

Faszination Röhre Teil 6

Nachdem wir uns in den vorangegangenen Folgen ausführlich mit den Anwendungen von Röhren in der NF- und HF-Technik befaßt haben, wollen wir uns nun, bevor wir uns an die NF-Endverstärker wagen, stilgerecht mit dazu passender Meßtechnik befassen, die der Interessierte direkt nachbauen kann.

Messen mit Röhren

Der Gedanke an röhrenbestückte Meßtechnik läßt „altgediente“ Elektroniker wohl heute noch in Nostalgie schwelgen. Im Zeitalter der Halbleitertechnik ist kaum vorstellbar, welche Qualitätsparameter, Stabilität, Meßgenauigkeit und Lebensdauer vor allem Spitzenmeßgeräte von Rohde & Schwarz, Wandel & Goltermann, Hewlett Packard und anderer Hersteller erreichten. Die gesamte Palette der Meßtechnik wurde durch röhrenbestückte Meßgeräte abgedeckt, ob dies nun ein einfaches Röh-

renvoltmeter war, ein Signalgenerator, ein Oszilloskop oder ein hochpräzises Meß- und Kalibriergerät.

Natürlich waren bestimmte Parameter heutiger Halbleitermeßgeräte wie Kompaktheit, geringer Leistungsverbrauch, Bedienkomfort durch Einsatz von Mikrorechnern und rechnergestützte Meßwertverarbeitung nicht realisierbar.

Dennoch liegt auch heute noch eine gewisse Faszination im Bau und vor allem in der Anwendung röhrenbestückter Meßgeräte.

Im Hinblick auf die kommenden Beiträge dieser Artikelserie zum Bau von röhren-

bestückten NF-Verstärkern sollen an dieser Stelle einige Meßgeräte beschrieben werden, die einfach nachzubauen sind und z. B. für die wichtigsten Funktionsprüfungen an Röhrenverstärkern einsetzbar sind.

Natürlich kann man dafür auch moderne, halbleiterbestückte Meßmittel einsetzen, sofern man sie besitzt - der an Röhrentechnik Interessierte hat jedoch die Möglichkeit, den Titel unserer Serie, „Faszination Röhre“ stilecht nachzuvollziehen.

Was auf den ersten Blick bei der Betrachtung der hier vorgestellten Schaltungen auffällt, ist der relativ geringe Aufwand, der dem Halbleitergewohnten zu-

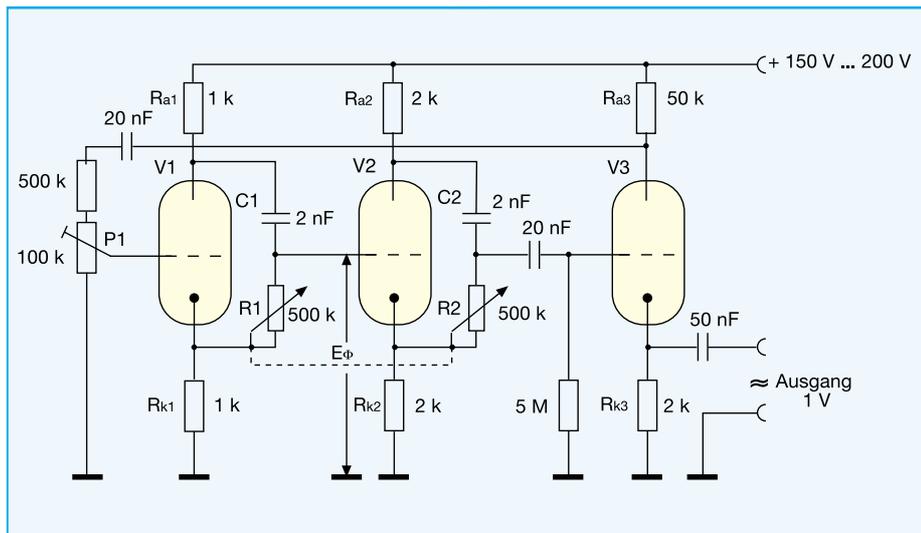


Bild 39: Im Bereich von 100 Hz bis 10 kHz durchstimmbarer RC-Generator

nächst auch entsprechende Leistungswerte suggerieren mag.

Jedoch haben wir bereits in den vergangenen Folgen unserer Serie kennengelernt, wie stabil und multifunktionell Röhrenschaltungen arbeiten können und genau dies zeichnet auch die Röhrenmeßtechnik aus.

