



Faszination Röhre

Teil 3

Nach unseren ersten Praxiserfahrungen vertiefen wir unsere Kenntnisse zur Schaltungsdimensionierung im dritten Teil unserer Serie, der sich auch mit ersten „richtigen“ NF-Schaltungen, mit Röhren, beschäftigt.

Notwendiges

Es mag vor allem für jüngere Leser vielleicht etwas antiquiert klingen, aber kaum ein Gebiet der Elektronik setzt so exzessive Rechenarbeiten zur Schaltungsdimensionierung voraus wie die Beschäftigung mit Elektronenröhren. Das ist beileibe kein Tick der Liebhaber dieses Fachs, sondern Notwendigkeit, will man das erreichen, was sich tatsächlich HiFi oder gar High End nennt.

Nun ist es nicht Ziel unserer im Endeffekt praktisch orientierten Reihe, die Theorie in den Vordergrund zu stellen, zumal wir wissen, daß Praktiker lieber löten als rechnen. Vorteilhaft ist in der Röhrentechnik dabei, daß viele Berechnungen durch einfaches Ablesen aus den Röhrenkennli-

nien ersetzbar sind, wie wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch sehen werden.

Ein schlauer Mensch hat einmal festgestellt - man muß nicht wissen, man muß wissen, wo's steht.

Unter diesem Credo wollen wir Ihnen die zur Schaltungsdimensionierung nun einmal notwendigen, an sich „trockenen“ Berechnungen weitgehend ersparen und bevorzugt die Wege aufzeichnen, wie man vor allem mittels der Kennlinien zu Ergebnissen gelangt.

Der Arbeitspunkt - das A und O der praktischen Schaltung

Bisher haben wir alle Betrachtungen an der Röhre nur durch das Anlegen aller zum Betrieb notwendigen Spannungen an die

einzelnen Elektroden der Röhre in zuvor berechneter Höhe angestellt.

Im praktischen Betrieb, z. B. als Verstärker, gehört selbstverständlich eine Beschaltung mit Bauteilen zur Einstellung des Arbeitspunktes bzw. des Frequenzgangs sowie mit einem (Last-) Widerstand R_a .

Der Lastwiderstand kann ein ohmscher Widerstand sein (RC-Kopplung), eine transformierte Lautsprecherimpedanz (Endstufe), ein Schwingkreis (HF-Verstärkung) o. ä.

Betrachten wir einmal den Fall des Lastwiderstands als ohmscher Widerstand R_a (Abbildung 16). Der durch die Röhre und den Widerstand R_a fließende Anodenstrom ist eine Funktion sowohl der spezifischen Röhrendaten als auch des Wertes des Lastwiderstandes R_a , denn nach (13) und (14) erkennen wir klassische Beziehungen des ohmschen Gesetzes zwischen Betriebs- und Anodenspannung, Anodenstrom und Lastwiderstand. Vereinfacht man diese Beziehung durch die Festlegung von $U_a = U_B$, folgt $I_a = 0$ und für $U_a = 0$, wird

$$I_a = \frac{U_B}{R_a}$$

Aus diesen Werten entsteht die sogenannte Widerstandsgerade des im Anodenkreis wirksamen Lastwiderstands, die für die Werte $R_a = 20 \text{ k}\Omega$ und $U_B = 200 \text{ V}$ in Abbildung 17 eingetragen ist. Diese stellt das Kennlinienfeld der betrachteten Vorstufenröhre ECC 82 dar, deshalb der relativ hochohmige Lastwiderstand.

Die Schnittpunkte dieser Geraden mit den Kennlinien für die verschiedenen Werte der negativen Gitterspannung sind die jeweiligen Arbeitspunkte der Röhre bei einer bestimmten Gitterspannung.

In der Praxis wählt man den Arbeitspunkt stets so, daß er etwa dort liegt, wo die Abstände der I_a/U_a -Kennlinien über das gesamte Kennlinienfeld möglichst identisch sind. Hintergrund dieser Maßnahme ist das Streben nach einer symmetrischen Aussteuerung, die eine Voraussetzung für die saubere, verzerrungsfreie Signalübertragung ist.

Legt man den Arbeitspunkt fest, z. B.

