.3 Die Triode 6C41C

Die Triode 6C41C hat auch recht große Abmessungen die ähnlich der GU50 sind, nur das sie keinen Alu-Deckel hat sonder ihr Kopf wie bei den Novalröhren abgerundet ausgeführt.

Sie benötigt einen 7poligen Sockel (Septar-Fassung) der identisch mit der 6C33C, einer weiteren Leistungstriode.

Die Heizspannung beträgt 6,3V und benötigt dabei einen Heizstrom If von 2,7A.

Ihre Anodenverlustleistung Pa beträgt 25W und Ihre Steilheit liegt zwischen 16 und 26mA/V.

4.4 Die Triode 6C33C

Die Triode 6C33C hat beachtliche Abmessungen und ein imposantes Auftreten.

Sie benötigt wie die 6C41C einen 7poligen Sockel (Septar-Fassung).

Die Heizspannung beträgt 6,3V/12,6V und benötigt dabei einen Heizstrom I_f von 6A / 3A.

Ihre Anodenverlustleistung P_a beträgt 60W, Ihre Steilheit liegt bei 40mA/V.

Die Standzeit ist mit etwa 750 Std. angegeben

Sie kann als Endstufe in wirklichen Highend Verstärkern eingesetzt werden und berauscht dort durch die typischen Trioden-Charakteristik.

4.5 Die Doppeltriode 6H9C

Diese Doppeltriode entspricht der amerikanischen 6SL7

4.6 Die Doppeltriode 6H8C

Diese Doppeltriode entspricht der amerikanischen 6SN7

Begriffe und Abkürzungen:

SE = Singel End Klasse A Verstärker
PSE = Parallel Singel End Klasse A Verstärker
PP = Push Pull Klasse B Verstärker
SLCF = Super Linear Kathodenfolger
SRPP = Shunt Regulated Push Pull
PSRR = power supply rejecton ratio
CMRR = common mode rejection ration (Gleichtakt Unterdrückung)
PS = Power supplie / Netzteil

Literatur

Tabellen