

7. DIE STROMVERSORGUNG DER VERSTÄRKER

Jedes elektronische Gerät benötigt bekanntlich Energiequellen, sei es als Batterien oder als sogenannter Netzteil. Dies gilt natürlich auch für den Verstärker.

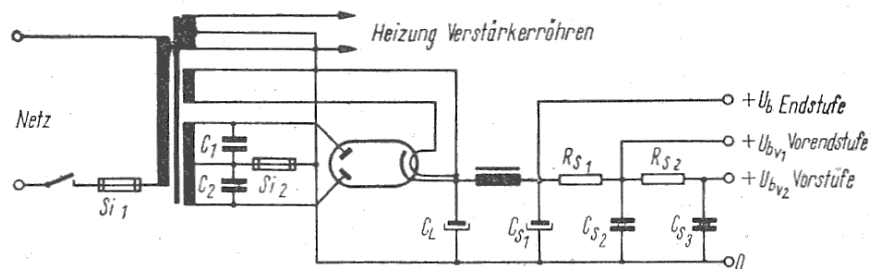
Der Netzteil hat die Aufgabe, aus dem Lichtnetz die für den Betrieb des Verstärkers erforderlichen Heiz-, Anoden- und Hilfsspannungen zu gewinnen. Er muß natürlich auch für die erforderlichen Ströme ausgelegt sein.

Das Herzstück jedes Netzteiles ist meist der Netztransformator. Er liefert die Heizspannung für die Verstärker- und Gleichrichterröhren. Im allgemeinen benötigt man dafür zwei Heizwicklungen, außerdem kann die Heizung von Vor- und Endverstärker- röhren aus getrennten Wicklungen erfolgen.

Auch die Spannungen für die Anoden und Gleichrichterröhren und für die Gleichrichter zur Herstellung der Gittervorspannung — falls das getrennt erfolgt — werden dem Netztransformator entnommen.

Bild 65.

Netzteil mit Sieb- und Entkopplungsgliedern für verschiedene Stufen



Die Anodenbetriebsspannung (Batteriespannung U_b) wird durch Gleichrichtung mit einer Röhre und anschließende Siebung gewonnen. Man verwendet fast ausschließlich Zweiweg-Gleichrichter, um mit relativ geringen Siebmitteln auszukommen. Alle Vorstufen werden über zusätzliche RC-Siebglieder gespeist (Bild 65). Wie man sich vorstellen kann, sind Anfangsstufen eines Verstärkers in bezug auf durch Netzbrummen „verunreinigte“ Speisespannung empfindlicher als Endstufen, da ja jeder Wechselstromanteil an der Anode noch verstärkt wird.

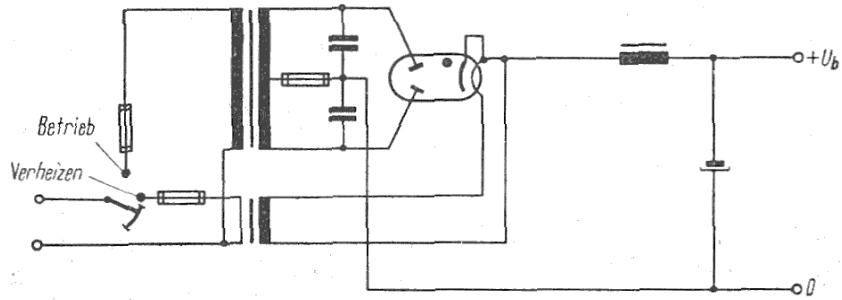
Für die Bemessung der Siebung gelten folgende Faustregeln:

Die Brummspannung an der Anode darf jeweils etwa max. 0,1 Prozent der Tonfrequenzspannung betragen. Gleichspannungen für Vorverstärkerstufen sind im gleichen Maße abzusieben, wie diese Stufen verstärken.

