



VALVO GMBH HAMBURG 1

VALVO BERICHTE

BAND I HEFT 5 SEITE 127-172 APRIL 1955

LANGLEBENSDAUER-RÖHREN ALS ZUVERLÄSSIGES BAUELEMENT FÜR NACHRICHTENTECHNIK UND INDUSTRIE

bearbeitet

von W. Sparbier

Das gleiche Thema lag einem Fachvortrag des Verfassers auf der VDE-Tagung 1954 zugrunde und wurde auch in einem Aufsatz von K. Rodenhuis und W. Sparbier behandelt, der in der Elektronischen Rundschau 1954, Heft 1, Seite 22 bis 25, und Heft 2, Seite 72 bis 74, erschienen ist.

Ein großer Teil der Unterlagen zu den in diesem Heft angeführten Anwendungsbeispielen wurde von den Firmen Felten und Guillaume Fernmeldeanlagen GmbH, Nürnberg, und Pintsch Elektro GmbH, Konstanz, freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

I N H A L T

I. Einleitung	129
II. P-Faktor und Lebensdauer	129
III. Die VALVO Langlebensdauer-Röhren und ihre Anwendung	132
1) Anwendung für Trägerfrequenz-Übertragung auf Kabeln und in Richtfunkssystemen	134
Beispiele aus der Trägerfrequenztechnik:	
V 60 System mit Vorkanal-Umsetzung	140, 141
Leitungsverstärker V 60 und V 120, Sendeverstärker V 60	142—144
Trägerversorgung im V 60 Vorkanalsystem	144—147
Beispiele für Richtfunk- und Kabelverstärker:	
Richtfunk-Einrichtung für 60 Sprechkanäle	148—150
Fernseh-Kabelverstärker 21 ± 6 MHz	151
Relaisstation einer 7 cm Richtfunkverbindung	152, 153
2) Industrielle Anwendung	137
Beispiele für industrielle Anwendung:	
Steuerverstärker für eine Motorsteuerung	154, 155
Lichtelektrische Zählleinrichtung	155
3) Anwendung für Zähl- und Rechengерäte	138
Beispiel einer Zähl-schaltung:	
Dekadische Zählstufe mit Zweifach-Trioden	156, 157
4) Anwendung in der Meßtechnik	139
Beispiele aus der Meßtechnik:	
Horizontal-Ablenkschaltung mit Zeitmarkengeber für Katodenstrahl- Oszillografen	158—159
Verstärker zur Untersuchung von Nervenspannungen und Herzaktions- strömen	160
IV. Ausschnitte aus Konstruktion und Fertigung der VALVO Langlebensdauer-Röhren mit Hinweisen auf ihre Betriebseigenschaften	161
S/C-Verhältnis	161
Spanngitter	161
Mechanische Festigkeit der Systeme	161
Schweißstellen	162
Sockelstifte	163
Anschlußfolge	163
Röhrenfehler	163
Sauberkeit in der Fertigung	163
Staubfreiheit	169
Auspumpen	169
Lehren und Meßgeräte	169
Kontrolle in der Fertigung	169
Katode und Temperatur	169
Isolation	170
Gitteremission	170
Glasspannungen	171
Auswahl der Arbeitskräfte	171
Alterung und Prüfung	171
Bilder aus der Fertigung	164—168
V. Schlußbemerkung	172

I. Einleitung

Bekanntlich gibt es für Verstärkerröhren eine ganze Reihe von Anwendungsgebieten, wo die Zuverlässigkeit normaler Empfängerröhren nicht den gestellten Anforderungen entspricht. Für diese Gebiete sind daher Verstärkerröhren entwickelt worden, bei denen die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer gegenüber normalen Empfängerröhren um eine Größenordnung oder mehr verbessert worden sind. Sie werden Langlebensdauer-

Röhren genannt. Die Hersteller geben für diese Röhren eine Lebensdauer-Garantie von 10 000 Stunden, gemittelt über 100 Röhren.

Es soll hier versucht werden, einen Eindruck von der heute erreichten Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit solcher Langlebensdauer-Röhren zu geben und einige der vielseitigen Probleme zu erläutern, die mit der Anwendung und Herstellung dieser Röhren zusammenhängen.

II. P-Faktor und Lebensdauer

Die Zuverlässigkeit eines Röhrentyps kann man durch den Röhrenausfall in ‰ pro 1000 Stunden, den sogenannten P -Faktor kennzeichnen. In der Abb. 1 ist der grundsätzliche Verlauf einer Lebenskurve für ein Röhrenkollektiv oder, wie man in der Röhrentechnik allgemein sagt, für eine Röhrenpartie, dargestellt. In dieser Kurve ist der Prozentsatz der nach einer bestimmten Zeit noch in Betrieb befindlichen Röhren über der Zeit aufgetragen. Der Maßstab ist für den Prozentsatz p logarithmisch und für die Zeit t linear. Der Abfall dieser Kurve links vom Knick wird durch den P -Faktor bestimmt. Durch den Knick wird das Ende der praktischen Lebensdauer bzw. ein schnelles Anwachsen des P -Faktors gekennzeichnet. Man kann sagen, daß der Kurvenverlauf während der Lebensdauer im wesentlichen durch statistische und plötzlich auftretende Ausfälle infolge von Fertigungsfehlern bestimmt wird, während der schnelle Abfall der Kurve im gestrichelten Teil am Ende der Lebensdauer hauptsächlich durch physikalische Ursachen (bzw. durch Erschöpfung) bedingt ist, die sich allmählich bemerkbar machen, und die dazu führen, daß die elektrischen Daten der Röhren Werte annehmen, bei denen keine zufriedenstellende Röhrenfunktion mehr möglich ist.

Beobachtungen über lange Zeit haben ergeben, daß sehr viele Röhrentypen in ihrer Lebenskurve einen Bereich mit konstantem P -Faktor aufweisen.