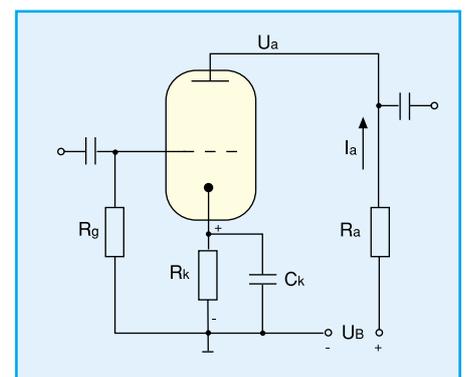


Bild 16: Triodenverstärkerstufe in Katodenbasisschaltung

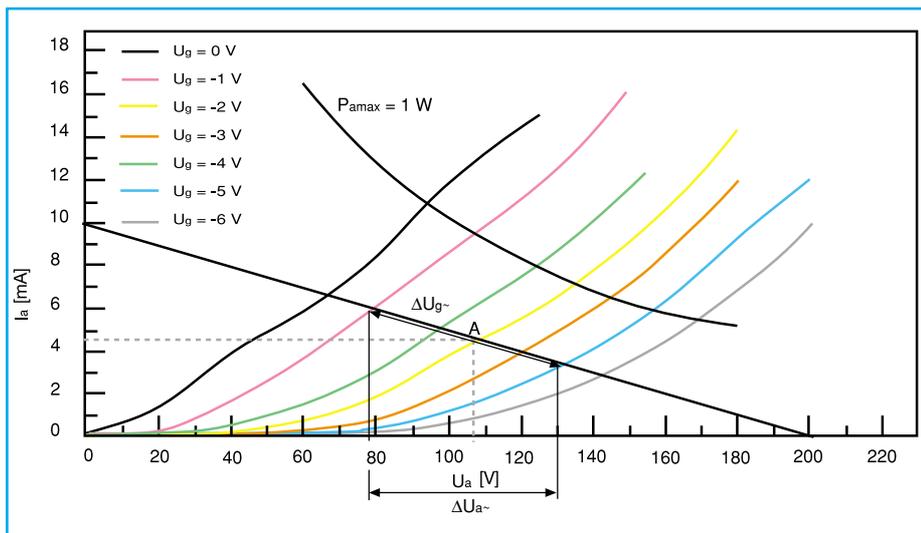


Bild 17: Kennlinienfeld der Vorstufentriode ECC 82 (ein System)

bei „A“ in Abbildung 17, erhält man bei gegebenem Lastwiderstand anhand der Kennlinie sofort folgende Werte:

- Anodenstrom $I_a = 4,7 \text{ mA}$
- Aufteilung der Spannung U_B auf R_a und U_a :
 $U_{Ra} = 94 \text{ V}$; $U_a = 106 \text{ V}$
- Erforderliche negative Gitterspannung:
 $U_g = -3 \text{ V}$.

Die Einstellung des Arbeitspunktes

Die hierzu erforderliche negative Gitter-

spannung ist auf verschiedene Weise einstellbar. Dabei sind sowohl der Einsatz einer Gittervorspannungsquelle, die automatische Gitterspannungseinstellung als auch die Erzeugung der Gitterspannung durch Anlaufstrom möglich.

Die **Vorspannungserzeugung mit einer zusätzlichen Spannungsquelle** ist in Abbildung 18 a dargestellt. Oft wird dazu eine gleichgerichtete, gesiebte und einstellbare Spannung eingesetzt, die aus einer Zusatzwicklung des Gerätenetztrafos er-

zeugt wird. Diese Art der festen Arbeitspunkteinstellung kommt häufig in Leistungsstufen (B-Betrieb) zur Anwendung.

Abbildung 18 b zeigt das Prinzip der sogenannten „**automatischen Gitterspannungserzeugung**“. Dabei liegt die Katode über einen Katodenwiderstand R_k am Minuspol der Versorgungsspannung. R_k wird vom Anodenstrom (gleich dem Katodenstrom) durchflossen. Die Katode liegt so um die Spannung $U_k = R_k \cdot I_a$ höher gegenüber dem Minuspol der Versorgungsspannung, bzw. das Gitter, das ja mit dem Minuspol der Versorgungsspannung verbunden ist, liegt relativ um diesen Betrag negativer.

Der Widerstand R_k ist durch einen Elko wechsellspannungsmäßig kurzgeschlossen. Die Bestimmung des Widerstandswertes für R_k ist bei bekannten Arbeitspunktwerten für U_g und I_a nun einfach:

$$R_k = \frac{U_k (= -U_g)}{I_a} \quad (15)$$

In unserem Beispiel in Abbildung 17 wird danach

$$R_k = \frac{3 \text{ V}}{4,7 \text{ mA}} = 0,64 \text{ k}\Omega,$$

praktisch wird $R_k = 620 \Omega$ gewählt.

Bei Pentoden ist natürlich, wie wir seit dem Teil 2 dieser Serie wissen, die Aufteilung des insgesamt fließenden Stroms auf Anodenstrom und Schirmgitterstrom zu berücksichtigen. Es gilt dann (16).

Da U_k in der Praxis sehr viel kleiner ausfällt als U_a , ist hier keine Korrektur der Anodenspannung ($U_a' = U_a - U_k$) erforderlich.