Wer einen Verstärker, gleichgültig, ob HF- oder NF-Verstärker, überprüfen will, benötigt mindestens einen Signalgenerator und einen Signaldetektor - ein HF- oder NF-Voltmeter. Ebenso ist ein Oszilloskop nützlich, ja oft sogar unentbehrlich.

Wir wollen daher zunächst je eine Schaltung für einen einfachen NF- und HF-Generator betrachten, die leicht nachzubauen und funktionssicher sind.

Sicherheitshinweise:

Bei den im Rahmen dieser Artikelserie von ELV vorgestellten Röhrenschaltungen treten Betriebsspannungen in lebensgefährlicher Höhe (über 42 V) auf.

Aufbau und Inbetriebnahme dürfen daher nur von Fachkräften vorgenommen werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die geltenden Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind zu beachten.

Der Aufbau muß so gestaltet sein, daß ein zufälliges Berühren der betriebsspannungsführenden Teile (Leiterbahnen, Anschlüsse) nicht möglich ist. Ggf. müssen entsprechende Abdeckungen angebracht werden.

Ein durchstimmbarer NF-Generator

In Abbildung 39 ist die Schaltung für einen einfachen NF-Generator dargestellt, der für Prüfzwecke und die Grundeinstellung von NF-Verstärkern geeignet ist. Besonders vorteilhaft ist bei dieser Schaltung, daß ohne Bereichsumschaltung ein Frequenzbereich von 100 Hz bis 10.000 Hz überstrichen wird.

Die Schwingfrequenz des Generators wird durch C 1, C 2 sowie R 1 und R 2 bestimmt. Dabei werden R 1 und R 2 durch ein Tandempotentiometer mit einem möglichst guten Gleichlauf realisiert.

Alternativ kann man das Tandempotentiometer durch einen 2-Ebenen-Stufenschalter ersetzen und paarweise ausgemessene Festwiderstände einsetzen. So sind eine Reihe von Festfrequenzen auswählbar, die für die Prüfung interessant sind, z. B. 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, o. ä.

Die Schwingfrequenz kann dabei grob bestimmt werden mit:

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 \cdot C_1}}$$

Der Schwingeinsetz und die beste Kurvenform werden mit dem 100kΩ-Poten-

tiometer P 1 eingestellt. Die Einstellung der Ausgangsspannung kann leicht durch den Ersatz des Katodenwiderstands von V 3 durch ein 2kΩ-Potentiometer erfolgen.

Die Originalröhrenbestückung bestand ehemals aus 3 x RV12P2000, auch als eine der sogenannten Wehrmachtsröhren bekannt, in Triodenschaltung.

Natürlich wird man die Schaltung mit heute gebräuchlichen Trioden, z. B. 3 x EC 92, 1 1/2 x ECC 81 o. ä. aufbauen. Je nach Röhrenbestückung ist durch Variation der Anodenspannung 150 V - 200 V und Einstellung von P1 der günstigste Arbeitspunkt zu wählen.

Einfacher HF-Generator

Für Messungen und Experimente im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und ca. 15 MHz ist der HF-Generator in Abbildung 40 ausgelegt.

Die Schaltung ist sehr einfach und unkritisch im Aufbau. Die Schwingfrequenz wird durch einen Drehkondensator ($C_{max} = 550 \text{ pF}$) und die Spule L 1 bestimmt. L 2 dient der Rückkopplung, wobei die rückgekoppelte Spannung phasenrichtig über den 50pF-Kondensator auf das Gitter der als Triode geschalteten Pentode, z. B. einer EF 80, geführt wird.

In der Tabelle 5 sind für die verschiedenen Frequenzbereiche die Werte für L 1 bzw. das Übersetzungsverhältnis L 1/L 2 angegeben.

Für die Bereiche 1 bis 3 sollten die Wicklungen aus HF-Litze, für die Bereiche 4 bis 5 aus CuLS bestehen. Aus den Induktivitätswerten sind die Windungszahlen je nach verwendetem Spulenkörper