7.1 Die Anodengleichspannung

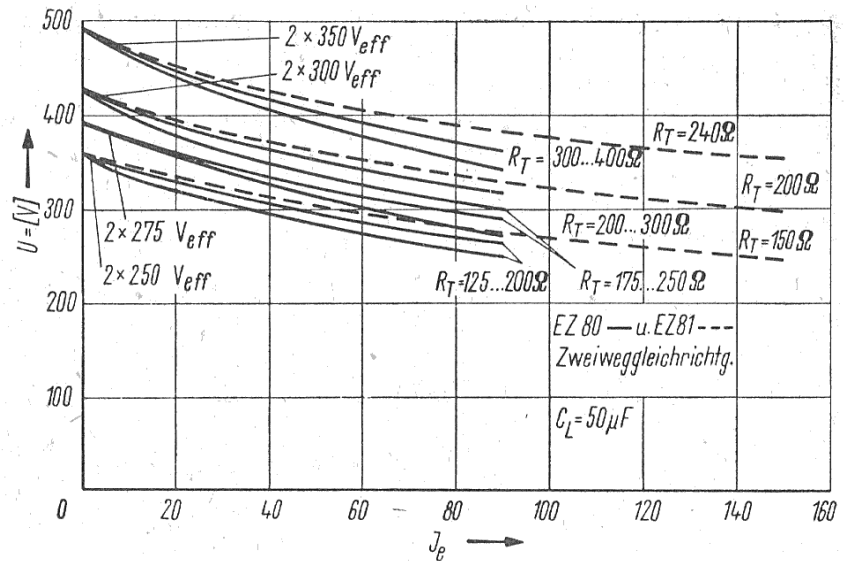
Das Absinken der gleichgerichteten Spannung bei Belastung ist nicht allein auf den Innenwiderstand von Netztransformator und Gleichrichterröhre zurückzuführen, sondern auch z. T. auf die Funktion des Ladeelkos, der während eines Teiles jeder Periode seine Ladung an den Gleichstrom„verbraucher“ abgeben muß. Deshalb verwendet man in Verstärkern, die bei großen Schwankungen des Anodenstroms eine möglichst konstante Batteriespannung benötigen (B-Verstärker) Gleichrichter mit Drosselkette (Bild 66). Mit der älteren Gleichrichterröhre 5 Z 4 erhält man mit 2×500 V Wechselspannung und $L = 5$ H eine Gleichspannung von rund 445 V, die bei $I_b = 125$ mA erst auf 415 V abgesunken ist. Für große Verstärker, Sender usw. verwendet man gasgefüllte Gleichrichterröhren, die einen vom Strom unabhängigen Spannungsabfall aufweisen (etwa 15 V bei Quecksilberdampffüllung).

Bild 66. Gleichrichter mit gasgefüllter Röhre und Drosseleingang



Die Gleichspannung am Ausgang des Gleichrichters ist eine komplizierte Funktion der anliegenden Wechselspannung, ihres Innenwiderstandes, der Kapazität des Ladekondensators und des Belastungswiderstandes. Sie läßt sich mit der nach Kammerloher angegebenen Methode berechnen. Viele Amateure besitzen jedoch

Bild 67. Gleichrichterröhren EZ 80 und 81, Zusammenhang zwischen sekundärer Trafospaltung, Gleichspannung und Gleichstrom



nicht die erforderlichen mathematischen Kenntnisse. Deshalb sind im Bild 67 die Gleichspannungen für die Röhren EZ 80 (6x5) und EZ 81 unter verschiedenen Arbeitsbedingungen angegeben.

Die Spannung U_b an den Verstärkerröhren ist noch um den Spannungsabfall U_D zu erhöhen, der an der Siebdrossel abfällt. Mit diesem Wert gehen wir — je nach zu verwendender Gleichrichterröhre — in die entsprechende Kurve in Bild 67. Aus den Kurven kann man abschätzen, ob ein handelsüblicher oder evtl. vorhandener Netztransformator verwendet werden kann. Gegebenenfalls ist der Transformator zu berechnen und wickeln zu lassen.