Diese Art der Gittervorspannungserzeugung kommt in fast allen Vorverstärkern, Treibern und Endstufen im A-Betrieb zur Anwendung.

Die in Abbildung 18 c dargestellte Schaltung zur **Arbeitspunkteinstellung durch den Anlaufstrom** kommt bei einigen Röhren in NF-Vorstufen zum Einsatz.

Sie beruht darauf, daß bei $U_g = 0$ immer ein, wenn auch geringer, Gitterstrom fließt. Dieser Gitterstrom im $0,1 \mu\text{A}$ -Bereich erzeugt am Widerstand R_g , der sehr groß gewählt wird, einen Spannungsabfall von ca. -1V . Es stellt sich ein Arbeitspunkt ein, der es gestattet, auch sehr geringe NF-Spannungen verzerrungsfrei zu verarbeiten. Dieses Verfahren kommt hauptsächlich bei der ECC 83 sowie bei der EF 86 und EF 804 zur Anwendung. Die Kondensatoren dienen der Entkopplung der (Betriebs-) Gleichspannungen von den (Signal-) Wechselspannungen.

Aufgrund dieser besprochenen Wechselbeziehungen zwischen Anodenspannung, Anodenstrom, Lastwiderstand und Gitterspannung kommt es im Ausgangskreis der Röhre zu einem Ver-

Tabelle 3: Detaillierte Formelaufstellung zur Berechnung des Arbeitspunktes, der Verstärkung und Leistungsberechnungen

Ermittlung der Widerstandsgeraden für einen ohmschen Widerstand:

$$U_a = U_B - I_a \cdot R_a \quad (13) \quad \text{und} \quad I_a = \frac{U_B - U_a}{R_a} \quad (14)$$

Bestimmung des Katodenwiderstands für Pentoden (automatische Gitterspannungserzeugung):

$$R_k = \frac{U_k}{I_a + I_{g2}} \quad (16)$$

Berechnung der Spannungsverstärkung am Beispiel in Abbildung 16:

$$V = \frac{\Delta U_{a\sim}}{\Delta U_{g\sim}} = \frac{55 \text{ V}_{ss}}{4 \text{ V}_{ss}} = 13,8$$

Die Leistungsverhältnisse an der Röhre unter Einfluß von Wechselgrößen:

Liegt am Gitter eine Wechselspannung, so erhält man (wie im Kennlinienfeld Abbildung 17 dargestellt) einen sich zeitlich ändernden Anodenstrom $i_a(t) = I_a + i_a \sin \omega t$ (19)

Für die Anodenspannung gilt: $u_a(t) = U_a - R_a \cdot i_a \sin \omega t$ (20)

Die Leistung an der Anode über eine Periode beträgt damit

$$P_a^* = \frac{1}{T} \int_0^T i_a(t) \cdot u_a(t) dt \quad (21)$$

im Gegensatz zu $P_a = U_a \cdot I_a$ ohne Aussteuerung.

Nach der Ausrechnung der Gleichung (21) unter Verwendung von (19) und (20) erhält man:

$$P_a^* = U_a \cdot I_a - \frac{\hat{i}_a^2}{2} R_a \quad (22) \quad \text{und} \quad P_a^* = P_a - \frac{\hat{i}_a^2}{2} R_a \quad (23)$$

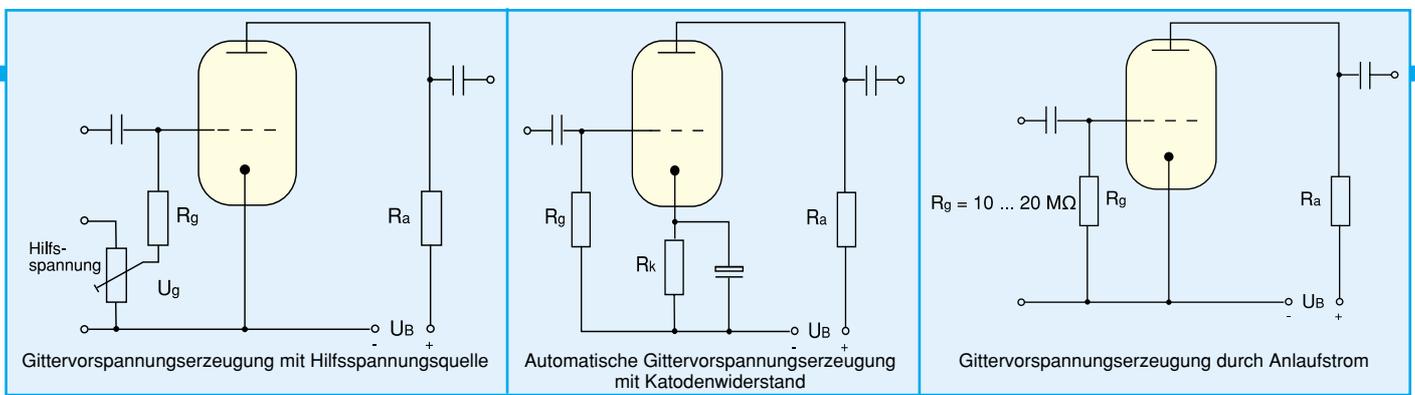


Bild 18: Erzeugung der Gittervorspannung zur Einstellung des Arbeitspunktes.

stärkungseffekt der Eingangswchelspannung.