Das heißt, daß die Lebenskurve in diesem Bereich einem Exponentialgesetz folgt

$$p = p_0 e^{-Pt}$$

wobei p_0 der Prozentsatz zu Beginn des exponentiellen Bereiches ist. Für die Zeit $t = 1/P$ wäre der

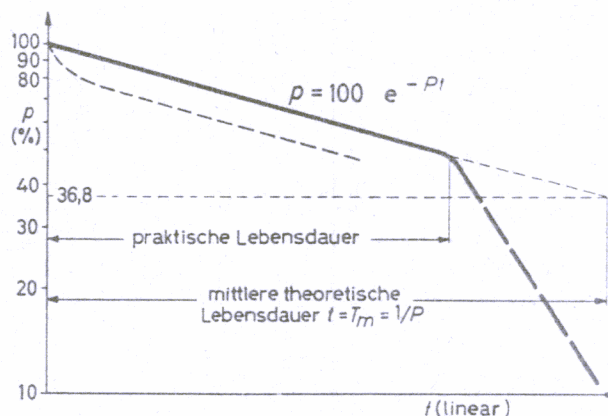


Abb. 1. Grundsätzlicher Verlauf der Lebenskurve eines Röhrentyps bzw. eines Röhrenkollektivs.

Es ist der Prozentsatz p der nach einer Zeit t noch im Betrieb befindlichen Röhren aufgetragen (p logarithmisch, t linear). Ein Verlauf entsprechend der ausgezogenen Kurve links vom Knick wird angestrebt und ist bei einigen Typen schon erreicht. Es kommen aber auch noch Abweichungen von diesem Verlauf vor, wie z. B. die gestrichelt angegebene Kurve mit anfänglich stärkerem Abfall. Die garantierte Lebensdauer ist in dieser Abbildung nicht eingetragen, da für diese grundsätzliche Darstellung keine quantitative Zeitskala angegeben ist. Die praktische Lebensdauer ist im allgemeinen erheblich größer als die garantierte Lebensdauer.

Prozentsatz der noch im Betrieb befindlichen Röhren auf 36,8% von p_0 abgesunken. Diese Zeit würde der mittleren Lebensdauer für den Fall entsprechen, daß die Lebenskurve sich mit konstantem P bis zum Verbrauch aller Röhren fortsetzen würde. Sie ist daher als mittlere theoretische Lebensdauer bezeichnet. Es hat sich gezeigt, daß Röhrentypen mit guter Lebensdauer bzw. Röhren, deren Qualität man bei der Fertigung gut in der Hand hat, vom Beginn der Lebensdauer an einen konstanten P -Faktor haben. Bei einigen Röhren entspricht die praktische Lebenskurve diesem Verlauf schon sehr gut, bei anderen Röhren kommen Abweichungen besonders zu Beginn der Lebensdauer vor, wie in der Abb. 1 beispielsweise durch die dünn gestrichelte Kurve dargestellt ist. Man strebt aber grundsätzlich den exponentiellen Verlauf an, denn Abweichungen davon sind meist ein Zeichen für noch nicht vollständige Beherrschung der Fertigung.

geraden Teil der Kurve nur 3‰ pro 1000 Stunden. In den ersten 2000 Stunden ist er etwas größer. Die Kurve B zeigt das Verhalten der gleichen Röhrenpartie wie in Kurve A zusammen mit 400 weiteren Röhren in Verstärkern, bei denen, wie sonst üblich, nur Fehler, die zum Auswechseln der Röhren führten, registriert sind. Für die Gesamtpartie von 800 Röhren liegt der P -Faktor dann unter 2‰ pro 1000 Stunden, und der Anstieg des P -Faktors zu Beginn der Lebensdauer ist schon sehr viel kleiner als bei Kurve A. Die Kurve C schließlich gilt für die 400 Röhren in Verstärkern mit normaler Kontrolle. Der P -Faktor beträgt weniger als 1‰ pro 1000 Stunden.

Man sieht daraus, daß bei der Angabe des P -Faktors unter Umständen auch eine Angabe über die Genauigkeit der Röhrenüberwachung erforderlich ist.

Von den drei Kurven in der letzten Abbildung entspricht die Kurve C am besten den in der Praxis

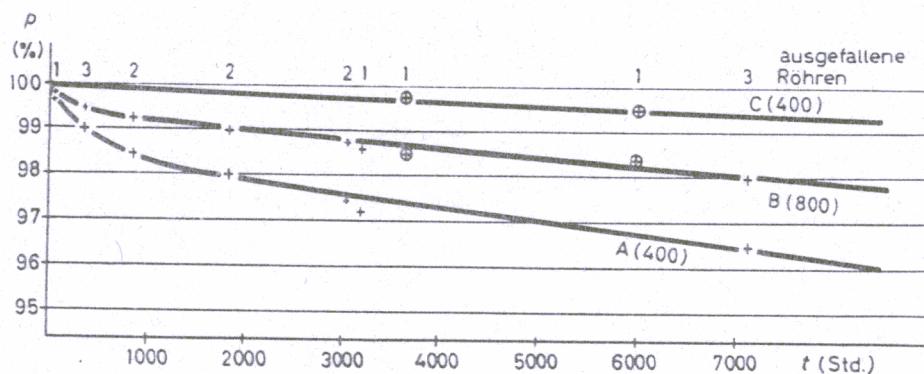


Abb. 2. Praktische Lebenskurven der 18042

- A) 400 Röhren in Signal-Empfängern, bei denen auch kurzzeitige hochohmige Schlüsse zwischen den Elektroden registriert wurden.
 - B) 800 Röhren, davon 400 in Signal-Empfängern wie unter A), und 400 in Verstärkern, bei denen nur Fehler, die zum Röhrenaustausch führten, registriert wurden.
 - C) 400 Röhren in Verstärkern, bei denen nur Fehler, die zum Röhrenaustausch führten, registriert wurden.
- Röhrenaussfälle in A und B sind durch + gekennzeichnet, Röhrenaussfälle in C und B durch ⊕. Oben im Diagramm ist die Anzahl der jeweils ausgefallenen Röhren angegeben.

Die einzelnen Röhrentypen haben ziemlich unterschiedliche P -Faktoren. Bei normalen Rundfunkröhren kann man etwa 30‰ pro 1000 Stunden zugrunde legen, dagegen erhält man heute für Langlebensdauer-Röhren wesentlich bessere Werte. Die Abb. 2 zeigt z. B. in der Praxis gemessene Lebenskurven von Röhren, die in zwei verschiedenen Geräten im Postbetrieb eingesetzt sind. Die Kurve A zeigt das Verhalten von 400 Stück 18042 in Signal-Empfängern. Bei dieser Kurve sind nicht nur Röhrenfehler eingetragen, die zur Auswechslung der Röhren führten, sondern es sind auch kurzzeitige hochohmige Schlüsse, die mit einem sehr empfindlichen Relais festgestellt wurden, registriert. Trotz dieser ungewöhnlich kritischen Prüfung beträgt der P -Faktor im

meist vorliegenden Verhältnissen. Ein P -Faktor von 1‰ pro 1000 Stunden, wie er in dieser Kurve erreicht ist, und wie er für alle Langlebensdauer-Röhren angestrebt wird, bedeutet, daß man im Mittel mit weniger als 1% Ausfall in 10000 Stunden, das sind 14 Monate Dauerbetrieb, zu rechnen hat. Durch Betriebsmessungen hat man außerdem noch die Möglichkeit, etwa die Hälfte aller Ausfälle, die durch allmählich auftretende Fehler verursacht werden, so rechtzeitig zu erkennen, daß man eine Auswechslung der Röhren ohne Betriebs-Unterbrechung vornehmen kann.