Beispiel: Zum Betrieb eines Kleinverstärkers mit einer Röhre ECL 82 (siehe auch Bild 49) werden 216 V ($U_b + U_g$) bei $I_b \approx 43$ mA benötigt. Den Stromwert runden wir auf 45 mA ab. An der gewählten Siebdrossel D 55/60 (siehe auch Tabelle im Anhang) mit dem Wicklungswiderstand 500 Ω fallen demzufolge ab

$$U_{Dr} = I_b \cdot R_{Dr} = 4,5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^2 = 22,5V.$$

Diese Spannung am Gleichrichterausgang muß $U_{gl} = 216 + 22,5 = 238,5 \approx 240$ V betragen. Wir wollen die Röhre EZ 80 verwenden und gehen mit diesem Spannungswert in Bild 67. Für $C_L = 50 \mu F$ und $U_{Tr} = 2 \times 250$ V erhalten wir im Mittel eine Gleichspannung von 290 V. Die Frage ist, wie groß muß die Trafospaltung für 240 V Gleichspannung sein?

Wir stellen das Verhältnis auf:

$$\frac{U_{Tr} = 250V}{U_{gl} = 290V} = \frac{U_{Tr} = x}{U_{gl} = 240V}$$

Durch Auflösen nach x erhalten wir $x = 207$ V. Das ist der Wert der Wechselspannung, die der Trafo abgeben muß.

7.2 Die Brummspannung und ihre Siebung

Die Brummspannung (Spitzenwert) am Ausgang des Gleichrichters berechnet sich für 50-Hz-Netze annähernd nach der Faustformel

$$U_{br,1} = \frac{I_b}{200 \cdot p \cdot C_L}$$

Hierin bedeutet neben den bereits bekannten Symbolen „p“ die Anzahl der gleichgerichteten Phasen („Wege“).

Beispiel: In dem Beispiel des vorangegangenen Abschnitts beträgt die Brummspannung am Eingang der Siebkette

$$U_{br,1} = \frac{4,5 \cdot 10^{-2}}{200 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 10^{-5}} = 2,25 \text{ V.}$$

In der anschließenden Siebkette aus Drossel und Siebkondensator wird die Brummspannung wesentlich verkleinert. Den Siebfaktor s (Verhältnis der ungesiebten zur gesiebten Spannung) berechnet man für 50-Hz-Netze zu

$$p^2 \cdot 10^5 \cdot L \cdot C_s;$$

C_s ist dabei der Siebkondensator in F, L die Siebdrossel in H.

Wir setzen das angefangene Beispiel fort:

Mit $C_s = 50 \mu\text{F}$ und der Drossel D 55/60 mit $L = 15 \text{ H}$ wird der Siebfaktor

$$S = 4 \cdot 10^5 \cdot 15 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 300.$$

Damit bleibt als Brummspannung am Siebkondensator

$$U_{br,2} = \frac{U_{br,1}}{s} = \frac{2,25}{300} = 0,75 \cdot 10^{-2} \text{ V} = 7,5 \text{ mV.}$$

Zur Kontrolle überprüfen wir, ob dieser Wert ausreicht: Die NF-Spannung an der Anode der E(C)L 82 beträgt bei Vollaussteuerung höchstens 200 V; 0,1 Prozent von diesem Wert sind 200 mV. Der errechnete Wert der Brummspannung ist wesentlich kleiner, die Siebung reicht also aus.

Für die Vorstufe (das Triodensystem der ECL 82) wollen wir dennoch ein zusätzliches Siebglied vorsehen. Der Siebfaktor von RC-Gliedern berechnet sich näherungsweise nach der Beziehung

$$s = p \cdot 314 \cdot R_s C_s.$$

Hierin sind R_s und C_s jeweils in weiten Grenzen wählbar. Meist wird jedoch R_s durch den an ihm entstehenden Gleichspannungsabfall auf einen gewissen Maximalwert begrenzt.

Beispiel: Der Siebwiderstand R_v , für das Triodensystem der ECL 82 soll lt. Tabelle 3 20 k Ω betragen. Mit einem Siebkondensator von 8 μF ergibt sich daraus ein Siebfaktor

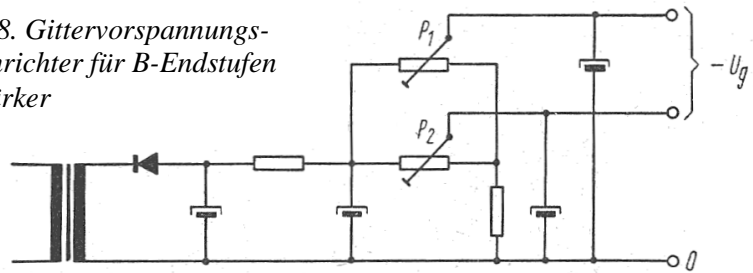
$$s = 2 \cdot 314 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 100.$$

Während die Verstärkung des Triodensystems bei etwa 50 liegt. Der Brummabstand würde also weiter verbessert werden, sofern man es nicht vorzieht, einen kleineren Kondensator zu verwenden. Für $s = 50$ genügt bereits ein 4- μF -Kondensator.