Die Röhre als Verstärker

Der Spannungsverstärkungseffekt der Triodenverstärkerstufe in Abbildung 16 ist mit Hilfe von Abbildung 17 leicht nachzuvollziehen.

Legt man an das Gitter eine Wechselspannung von z. B. $U_{g\sim} = 4 V_{ss}$ (das heißt hier $-5V \leq U_{g1} \leq -1V$), wandert der Augenblickswert des Arbeitspunktes entlang der Widerstandsgeraden der Arbeitskennlinie genau um diesen Betrag zu niedrigeren

oder höheren Vorspannungswerten hin.

Die Projektion auf die $U_{a\sim}$ -Achse ergibt die resultierende $U_{a\sim}$ -Änderung ($\Delta U_{a\sim}$) und damit die Verstärkung des Eingangssignals.

Im Beispiel ist $U_{a\sim} = 55 V_{ss}$. Die Verstärkung beträgt somit gemäß (9):

$$V = \frac{55 V_{ss}}{4 V_{ss}} = 13,8$$

Die Spitzenwerte von $U_{g\sim}$ sind durch die Kennlinie auf der einen Seite mit $U_g = 0$ und andererseits durch $I_a \approx 0$ begrenzt. Praktisch sind diese Grenzen aber nicht ausschöpfbar, da, wie wir im vorherigen

Abschnitt erfahren haben, bei $U_g = 0$ bereits Gitterstrom fließen kann und andererseits bei einer Aussteuerung bis in die Nähe von $I_a = 0$ starke Unsymmetrien (gleich Verzerrungen) in den $U_{g\sim}$ -Kennlinien im Bereich um den Arbeitspunkt herum auftreten.

Je höher also die Spitzenwerte der Steuerspannung sind, desto höher werden auch die entsprechenden Verzerrungen. Spätestens jetzt erkennt man den Sinn, auch wirklich mit einer Röhrenkennlinie praktisch arbeiten zu können. Probieren Sie diese Berechnungen einmal mit anderen Lastwiderständen. Sie werden erstaunt sein, wie schnell sich so der Arbeitspunkt und die Verstärkung einer Verstärkerstufe ermitteln lassen.