Die Lebensdauer-Garantie für 10000 Betriebsstunden besagt nicht, daß alle Röhren 10000 Stunden betriebsfähig bleiben – der größte Teil wird vielmehr erheblich länger im Betrieb sein – son-

dern die Lebensdauer-Garantie besagt, daß für 10000 Stunden der P -Faktor praktisch konstant bleiben und sich in der vorher genannten Größenordnung halten wird. Diese wichtige Garantie gibt die Möglichkeit, den Röhrenausfall einzuplanen und ist ein Ausdruck für die Sicherheit, die diese Röhren gegen Überraschungen in bezug auf den Röhrenausfall bieten. Aus dem exponentiellen Verlauf der Lebenskurve erkennt man, daß der Versuch zwecklos ist, den Röhrenausfall durch regelmäßiges Auswechseln der gesamten Röhrenbestückung in bestimmten, kurzen Zeitabständen herabzusetzen. Die neu eingesetzte Röhrenpartie hat die gleiche Ausfallquote wie die alte, wenn man die Auswechslung während der Lebensdauer der alten Partie vornimmt. Die Ausfallquote ist im geraden Teil der Lebenskurve unabhängig von der vorausgegangenen Betriebszeit. Den richtigen Zeitpunkt für einen vollständigen Röhrenwechsel

wenig Messungen vor, und ebenso hat der angegebene Verlauf der Lebenskurve rechts vom Knick noch mehr oder weniger hypothetischen Charakter.

Die Fertigung der Langlebensdauer-Röhren schließt sich zwar in ihren Grundzügen an die Herstellungsverfahren der Rundfunkröhren-Technik an; die geforderte lange Lebensdauer und erhöhte Zuverlässigkeit führen jedoch zu wesentlichen Unterschieden in den einzelnen Fertigungsgängen und in der Konstruktion, wozu später noch einige Beispiele erläutert werden. Es ist an sich nicht ausgeschlossen, daß einzelne Partien von Rundfunkröhren in der Anwendung ebenso gute Ergebnisse bringen wie die Langlebensdauer-Röhren, jedoch ist es keinesfalls möglich, eine Garantie dafür zu geben.

Wie sich die Größe des P -Faktors in der Praxis auswirkt, erkennt man am besten, wenn man den

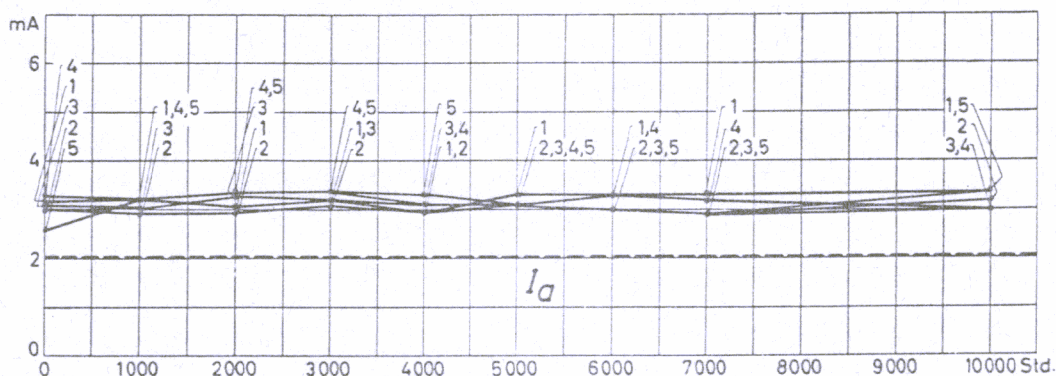


Abb. 3. Anodenstrom der Langlebensdauer-Pentode E 80 F während der Lebensdauer, gemessen an fünf Röhren aus der normalen Fertigung. Die gestrichelte Linie gibt den Anodenstromwert an, durch den das Ende der Lebensdauer gekennzeichnet ist.

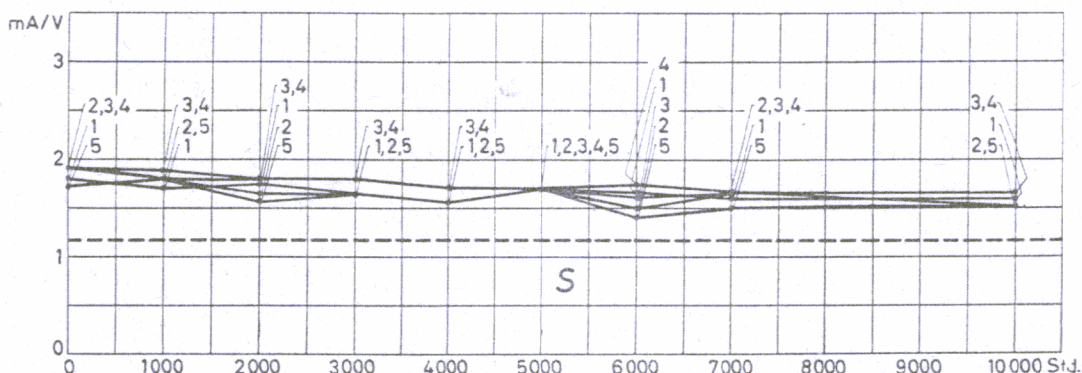


Abb. 4. Steilheit der Langlebensdauer-Pentode E 80 F während der Lebensdauer, gemessen an fünf Röhren aus der normalen Fertigung. Die gestrichelte Linie gibt den Steilheitswert an, durch den das Ende der Lebensdauer gekennzeichnet ist.