7.3 Erzeugung der Gittervorspannung für die Gegentakt-B-Endstufe

Wie bereits erklärt, muß die Gittervorspannung für B-Endstufen aus getrennten Gleichrichtern gewonnen werden. Bild 68 zeigt eine solche Schaltung mit Selen- oder Ge-Flächengleichrichter. Der Strom, die diesen Gittervorspannungs-Gleichrichtern entnommen wird, ist sehr gering, deshalb kommt man mit Einweg-Gleichrichtung aus. Auch hier wird die Siebung (stets nur RC-Glieder) so ausgelegt, wie es sinngemäß auch für die

Bild 68. Gittervorspannungs-Gleichrichter für B-Endstufen Verstärker



Anodenspannungs-Gleichrichter gilt; Brummspannung am Ende der Siebkette maximal 0,1 Prozent der Nutzwechselfspannung. Allerdings ist durch die Gegentaktschaltung der Endröhren dieser Wert nicht sonderlich kritisch.

Mit P_1 und P_2 werden die Gitterspannungen jeder Endröhre so eingestellt, daß der korrekte Anodenruhestrom (lt. Tabelle) fließt. Die Potentiometer sind gegen unbefugtes oder zufälliges Verstellen durch einen Lacktropfen zu sichern.

Um zu vermeiden, daß bei Ausfall der Gittervorspannung der Anodenstrom unzulässig hohe Werte annimmt (Gefährdung der Endröhren), kann man die Schutzschaltung nach Bild 69 benutzen. Das Relais Rel hat einen möglichst geringen Ansprechstrom, auf den die Schaltung zu dimensionieren ist.

Mit P_3 läßt sich der Ansprechstrom einstellen. Bei Ausfall der Gittervorspannung fällt das Relais ab und unterbricht über seinen Arbeitskontakt die Anodenspannung. Mit einem zusätzlichen Ruhekontakt kann man eine Signallampe o. ä. betätigen.

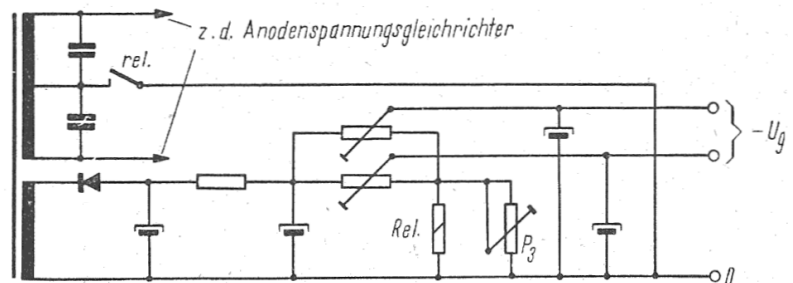


Bild 69. Gittervorspannungs-Gleichrichter mit Blockierungsvorrichtung und Anodenspannung

7.4 Die Heizspannung

Zur Heizspannung läßt sich wenig sagen. Der Sollwert ist vom Röhrenhersteller vorgeschrieben und muß mit maximal ± 7 Prozent eingehalten werden. Maßgebend ist der Wert der Spannung an den Heizfäden der Röhren. Es muß also durch ausreichenden Querschnitt der Heizleitung dafür Sorge getragen werden, daß der Spannungsabfall an ihr so klein wie möglich bleibt. Unterheizung schadet den Röhren genauso wie Überheizung! Besonders gefährdet sind dabei Röhren mit großen Anodenströmen wie End- und Gleichrichterröhren — sie werden frühzeitig „taub“, besonders bei Unterheizung!