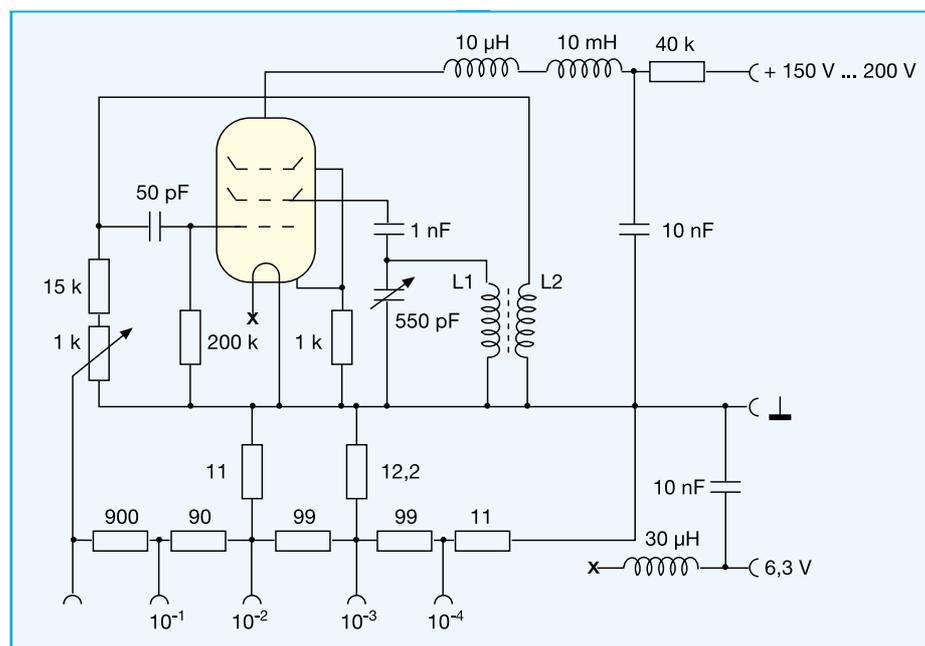


Bild 40: HF-Generator 100 kHz bis 15 MHz

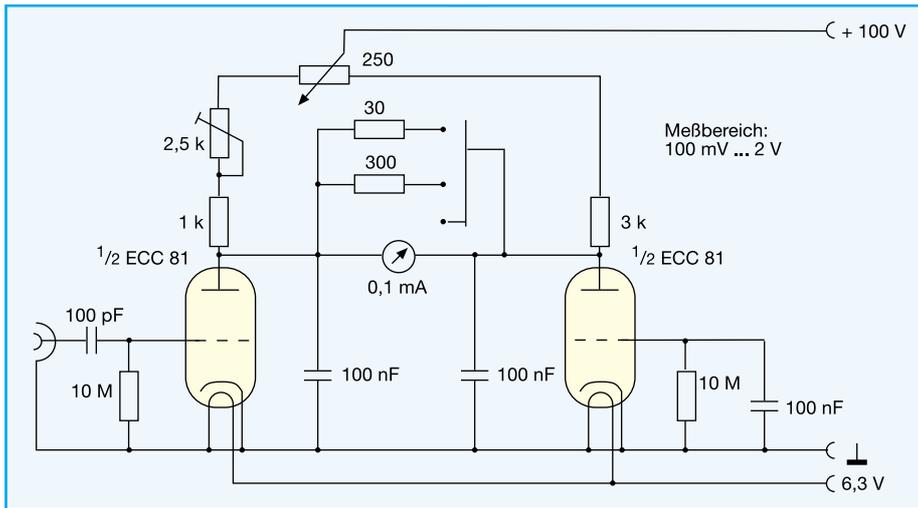


Bild 41: Audion-Voltmeter mit Kompensationsröhre

bestimmbar. Das 1kΩ-Potentiometer ermöglicht die Feineinstellung der Ausgangsspannung.

Der Spannungsteiler am Ausgang der Schaltung ermöglicht eine Grobabschwächung in den in der Schaltung genannten Größenordnungen.

Als konstruktive Besonderheit dieses Spannungsteilers ist zu beachten, daß er nur funktionsgemäß wirksam werden kann, wenn die einzelnen Teilerwiderstände gegenseitig geschirmt sind (Kammerbauweise des Teilers) und die Abnahme der HF über geschirmte HF-Buchsen, z. B. BNC und entsprechend geschirmte Kabel erfolgt. Ein ungeschirmtes Kabel würde als Antenne für die HF wirken, somit würde der Generator als (verbotener) Sender arbeiten.

Wechselspannungen mit Röhren messen - ganz einfach

Wir erinnern uns an die Röhrenempfangsschaltungen - dort lernten wir das Audion kennen. Man kann diese Schaltung sehr leicht zum Nachweis bzw. zur Messung von kleinen HF-Spannungen einsetzen.