bestimmt man vielmehr durch Beobachten des P -Faktors. Steigt die Ausfallquote an, so ist das Ende der praktischen Lebensdauer erreicht, und eine Auswechslung der Röhrenpartie ist geboten. Meist ist die praktische Lebensdauer ganz erheblich größer als die garantierte. Im einzelnen liegen über die praktisch erreichte Lebensdauer zur Zeit noch

Röhrenausfall in Anlagen mit größeren Röhrenzahlen abschätzt. Eine Trägerfrequenz-Anlage würde z. B. für eine Entfernung von 1000 km etwa 9400 Röhren in den Leitungsverstärkern und in den beiden Endstellen brauchen, wenn das TF-Kabel dazwischen auf allen 24 Doppeladern mit V 60 Vorkanalssystemen beschaltet wäre. Die 9400 Röh-

ren setzen sich aus etwa 5200 Stück in den Leitungsverstärkern und etwa 4200 Stück in beiden Endstellen zusammen (weitere Einzelheiten siehe S. 14). Legt man für eine solche Anlage den vorher für Rundfunkröhren genannten *P*-Faktor von 30 ‰ pro 1000 Stunden zugrunde, so käme man auf einen täglichen Röhrenausfall von 7 Stück. Mit einem *P*-Faktor von 1,5 ‰ pro 1000 Stunden, mit dem man bei Langlebensdauer-Röhren rechnet, braucht man im Mittel nur jeden dritten Tag eine Röhre auszuwechseln.

Ganz abgesehen von diesen Zahlenverhältnissen scheidet eine Bestückung so großer Anlagen mit normalen Empfängerröhren schon deshalb aus, weil bei diesen Röhren das Ende der Lebensdauer mit einem entsprechenden Anstieg des *P*-Faktors schon nach einer für diesen Betrieb viel zu kurzen Zeit eintreten kann.

Das Ende der Lebensdauer einer einzelnen Röhre im Sinne der Lebensdauer-Garantie wird durch das Unterschreiten von Grenzdaten definiert, die für jeden Typ festgelegt sind; z. B. liegen die so definierten Grenzen für Anodenstrom und Steilheit der Langlebensdauer-Röhren am Ende der

Lebensdauer bei etwa 70% des Nennwertes. In die Lebensdauer-Garantie ist eingeschlossen, daß diese Grenzwerte bei Einhaltung der Nennbelastung erst nach Ablauf der garantierten Lebensdauer unterschritten werden. Natürlich können die Röhren aber auch bei niedrigeren Kennwerten noch weiter betrieben werden. Da die Angabe verbindlicher Lebensdauerwerte mit gewissen Schwierigkeiten verbunden ist, die schon dadurch gegeben sind, daß große Stückzahlen über sehr lange Zeiten zu kontrollieren sind – 10 000 Stunden sind nun einmal erst nach 14 Monaten abgelaufen – muß man sich auf Angaben bei Nennlast beschränken.

In der Abb. 3 und 4 sind als Beispiel für die Veränderung der Kenndaten während der Lebensdauer Anodenstrom und Steilheit von fünf Röhren E 80 F über 10 000 Stunden verfolgt. Man erkennt, daß nach 10 000 Stunden noch alle fünf Röhren in ihren Kenndaten höher liegen als die Grenzwerte, die das Ende der Lebensdauer im Sinne der Garantie-Bedingungen definieren (gestrichelte Linien). Es handelt sich in diesen Abbildungen um Röhren aus der normalen Fertigung und nicht etwa um besonders ausgesuchte Stücke.

III. Die VALVO Langlebensdauer-Röhren und ihre Anwendung

Für die Langlebensdauer-Röhren werden neben der hohen Zuverlässigkeit fast immer auch bestimmte, für den jeweiligen Verwendungszweck charakteristische elektrische Daten und Betriebs-Eigenschaften gefordert. In der Nachrichtentechnik sind das z. B. gute Verstärker-Eigenschaften, speziell hervorragende Breitbandverstärker-Eigen-

schaften, und im industriellen Einsatz werden vielfach hohe Stoß- und Vibrationsfestigkeit verlangt. Die für Rechenmaschinen bestimmten Röhren sollen dagegen auch bei Betrieb ohne Anodenstrom eine lange Lebensdauer erreichen und müssen enge Kennlinien-Toleranzen im Anodenstrom-Einsatzpunkt und bei Vorspannung 0 V haben.

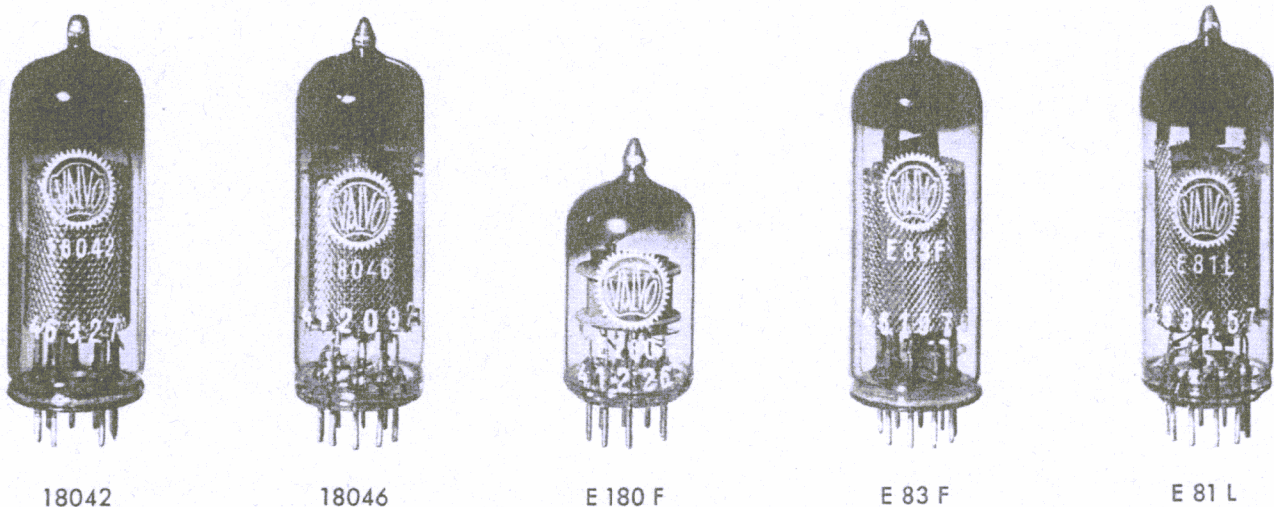


Abb. 5.