Der in der UKW-Technik übliche Weg, einen Anschluß der Heizung an Masse zu legen, ist bei NF-Verstärkern nicht üblich. Nur bei Endstufen bzw. kleinen Verstärkern mit geringer Spannungsverstärkung kann man einen Pol der Heizung mit der Null-Volt-Leitung verbinden (an der empfindlichsten Röhre). Die Verwendung der Null-Volt-Leitung selbst als Rückleitung für den Heizstrom ist also nicht zu empfehlen (siehe Kapitel 2).

Für Anfangsstufen in hochempfindlichen Verstärkern muß die Heizspannung gegen Null-Volt symmetriert werden. Die Leitung wird verdrillt verlegt (geringes

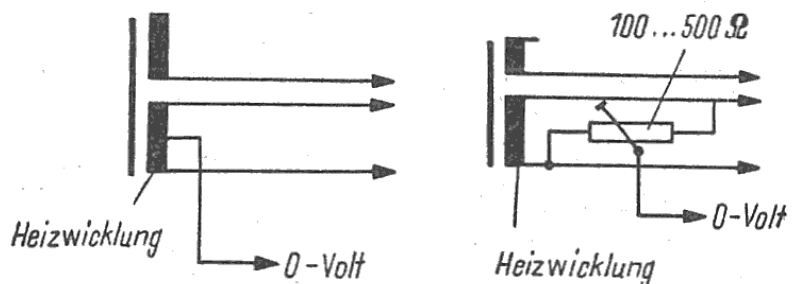


Bild 70 und 71. Verschiedene Möglichkeiten zur Symmetrierung der Heizspannung

magnetisches Streufeld). Die Symmetrierung erfolgt durch eine an Null-Volt angeschlossene Mittenanzapfung der Heizwicklung (Bild 70) oder durch ein kleines Potentiometer von 100 bis 500 Ω (Bild 71). Hierzu eignen sich die sogenannten IKA-Entbrummer.

Bei der Verstärkung sehr kleiner Spannungen (unter 5 mV) reicht auch diese Maßnahme oft nicht aus. Man muß dann die Röhren mit Gleichstrom heizen. Der hierfür benötigte Gleichrichter ist entweder ein Selengleichrichter oder eine Ge-Flächendiode. Die Siebung erfolgt mit RC-Gliedern, über den Siebfaktor können keine verbindlichen Angaben gemacht werden. Bild 72 zeigt die Schaltung zur Gleichstromheizung von zwei Doppeltrioden (Typ ECC 81, 82 oder 83). Durch die Serienschaltung aller Heizfäden kommt man mit 150 mA aus, wodurch die Siebmittel kleiner werden als bei der Parallelschaltung (600 mA). P1 dient zur Einstellung des korrekten Heizstromes. Mit dieser Schaltung lag die Gesamtbrummspannung — bezogen auf den Verstärkereingang — unter 1 bis 2 μV .

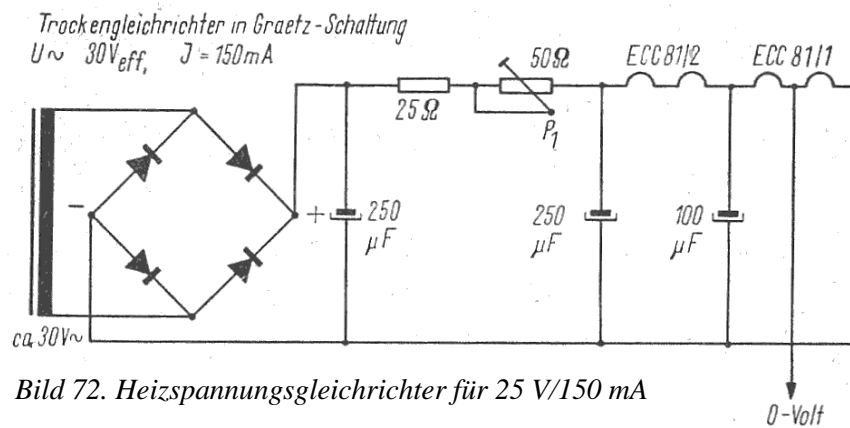


Bild 72. Heizspannungsgleichrichter für 25 V/150 mA