Beim Anlegen einer HF-Spannung über eine entsprechende RC-Kombination an das Gitter erhält man eine geringe Änderung des Anodenstroms. Wird eine zweite Röhre gleichen Typs mit gleicher Beschal-

tung, aber ohne Ansteuerung durch ein HF-Signal mit der ersten Röhre zu einer Brückenschaltung vereint, in deren Brücke ein Drehspulinstrument liegt, erhalten wir eine Schaltung für ein „Audion-Voltmeter“ gemäß Abbildung 41.

Diese Schaltung weist eine ganze Reihe von Eigenschaften auf, die sie für Meßzwecke prädestinieren:

- Durch die Brückenschaltung wird der Anodenruhestrom kompensiert.
- Durch Verwendung einer Kompensationsröhre werden Drift und Alterung der Röhren sowie der Einfluß von Betriebsspannungsänderungen auf die Stabilität des Nullpunkts und der Anzeige stark verringert. Natürlich kann man sowohl die Anoden- als auch die Heizspannung mit heute zur Verfügung stehenden Halbleiterreglern mit geringem Aufwand hervorragend stabilisieren, was zu den „echten Röhrenzeiten“ nicht so leicht zu realisieren war.
- Durch Umschaltung der Parallelwiderstände zum Meßinstrument ist der Meßbereich sehr einfach wählbar.
- Die Nullpunkteinstellung erfolgt grob mit dem 2,5kΩ-Potentiometer und fein mit dem 250Ω-Potentiometer.

Die Audion-Röhrevoltmeter sind für HF-Spannungsmessungen vom mV-Bereich bis zu einigen Volt geeignet.

Aktiver HF-Tastkopf

Meist ist es erforderlich, HF-Spannungen möglichst belastungslos zu messen, um z. B. einen Oszillator nicht zu verstimmen und die Messung dazu möglichst dicht am Meßobjekt vorzunehmen.

Dazu bietet sich ein kleiner Tastkopf an, der einen Katodenverstärker mit nachfolgender Gleichrichtung und Anzeige enthält.

Wir erinnern uns, der Katodenverstärker hat ja einen sehr hohen Eingangswider-

stand und einen geringen Ausgangswiderstand - günstige Eigenschaften für den hier angestrebten Zweck. Abbildung 42 zeigt eine Schaltung, die nach dieser Philosophie entworfen ist und ob der beschriebenen Eigenschaften wohl heute noch als HF-Röhrevoltmeter Verwendung finden könnte und sicher in ähnlicher Form so in manchem Shack eines Funkamateurs stehen dürfte.

Verwendet man als Röhre eine Subminiaturröhre, z. B. EC 762 oder gar eine Miniaturbatterieröhre (D-Serie), kann die Schaltung in einem kleinen Gehäuse mit Tastspitze untergebracht werden. Man kann die Schaltung z. B. als Indikator beim Abgleich von Schwingkreisen, Bandfiltern sowie als Signalverfolger einsetzen. Wird anstelle des Strom-Meßinstruments ein Multimeter verwendet, entsteht ein echtes HF-Multimeter.

Zur Messung von NF-Spannungen im Frequenzbereich von einigen Hz bis etwa 100 kHz und im Spannungsbereich zwischen wenigen mV und mehreren hundert Volt eignen sich Röhrenschaltungen ebenfalls sehr gut.

Dazu ist es erforderlich, die zu messende Spannung entweder auf einen Spannungswert von ca. 10 V zu verstärken bzw. auf diesen Wert herunterzuteilen, um mit der grundsätzlich verwendeten Diodengleichrichterschaltung, die eine so hohe Spannung benötigt, eine lineare Anzeige zu realisieren.

Man wählt dazu ebenfalls meist eine Katodenverstärker-Eingangsstufe (Impedanzwandlung), dann folgen 2 Wechselspannungs-Verstärkerstufen mit RC-Kopplung (Spannungsverstärkung) und abschließend wiederum eine Katodenverstärkerstufe (niederohmiger Abschluß) mit Diodengleichrichtung und ein zur Meßbereichswahl umschaltbares Spannungsteilersystem. All diese Komponenten haben wir bisher schon kennengelernt.

Wieviele Röhren braucht ein Oszi?