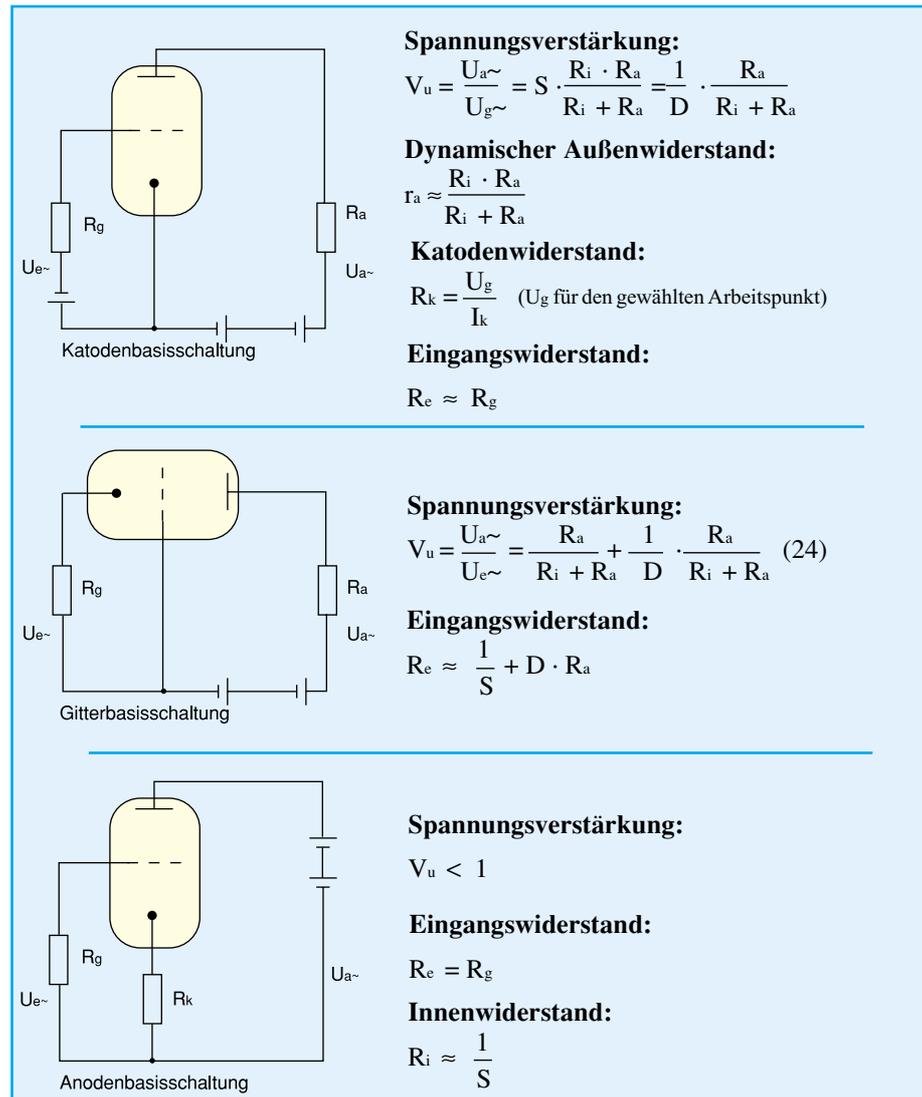


Bild 19: Die Grundschaltungen der Elektronenröhren

Leistungen - Gewinne und Verluste

Daß bei derartigen Spannungen und Strömen, wie wir sie in einer Röhrenschaltung vorfinden, einiges an Leistung verarbeitet wird, läßt sich leicht nachvollziehen. Daß es dabei nicht nur um entnehmbare Nutzleistung geht, wissen wir spätestens, wenn wir das erste Mal eine im Betrieb befindliche Röhre haben glühen sehen. Mancher hat ja auch schon in seinem Leben „hitze“ Begegnungen mit solch einer Röhre gehabt. So teilt sich die erzeugte Leistung an einer Röhre in eine entnehmbare Nutzleistung und die nahezu ausschließlich in Wärme umgesetzte Verlustleistung auf.

Betrachten wir wiederum die Grundschaltung der Triode nach Abbildung 16, gilt dort die Gleichung für die aus der Anodenspannung entnommene Gleichstromleistung (wir setzen voraus, es liegt keine Wechselspannung am Gitter):

$$P_{\sim} = I_a \cdot U_B \text{ mit } U_B = U_a + I_a \cdot R_a \quad (17)$$

$$P_{\sim} = I_a \cdot U_a + I_a^2 \cdot R_a \quad (18)$$

Der Ausdruck $I_a \cdot U_a = P_a$ stellt den in der Röhre an der Anode in Wärme umgesetzten Leistungsanteil dar und wird als Anodenverlustleistung bezeichnet.

Dagegen bezeichnet der Ausdruck $P_{Ra} = I_a^2 \cdot R_a$ den im Außen-(Last-) Widerstand umgesetzten Leistungsanteil (R_a sei reell angenommen) und damit praktisch die entnehmbare Leistung.

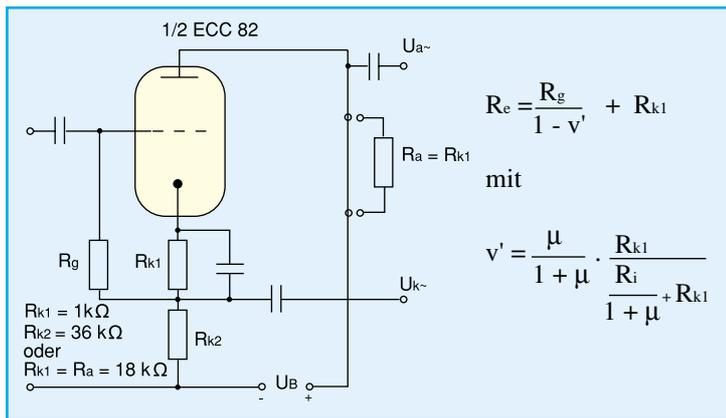


Bild 20: Eine Variante der Anodenbasis-schaltung, die Katodyn-schaltung

$$R_e = \frac{R_g}{1 - \nu'} + R_{k1}$$

mit

$$\nu' = \frac{\mu}{1 + \mu} \cdot \frac{R_{k1}}{\frac{R_i}{1 + \mu} + R_{k1}}$$

Für jeden Röhrentyp ist ein Maximalwert für die Anodenverlustleistung festgelegt, der von der Konstruktion der Röhre abhängig ist.