Es gibt dementsprechend drei Gruppen von Langlebensdauer-Röhren, die in der folgenden Tabelle mit ihren wichtigsten Anwendungsbereichen und Eigenschaften zusammengestellt sind. Dabei sind für jede Gruppe einige typische Röhren aus dem VALVO Programm angegeben, die den weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt werden sollen.

Langlebensdauer-Typen zu gleichen technischen Problemstellungen führen, ergeben sich dabei aus den grundsätzlichen Betrachtungen.

Alle in der Tabelle aufgeführten Röhren sind in Noval- bzw. Miniatur-Technik ausgeführt (siehe Abb. 5 und 6). Diese Technik, die bei den modernen Empfängerröhren heute fast ausschließlich an-

TABELLE I

Trägerfrequenz- technik Meßtechnik	Industrielle Anwendung Meßtechnik NF- und TF-Technik	Zähl- und Rechengereäte Meßtechnik
18042 18046 E 83 F E 81 L	E 80 CC E 80 F E 80 L	E 90 CC E 92 CC E 91 H
E 180 F		
Hohe Zuverlässigkeit Lange Lebensdauer Besonders gute Breit- bandverstärker- Eigenschaften Enge Toleranzen	Hohe Zuverlässigkeit Lange Lebensdauer Hohe Stoß- und Vibra- tionsfestigkeit Enge Toleranzen	Hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer auch bei Betrieb ohne Anodenstrom. Enge Tole- ranzen in bestimmten Punkten der Charakteristik

Eine Beschränkung auf bestimmte Röhrentypen ist in einer Übersicht über Anwendungs- und Konstruktionsprobleme, wie sie hier gegeben werden soll, nicht zu vermeiden, weil unter Umständen individuelle Röhreneigenschaften bestimmend für die zur Besprechung herangezogenen Beispiele sein können. Verallgemeinerungen, die auch für andere

gewendet wird, setzt sich auch bei den Langlebensdauer-Röhren immer mehr durch. Eine Angleichung an die Empfängerröhren-Herstellung bietet die Möglichkeit, die Vorteile dieses modernen Massenfabrikations-Verfahrens in einem gewissen Ausmaß auch bei den Langlebensdauer-Röhren zur Geltung zu bringen. Außerdem kommen die

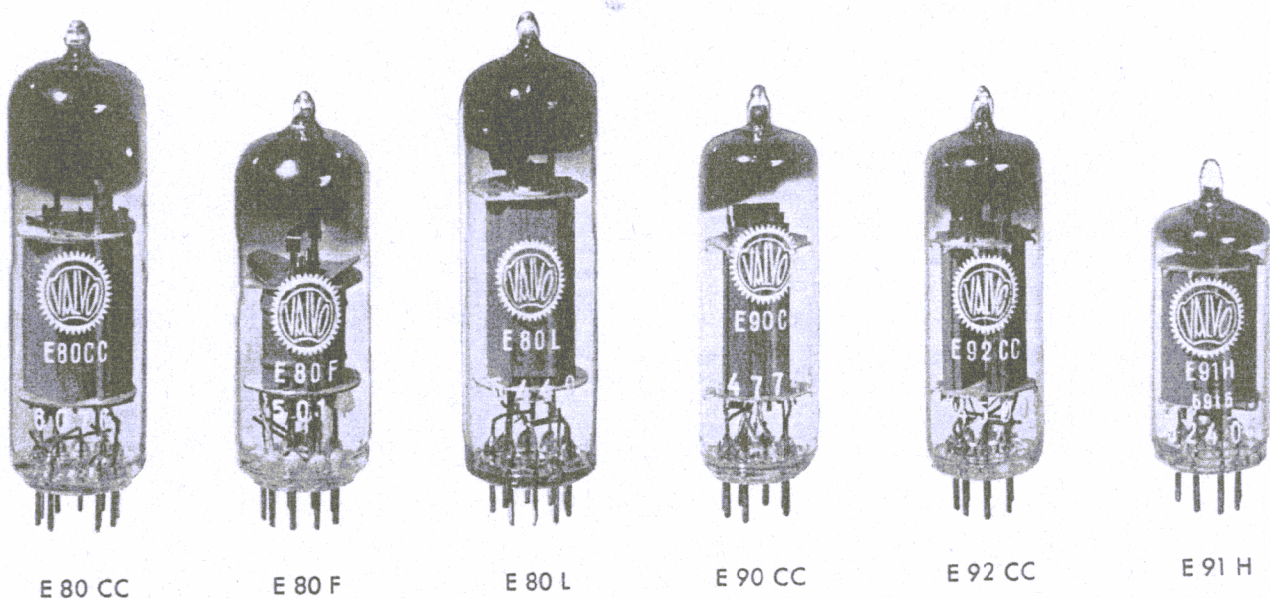


Abb. 6.

kleinen Abmessungen der Noval- und Miniatur-Röhren den an Langlebensdauer-Röhren gestellten Anforderungen besonders entgegen, weil dadurch der Platzbedarf der Röhren gering wird. Nicht zuletzt sind kleine Röhren von vornherein mechanisch stabiler als größere Konstruktionen, und die moderne Noval- bzw. Miniatur-Konstruktion ist auch die billigste, zur Zeit vorhandene.

III. 1) Anwendung für Trägerfrequenz-Übertragung auf Kabeln und in Richtfunkssystemen

Die Röhren in der ersten Gruppe von Tabelle I sind als Breitbandverstärker-Röhren hauptsächlich für die Verwendung in Trägerfrequenzsystemen bestimmt. Für den Einsatz in entsprechenden Anlagen der Post sind die Eigenschaften der 18042 und 18046 in Pflichtenheften festgelegt.

Die 18046 wird für Trägerfrequenz-Übertragungen auf symmetrischen Kabeln bis etwa 500 kHz verwendet. Sie ist z. B. als Universalröhre im Vorkanal V60 System eingesetzt (siehe S. 140—141, Abb. 9 und 10). Sie kann sowohl für NF- wie für TF-Zwecke verwendet werden und eignet sich ebenso für Signal-Übertragung und Meßzwecke.