Man wird es kaum glauben, aber außer

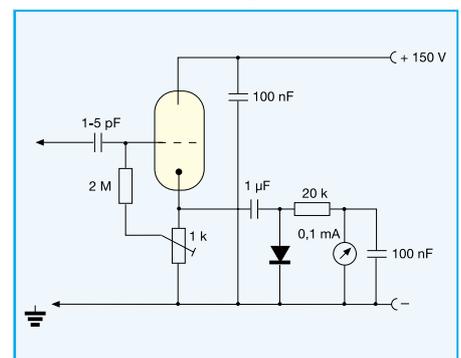


Bild 42: Aktiver Tastkopf mit Katodenverstärker mit Diodengleichrichtung für Frequenzen bis 3 MHz

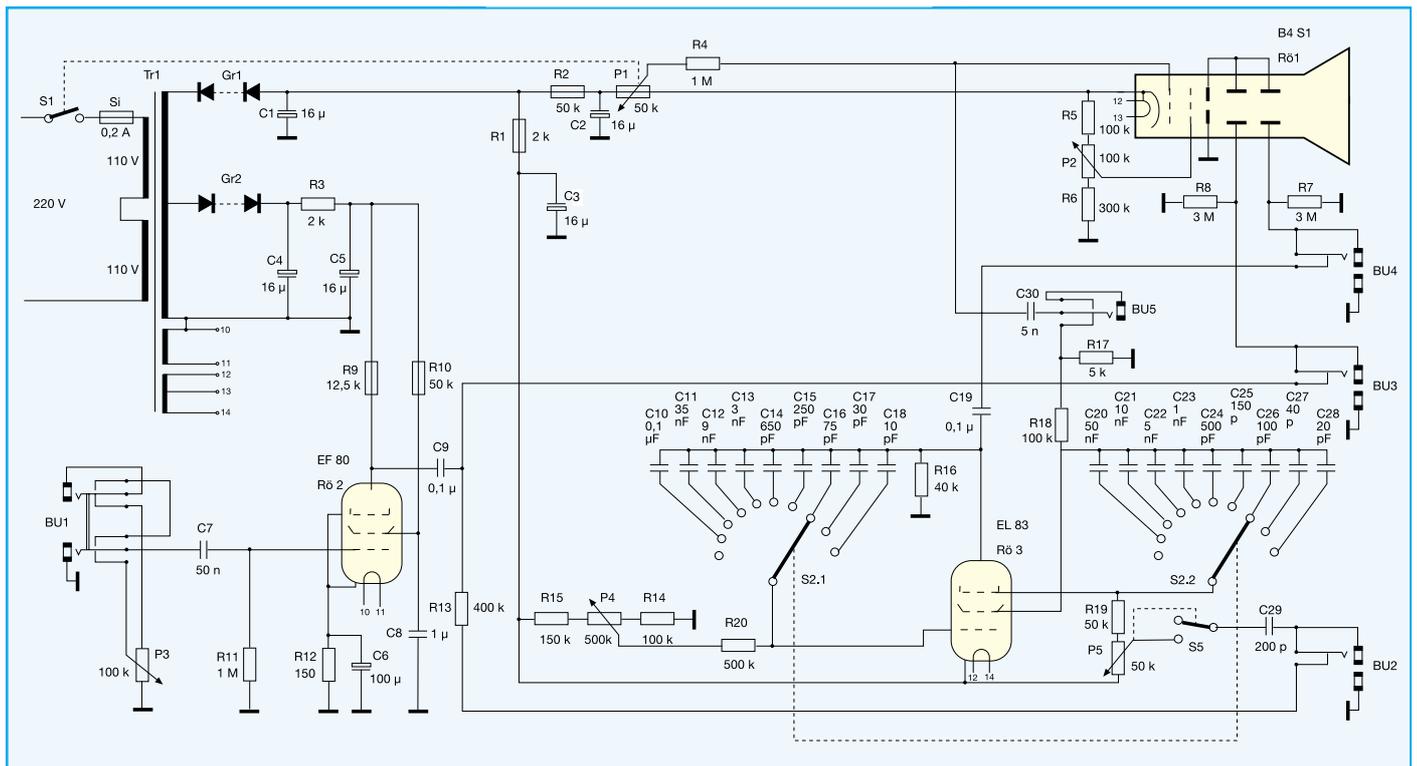


Bild 43: Gesamtschaltbild des Kleinoszilloskops. Deutlich erkennt man die Hauptbaugruppen Netzteil, Bildröhre, Meßverstärker und Kippteil.

der obligatorischen Katodenstrahlröhre zur Anzeige sind es lediglich zwei Röhren, die die aktiven Komponenten eines einfachen Mini-Oszilloskops (Abbildung 43) bilden, das dennoch beachtliche Ergebnisse erzielen kann.