Anodenverlustleistungen können im Bereich von weniger als 1 W bis zu mehreren kW liegen. Diese maximale Anodenverlustleistung darf im Dauerbetrieb einer Röhre nicht überschritten werden, die Folge wäre eine thermische Zerstörung der Röhre, wie wir ja seit dem letzten Teil der Artikelserie wissen.

Im U_a/I_a -Kennlinienfeld wird die sogenannte Verlustleistungshyperbel als Ausdruck aller Werte von $U_a \cdot I_a = P_{a\max}$ eingetragen. Alle gewählten Arbeitspunkte sowie alle bei der Aussteuerung auftretenden Werte von P_a müssen unterhalb dieser Verlustleistungshyperbel liegen, um die maximale Anodenverlustleistung nicht zu überschreiten.

Zur Veranschaulichung ist in der Abbildung 17 die Verlustleistungshyperbel für $P_{a\max} = 1\text{ W}$ eingetragen - ein praktisch bereits handhabbarer Wert für ein System der gewählten Vorstufenröhre ECC 82.

Die Leistungsverhältnisse unter dem Einfluß von Wechselgrößen sind ungleich komplizierter zu berechnen, wie man (19) bis (23) entnehmen kann. Denn im Gegensatz zu den statischen Gleichgrößen hat man es hier mit zeitlich sich ständig ändernden, dynamischen Strömen und Spannungen zu tun.

Überblicksmäßig sei soviel gesagt, daß in der Praxis durch die bereits besprochene Begrenzung von Anodenstrom und Aussteuerbereich der Gitterspannung dafür gesorgt werden muß, daß die Verlustleistungshyperbel für die Gleichstromleistung nicht dauernd überschritten wird. Die Folgen sind neben erheblichen Verzerrungen aus bekannten Gründen die gleichen wie bei der Überschreitung der Gleichstromverlustleistung.

Das Berechnen der kompliziert anmutenden Gleichungen können wir uns in der Praxis jedoch sparen, schließlich gibt es dazu die Kennlinienfelder und Datenblätter der Röhren, aus denen wir alle Werte sehr einfach ablesen bzw. konstruieren können.

Die beschriebenen Leistungsverhältnisse sind für Vorstufen und Kleinsignalverstärker weniger von Bedeutung, spielen jedoch bei Leistungsverstärkern eine umso größere Rolle, wie wir später noch sehen werden.

Bei Pentoden ist noch ein weiterer Verlustleistungsanteil zu beachten.

Da auch das Schirmgitter Elektronen auffängt und somit der bekannte Schirmgitterstrom fließt, ist es wichtig, daß die vom Röhrenhersteller in seinem Datenblatt angegebene maximale Schirmgitterverlustleistung $P_{g2\max} = U_{g2} \cdot I_{g2}$ nicht überschritten wird. Sie liegt je nach Röhrentyp immerhin bei bis zu 6 W bei einer EL 34!

Damit haben wir die wichtigsten Berechnungen für die Einstellung des richtigen Arbeitspunkts, der Verstärkung und der auftretenden Leistungen betrachtet und können uns nun mit der Besprechung der wichtigsten Grundschaltungen ein wenig näher an die Praxis herantasten.

Die Röhren-Grundschaltungen und deren Anwendungen

Die Röhregrundschaltungen lassen sich wieder am einfachsten anhand einer Triode darstellen. Die drei Grundschaltungen wollen wir anhand der Abbildung 19 diskutieren.

Zwischen jeweils 2 Elektroden wird die Eingangsspannung angelegt und die verstärkte Spannung entnommen. Die dabei gemeinsam genutzte Elektrode bezeichnet die Art der Grundschaltung.

Alle bisher beschriebenen Schaltungen sind **Katodenbasisschaltungen** entsprechend Abbildung 19 bzw. dem bereits bekannten Beispiel aus Abbildung 16. Diese Grundschaltung wird in fast allen Verstärkerschaltungen für niedrige und mittlere Frequenzen eingesetzt. Sie gilt gleichsam für Trioden wie für Pentoden und ist damit die gebräuchlichste Anwendung.

Die wesentlichen Kennwerte der Katodenbasisschaltung sind bei Beschaltung mit einem ohmschen Lastwiderstand R_a die Spannungsverstärkung, der dynamische

Außenwiderstand, der Katodenwiderstand und der Eingangswiderstand. Die zugehörigen Berechnungsformeln dazu finden Sie in Abbildung 19.

Bei höheren Frequenzen spielen für die Eigenschaften der Schaltung zunehmend die inneren Röhrenkapazitäten eine störende Rolle. Insbesondere tritt über die Kapazität C_{ga} (Gitter-Anodenkapazität) eine Rückwirkung des Anodenkreises auf den Gitterkreis auf.