Ein charakteristisches Beispiel für die vielseitigen elektrischen Anforderungen, die in der Trägerfrequenztechnik an die Röhren gestellt werden, ist der Leitungsverstärker des V60 TF-Systems für symmetrische Kabel (siehe Abb. 11, S. 142). Dieser Verstärker, der in Abständen von im Mittel 18,8 km in die Doppeladern des Kabels eingeschaltet ist, muß für ein Band von 12 bis 252 kHz die frequenzabhängige Dämpfung des vorhergehenden Kabelabschnittes ausgleichen. Dabei werden geringer Stromverbrauch, niedriger Störpegel durch Brumm und Rauschen sowie geringe nichtlineare Verzerrungen und Unabhängigkeit von Schwankungen in der Versorgungsspannung oder von Änderungen der Röhrendaten verlangt. Die letzten beiden Forderungen sind nur in Schaltungen mit starker Gegenkopplung zu erfüllen, die man wiederum nur bei einer ausreichenden Verstärkungsreserve anbringen kann. Dabei ist die Linearitätsforderung auch mit Rücksicht auf das Nebensprechen von Wichtigkeit, weil Nichtlinearität in der Verstärkung zu gegenseitiger Modulation zwischen den einzelnen Kanälen des Übertragungsbereiches führt.

Die mit einer Verstärkerröhre erzielbare Breitbandverstärkung wird durch das Verhältnis Steilheit zu Summe der Eingangs- und Ausgangskapazitäten $S/(C_e + C_a)$ oder S/C gekennzeichnet. Dieses Verhältnis ist in verschiedenen Breitbandver-

stärker-Schaltungen für das maximal erreichbare Produkt $g \cdot B$ aus Verstärkung und Bandbreite maßgebend. Man gibt auch den Gütefaktor $S/2\pi C$ in MHz an, durch den die Grenze für den Verstärkungsfaktor 1 gegeben ist, wenn als Anodenimpedanz allein die Summe der Röhrenkapazitäten wirksam ist. In einem Resonanzverstärker wird durch den Gütefaktor die Bandbreite beim Verstärkungsfaktor 1 gekennzeichnet. Für die 18046 gilt

$$\frac{S}{C} = 0,61 \frac{\text{mA/V}}{\text{pF}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{S}{2\pi C} = 97 \text{ MHz}$$

gemessen mit kalten Kapazitäten. Bei warmer Röhre wird C_g um die Raumladungskapazität erhöht (man kann für den Kapazitätzuwachs durch die Raumladung überschlägig ein Drittel der Kaltkapazität C_g ansetzen). In der Schaltung wirken sich außerdem die Schaltkapazitäten auf das tatsächlich wirksame S/C -Verhältnis aus. Mit dem angegebenen S/C -Wert und einer frequenzabhängigen Gegenkopplung wird es möglich, den V60 Leitungsverstärker mit nur zwei 18046 Stufen auszuliegen. Die 18046 arbeitet dann einmal als Vorverstärker- und einmal als Endverstärkerröhre.

Bei Röhren mit geringerem S/C -Verhältnis muß man zu einem dreistufigen Verstärker übergehen, wodurch sich die Zahl der Röhren in einem TF-System beträchtlich erhöhen kann. Für das auf S. 151—152 u. S. 140—141 angegebene System würde sich z. B. eine Erhöhung um 2600 Röhren ergeben.

Ein Leitungsverstärker für das neue V120 System kommt wegen der größeren Bandbreite allerdings nicht mehr mit zwei Röhren aus, sondern braucht drei Röhren 18046 (siehe S. 143, Abb. 12). Das gleiche gilt für den Sendeverstärker im V60 System, der das gesamte Band gleichmäßig verstärken muß (Abb. 13, S. 144). Auch für die Trägerversorgung des V60 Vorkanal-systems wird allein die 18046 verwendet. Erläuterungen dazu sind auf den Seiten 144—147 zu finden, wobei der in Abb. 17 angegebene Multivibrator ein Beispiel für die Ausnutzung der getrennten Bremsgitter-Herausführung bei der 18046 ist. Schirmgitter und Bremsgitter arbeiten hier als Elektroden eines Transistron-Generators. Das Steuergitter dient dabei zur Synchronisation.

Für alle Röhrenstufen in TF-Systemen ist selbstverständlich ein möglichst geringer Stromverbrauch erwünscht, um Kosten und Raum für Stromversorgungs-Aggregate und Hilfsgeräte zu sparen und den Verbrauch von Netzenergie möglichst niedrig zu halten. Die Leistungsfähigkeit im Verhältnis zum Stromverbrauch wird durch die Werte S/I_a (Steilheit zu Anodenstrom) und I_a/N_f (Anodenstrom zu Heizleistung) gekennzeichnet. Diese

Werte sind für die 18046 und die übrigen Verstärker-Pentoden in Tabelle II zusammengestellt. Niedrige Werte für die Heizleistung und für das Verhältnis S/I_a sind auch die Voraussetzung für das Zusammenarbeiten von vielen Röhren in Geräten mit engem Aufbau, weil sonst die Erwärmung im Gerät zu groß werden könnte. Eine weitere Voraussetzung für die Verwendung von Röhren in eng aufgebauten Nachrichtengeräten ist auch eine gute Abschirmung der Systeme; die Röhren der Gruppe 1 in der Tabelle I sind deswegen mit eingebauten Abschirmkäfigen versehen.

Die E 81 L ist der 18046 in der Anwendung praktisch gleichwertig. Sie ist jedoch für die Normalheizung 6,3 V bestimmt.

Für die Übertragung größerer Kanalzahlen über ein Leiterpaar ist die 18042 entwickelt worden. Sie hat ein höheres S/C -Verhältnis als die 18046 (siehe Tabelle II) und wird bis etwa 4 MHz in Koaxialkabel-Verstärkern verwendet. Ihre Ausgangsleistung ist geringer als bei der 18046, dafür braucht sie aber weniger Heizleistung, und das Verhältnis S/I_a ist günstiger. Sie wird überall dort eingesetzt, wo es auf gute Breitbandverstärkung bei geringstem Stromverbrauch ankommt. Ein 6,3 V Typ für den gleichen Anwendungsbereich ist die E 83 F.

Auch die Röhren aus der zweiten Spalte der Tabelle I eignen sich für die verschiedensten Zwecke in der Trägerfrequenztechnik, z. B. werden sie in den Trägerfrequenzsystemen der Eisenbahn eingesetzt. In vielen Fällen macht man gern von der größeren Leistungsreserve der E 80 L Gebrauch. Auf gleiche Leistung bezogen, erhält man mit der E 80 L eine bessere Linearität als mit der 18046.