Die Zeitbasis überstreicht einen Bereich von 28 Hz bis 110 kHz und die Bandbreite des Y-Verstärkers erreicht bei Einsatz einer E180F statt der EF 80 beachtliche 1,1 MHz. Die Eingangsempfindlichkeit beträgt max. 150 mV/cm.

Als Bildröhre kommt eine 4cm-Katodenstrahlröhre zum Einsatz.

Die x- und y-Platten der Bildröhre sowie die Hell- und Dunkeltastung und die Synchronisation sind über die Schaltbuchsen BU 2 bis BU 5 von außen zugänglich. Somit sind z. B externe Synchronisierung und andere Funktionen möglich.

Einzelheiten

Eine ausführliche Beschreibung und tiefere Dimensionierungshinweise für das Mini-Oszilloskop würden den Umfang dieses Artikels sprengen, wir beschränken uns an dieser Stelle auf eine kurze Schaltungsbeschreibung. Sie werden sehen, daß viele Funktionen schon in vorangegangenen Artikeln der Serie ausführlich besprochen wurden.

1. Netzteil

Um die Meß- und Zeitplatten direkt zugänglich zu machen, was bei der Anwendung eines Oszilloskops sehr vorteilhaft ist, wurde die Netzteilschaltung gewählt,

wie sie in Abbildung 43 dargestellt ist. Es kommt eine einseitig geerdete Transformatorwicklung zum Einsatz, wobei an der Gesamtwechselspannung von 450 V ein Einweggleichrichter (Gr 1) liegt, der eine negative Spannung gegen Masse erzeugt. Dadurch liegen die Anoden der Katodenstrahlröhre und die Meß-/Zeitplatten auf Erdpotential. An die Anzapfung der Trafowicklung von 250 V wird ein Einweggleichrichter (Gr 2) zur Erzeugung einer positiven Spannung gegen Masse geschaltet, so daß der Verstärker wie üblich geerdet werden kann. Das Kippteil wird auch aus der höheren Bildröhrenspannung gespeist.

Die benötigten Teilspannungen der Katodenstrahlröhre erzeugen Spannungsteiler (R 2/P 1/R 4; R 5/P 2/R 6), die auch die Regler für die Gittervorspannung (P 1) und für die Fokussierung (Schärfe, P 2) enthalten.

2. Kippteil

Für die Realisierung der Horizontalablenkung wurde der Transitron-Miller-Integrator ausgewählt.

Die mit der EL 83 bestückte Schaltung ermöglicht bei korrektem Aufbau Kippfrequenzen im Bereich von einigen Hz bis etwa 100 kHz mit verhältnismäßig gutem linearen Spannungsanstieg und guter Synchronisierbarkeit.

Dazu werden mindestens 0,5 V Eingangsspannung benötigt, die der Meßverstärker jedoch ohnehin aufgrund der für die Abbildung eines erkennbaren Oszillo-

gramms notwendigen mindestens 1 V an den Meßplatten der Katodenstrahlröhre bereitstellen muß.

Die Frequenzgrobeinstellung erfolgt durch Umschalten der Kapazitäten C10 bis C18 und C20 bis C28, während mit P4 die Feineinstellung vorzunehmen ist. Mit den angegebenen Kapazitätswerten läßt sich eine gute Überlappung der Grobstufen erreichen, allerdings muß in den höheren Bereichen die Schaltkapazität gering gehalten werden (hochwertigen Stufenschalter einsetzen).

3. Meßverstärker

Die Schaltung des Meßverstärkers gewährleistet bei geringstem Aufwand gute Verstärkung und eine ausreichende Bandbreite.

Bei Verwendung der E180F in RC-Schaltung mit $R_k = 150 \Omega$, $R_a = 6 \text{ k}\Omega$ und $R_{g2} = 25 \text{ k}\Omega$ erhält man eine Verstärkung von 70 und eine obere Grenzfrequenz von 1,1 MHz bei -3 dB (ca. 30%) Verstärkungsabfall. Mit der EF 80 in der vorliegenden Dimensionierung erreicht man dagegen nur etwa 600 kHz Bandbreite bei gleicher Verstärkung.

Die Verstärkungseinstellung erfolgt mit P 3. Die Schaltbuchse BU 1 ermöglicht das Abschalten von P 3 und so z. B. den Anschluß eines Tastkopfes mit eigenem Verstärker und Verstärkungseinstellung.

Im folgenden Teil dieser Artikelserie befassen wir uns mit der Schaltungstechnik des ELV-High-End-HiFi-Stereo-Röhrenverstärkers.