Daher ergeben sich für hohe Frequenzen günstigere Eigenschaften in der **Gitterbasisschaltung**, da durch das geerdete Gitter eine Entkopplung von Eingangs- und Ausgangskreis erfolgt. Diese Schaltung kam hauptsächlich in den Eingangsstufen von UKW- und Fernsehgeräten zur Anwendung. Der geringe Eingangswiderstand der Gitterbasisschaltung ist jedoch ein entscheidender Nachteil, der die Anwendung dieser Schaltungsvariante stark eingrenzt. Daher gehört der Eingangswiderstand neben der Verstärkung zu den wichtigsten Kennwerten der Gitterbasisschaltung. Auch hier finden Sie die zugehörigen Berechnungsformeln in Abbildung 19.

Eine Kombination zweier Trioden in Katodenbasis- und Gitterbasisschaltung findet man übrigens häufig in der NF-Technik. Sie dient der Gewinnung gegenphasiger Spannungen zur Ansteuerung von Gegentakt-Endstufen. Im Rahmen der Dimensionierung von NF-Endverstärkern werden wir solch eine Schaltung noch ausführlich besprechen.

Die dritte Grundschaltung, die **Anodenbasisschaltung**, die ebenfalls neben den zugehörigen Kenndaten-Formeln für Spannungsverstärkung, Eingangs- und Innenwiderstand in Abbildung 19 zu sehen ist, wird auch Katodenverstärker genannt. Ihre hervorstechendsten Merkmale sind ein hoher Eingangswiderstand und ein niedriger Ausgangswiderstand, was diese Schaltung

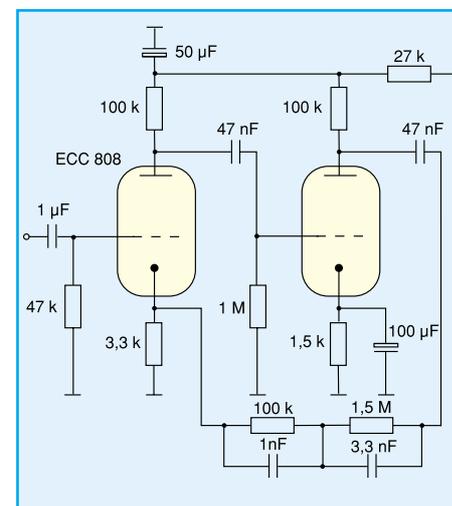


Bild 21: Eine dimensionierte Schaltung eines Entzerrerverstärkers für magnetische Tonabnehmer

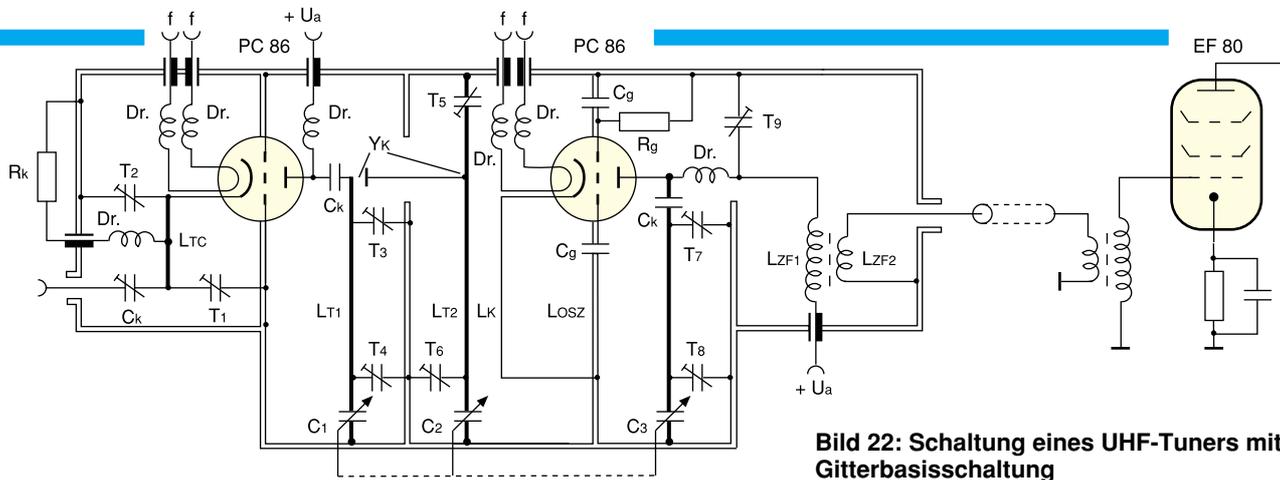


Bild 22: Schaltung eines UHF-Tuners mit PC 86 in Gitterbasisschaltung

z. B. für Impedanzwandlerstufen, Eingangsstufen etc. prädestiniert.