Das S/C -Verhältnis ist auch für viele Verstärker in Richtfunkssystemen ausschlaggebend. Die Röhren aus Spalte 1 und 2 von Tabelle I werden daher auch für Trägerfrequenz-Verstärker, Modulationsverstärker, Leitungsverstärker und ZF-Verstärker in der Richtfunktechnik verwendet. Bei großen Bandbreiten kommt man dabei unter Umständen in den ZF-Verstärkern auf ziemlich große Röhrenzahlen. Häufig verwendet man für solche ZF-Verstärker in den Vorstufen die 18042 und in den Endstufen die 18046. Man kann dann z. B. bei 50 MHz und 3 MHz Bandbreite (-3 dB) mit vier ZF-Stufen eine Verstärkung von 12,5 N erreichen. Eine 1500 MHz Trägerfrequenz-Einrichtung mit Frequenzmodulation für die Übertragung von 60 Sprechkanälen, die mit Ausnahme des Dezimeterteils einheitlich mit 18042 und 18046 bestückt ist, wird auf Seite 148—150 besprochen (Abb. 18).

Ähnlich wie bei den ZF-Verstärkern der Richtfunkssysteme liegen die Anforderungen an die Röhren für die Leitungsverstärker der Fernseh-Ortsleitungen der Post, die zur Verbindung der

postalischen Endstellen mit den Betriebsstellen der Rundfunk-Gesellschaften dienen. Diese Verstärker müssen einen mit dem Videoband von 6 MHz amplitudenmodulierten Träger von 21 MHz übertragen. Man benutzt hier ebenfalls die 18042 in den Vorstufen und die 18046 oder auch die E 80 L in den Endstufen. Eine Schaltungsbeschreibung für einen solchen Verstärker ist auf Seite 151 zu finden (Abb. 19).

Höhere Anforderungen, wie sie z. B. für die Fernseh-Übertragung (0,3 bis 6 MHz) über große Entfernungen oder für ZF-Verstärker in Richtfunk-Verbindungen mit großer Bandbreite gestellt werden, machen den Einsatz von Röhren mit noch größerem S/C -Verhältnis notwendig. Eine solche Röhre ist die E 180 F mit einem S/C -Verhältnis von $1,7 \text{ mA/V} \cdot \text{pF}$ (siehe Tabelle II). Diese Röhre gehört nach ihren Betriebs-Eigenschaften gleichzeitig zur zweiten Gruppe in Tabelle I, auf die später noch eingegangen wird.

Die elektrischen Daten der E 180 F sind so festgelegt, daß sie als universelle Breitbandverstärker-Röhre verwendet werden kann, d. h. bei der Auslegung dieser Röhre sind sowohl die Anforderungen für Koaxialkabel-Verstärker wie für ZF-Verstärker berücksichtigt. Die große Bedeutung, die der Einführung einer Röhre mit besonders hohem S/C -Verhältnis zukommt, liegt für ein Koaxialsystem darin begründet, daß die maximale Übertragungsbandbreite bzw. die maximale Kanalzahl allein durch den Verstärker bestimmt wird. Das Koaxialkabel, dessen Dämpfung mit \sqrt{f} wächst, hat selbst keine Grenzfrequenz. Beim ZF-Verstärker für Richtfunkssysteme mit großer Bandbreite wird es erst durch ein hohes S/C -Verhältnis der Röhre möglich, die Stufenzahl auf ein erträgliches Maß zu begrenzen. Dabei sind für die Übertragung sehr breiter Bänder, die eine entsprechend hohe ZF verlangen, außer der Gütezahl der Röhre noch deren Eingangswiderstand r_e und Ausgangswiderstand r_n bei Hochfrequenz bzw. die durch $S/2 \cdot \sqrt{r_e r_n} = 1$ bedingte Grenzfrequenz für den Verstärkungsfaktor 1 mitbestimmend. Der Rauschäquivalentwiderstand von nur 460Ω gestattet die Verstärkung breiter Bänder ohne Rauschstörungen. Für Anfangsstufen mit niedrigem Signalpegel schaltet man die E 180 F auch als Triode. Ihr Rauschwiderstand beträgt dann nur noch 190Ω .

Beim Koaxialkabel-Verstärker für die Fernseh-Übertragung wird ebenso wie bei den Verstärkern der Trägerfrequenz-Fernsprechtechnik eine lineare Verstärkung verlangt, weil die Harmonischen der Trägerfrequenz und die Intermodulations-Produkte noch innerhalb des zu übertragenden Bandes liegen. Bei der großen Zahl der Verstärker in einer Verbindung muß außerdem besonderer

Wert auf die zeitliche Konstanz der Verstärkung gelegt werden. Somit wird bei diesen Verstärkern eine starke Gegenkopplung erforderlich.

In der Abb. 7 ist eine vereinfachte Prinzipschaltung für einen dreistufigen Koaxialkabel-Verstärker angegeben. Die Gegenkopplung erfolgt hier von der Katode der Endröhre auf die Katode der ersten Röhre. In dieser Schaltung erreicht man mit der 18042 oder E 83 F Bandbreiten bis etwa 4 MHz. und mit der E 180 F kommt man auf 8 bis

naun beachten. Sowohl die Röhren- und Schaltkapazitäten wie der Phasenwinkel der Steilheit können dazu führen, daß die Gegenkopplung für einen bestimmten Frequenzbereich in Rückkopplung umgewandelt wird. Der Phasenwinkel der Steilheit wird durch die Elektronenlaufzeit und durch die Induktivität der Katodenzuleitung verursacht. Er beträgt

9° bei 50 MHz für die E 180 F
und 20° bei 50 MHz für die 18042.