Dabei spielt die Spannungsverstärkung, die hier durch die stattfindende 100prozentige Gegenkopplung immer weniger als 1 beträgt, eine untergeordnete Rolle, wichtig ist die Impedanzwandlerfunktion zwischen Eingangs- und Ausgangswiderstand.

Eine besondere Form der Anodenbasisschaltung ist in der Abbildung 20 zu sehen. Hier wird das Impedanzwandlerverhalten besonders deutlich.

Der Arbeitspunkt der Röhre wird durch den Spannungsabfall an R_{K2} eingestellt. Dieser Widerstand ist kapazitiv überbrückt und hat daher wechselfrequenzmäßig keine Funktion. Der Widerstand R_{K1} ist im Gegensatz zum Widerstand R_K in Abbildung 19 frei wählbar. Dadurch erhält man einen nochmals erhöhten Eingangswiderstand, wie ein Berechnungsbeispiel der Formel (25) beweist:

Mit den Werten $R_g = 1 \text{ M}\Omega$, $R_{K1} = 36 \text{ k}\Omega$ und $\mu = 15$ sowie $R_i = 13 \text{ k}\Omega$ aus Abbildung 17 erhält man den Eingangswiderstand $R_e = 12 \text{ M}\Omega$ und den Ausgangswiderstand $R_a = 0,7 \text{ k}\Omega$; akzeptable Werte für eine Impedanzwandler-Eingangsschaltung.

Legt man in den Anodenkreis zusätzlich einen Widerstand $R_a = R_{K1}$ (in Abbildung 20 angedeutet), erhält man die sogenannte **Katodynschaltung**. Am Widerstand R_a tritt eine Wechselfrequenz gleicher Amplitu-

de wie am Widerstand R_{K2} auf, die jedoch um 180° zu dieser phasenverschoben ist. Anwendung findet auch diese Schaltung häufig bei der Ansteuerung von Gegentaktendstufen. Auch ihr werden wir in der praktischen Schaltungstechnik der NF-Verstärker wiederbegegnen.

Die Abbildungen 21 bis 23 zeigen praktische Schaltungsbeispiele zu einigen der besprochenen Röhregrundschaltungen.

Eine Schaltung eines Entzerrerverstärkers für magnetische Tonabnehmer ist in Abbildung 21 so zu sehen, wie sie seinerzeit von Sennheiser eingesetzt wurde und auch heute noch für Selbstbauprojekte interessant ist. Man erkennt deutlich das Prinzip einer Katodenbasisschaltung.

Einen typischen Einsatzfall der Gitterbasisschaltung sehen Sie in Abbildung 22, die einen UHF-Tuner zeigt. Wegen der hohen Frequenzen sind die Schwingkreise als mechanische Topfkreise ausgeführt und die Röhren mit ihren zugehörigen Kapazitäten elektrisch und mechanisch direkt in das Tunergehäuse integriert. Für Empfangszwecke hat solch eine Schaltung heute keine Bedeutung mehr, jedoch sind Höchstfrequenzsender großer Leistung immer noch nach ganz ähnlichem Prinzip aufgebaut.

Eine lange Zeit in der Fernsehempfängertechnik verbreitete Schaltung mit der Heptode/Triode ECH 84 ist in Abbildung 23 zu

sehen. Auch hier handelt es sich um eine Katodenbasisschaltung, die die komplette Ansteuerung (Generator/Verstärker) für die Horizontalendstufe eines Fernsehempfängers darstellt. Hier erkennt man bereits, welche komplexe Funktionsgruppen mit Röhren aufgebaut werden können.

Ein im Rahmen dieses Artikels noch nicht betrachteter Schaltungsteil ist in Abbildung 21 besonders gut zu lokalisieren: die Kondensator-/Widerstandskombination zwischen Anode des zweiten Triodensystems und Katode des ersten Systems. Es handelt sich dabei um eine Gegenkopplungsschaltung.

Ein uns bisher unbekannter Schaltungsteil ist in Abbildung 21 besonders gut zu lokalisieren, die Kondensator-/Widerstandskombination zwischen Anode des zweiten Triodensystems und Katode des ersten Systems. Es handelt sich dabei um eine Gegenkopplungsschaltung. Die Gegenkopplung ist eine der wichtigsten Schaltungsmaßnahmen im Verstärkerbau, denn auch hier sind die Kenndaten einer Schaltung wesentlich beeinflussbar und wichtige Funktionen erst realisierbar. Deshalb werden wir uns im nächsten Teil unserer Artikelserie ausführlich damit beschäftigen und unternehmen einen interessanten Exkurs durch die praktischen Anwendungen der Röhren in der HF-Technik von der Empfängervorstufe bis zur Senderendstufe. **ELV**

Bild 23: Ansteuerschaltung (Sinusgenerator) für die Horizontalendstufe eines Fernsehempfängers