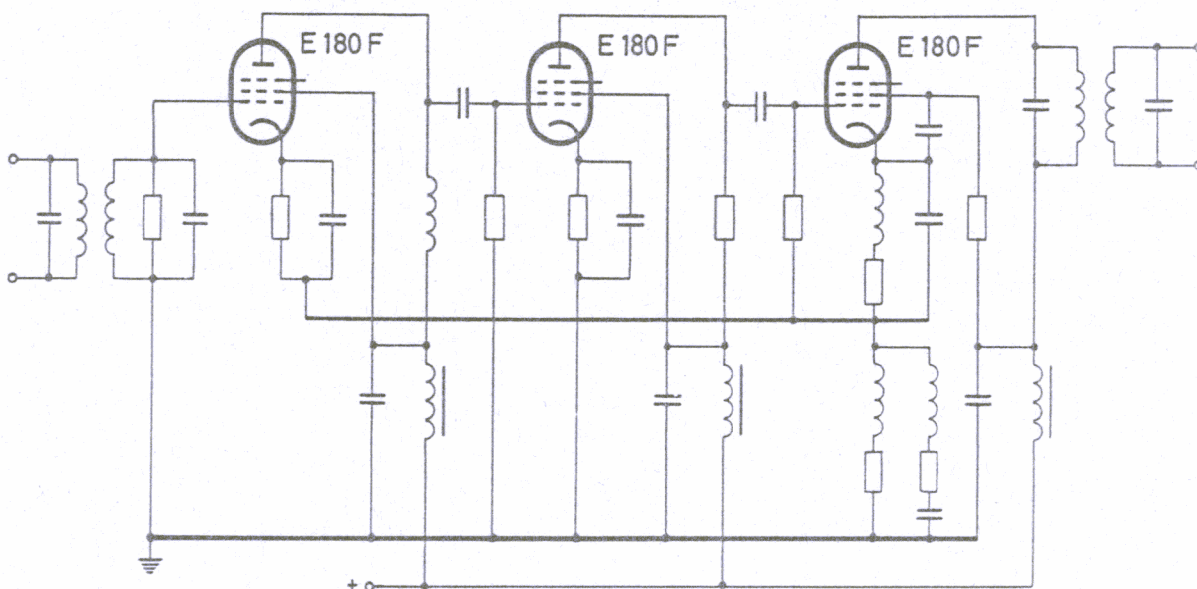


Abb. 7. Prinzipschaltung (vereinfacht) für einen dreistufigen Koaxialkabel-Verstärker mit Gegenkopplung von der Katode der dritten auf die Katode der ersten Röhre.

10 MHz. In der Sockelanordnung der E 180 F ist den besonderen Kapazitäts-Verhältnissen, die diese Schaltung verlangt, weitgehend Rechnung getragen (siehe auch S. 165).

Aus Sicherheitsgründen setzt man in solchen Leitungsverstärkern in jeder Stufe zwei Parallelröhren ein oder schaltet zwei getrennte Verstärker mit gemeinsamem Gegenkopplungsweg parallel. Die Gegenkopplung führt dann dazu, daß sich auch bei Ausfall einer Röhre keine nennenswerte Verstärkungs-Änderung in einer Übertragungstrecke bemerkbar macht. Der zweite Weg ergibt dabei die größere Sicherheit, denn er gewährleistet selbst bei einem möglicherweise auftretenden Schluß im Elektrodensystem einer Röhre die Fortführung des Betriebes, so daß auch bei einem solchen Fehler konstante Verstärkungs-Verhältnisse eingehalten werden können, was besonders für unbemannte Verstärker-Ämter wichtig ist.

Bei gegengekoppelten, mehrstufigen Breitbandverstärkern muß man die Phasenverhältnisse ge-

Die Auswirkung des Phasenwinkels der Steilheit auf die Breitbandverstärker-Eigenschaften führt z. B. bei einem gegengekoppelten Verstärker, wie er in Abb. 7 angegeben ist, dazu, daß in der Beziehung zwischen Gegenkopplung, Bandbreite und Verstärkung der Faktor S/C mit einem Zahlenfaktor

$$\frac{1}{1 + 2,4 \cdot \alpha \cdot S/C}$$

reduziert wird, wo für α der Zahlenwert des Phasenwinkels der Steilheit, angegeben in °/MHz, einzusetzen ist ($\alpha = 0,4$ °/MHz für die 18042 und $\alpha = 0,18$ °/MHz für die E 180 F) und für S und C die Zahlenwerte von Steilheit und Gesamtkapazität, angegeben in mA/V bzw. pF.

Der niedrige Wert für den Phasenwinkel der Steilheit bei der E 180 F ist auf kleine Elektrodenabstände und außerdem auf eine doppelte Herausführung für den Katodenanschluß zurückzuführen, wodurch die Induktivität der Katodenzuleitung klein gehalten wird. Hierdurch erhält man gleichzeitig eine erhebliche Verbesserung der Eingangsdämpfung bei hohen Frequenzen. Das ist auch dann noch von Bedeutung, wenn die erforderliche große Bandbreite im wesentlichen durch

TABELLE II

Typ	I_a mA	$-U_g$ V	S mA/V	$\frac{S}{C}$ $\frac{\text{mA/V}}{\text{pF}}$	$\frac{S}{2\pi C}$ MHz	$\frac{S}{I_a}$ $\frac{1}{\text{V}}$	$\frac{I_a}{N_f}$ $\frac{\text{mA}}{\text{W}}$	W_o ($K_{ges}=10\%$) W	r_e bei f k Ω MHz	r_{aeq} Ω
18046	20	3	11	0,61	97	0,55	7,4 ^{*)}	1 ^{*)}		1200
18042	10	2	9	0,74	120	0,90	5,55	0,66	1,2 100	750, max. 1000
E 81 L	20	3	11	0,61	97	0,55	8,46	1 ^{*)}		1200
E 83 F	10	2	9	0,74	120	0,90	5,3	0,66	1,2 100	750, max. 1000
E 180 F	13	1,1	16,5	1,70	270	1,28	6,9	0,95	2,2 100	460
E 80 F	3	2	1,85			0,62	1,6			max. 40000 (NF)
E 80 L	30	4,5	9	0,49	78	0,3	6,35	2,7		

*) $K_{ges}=5\%$

die Kreisverluste oder zusätzlich eingeschaltete Dämpfungswiderstände bestimmt wird, weil ein zu großer Eingangsleitwert wegen seiner Frequenz-Abhängigkeit auch bei niedrigen Kreisimpedanzen in mehrstufigen Schaltungen eine zu große Dämpfungsverzerrung über die Bandbreite verursachen würde. Bei Breitbandverstärkern mit großer Stufenzahl muß deshalb die Dämpfung durch die Röhre immer klein gegen die Gesamtdämpfung der Kreise sein. Der Eingangswiderstand der E 180 F beträgt 2,2 k Ω bei 100 MHz. Dieser Wert gilt ebenso wie der oben angegebene Phasenwinkel bei parallel geschalteten Katoden-zuleitungen. Mit einem solchen Eingangswiderstand und dem hohen S/C-Verhältnis wird es z. B. möglich, für eine E 180 F Stufe bei 100 MHz eine Verstärkung über 10 dB bei einer Bandbreite von 32 MHz mit 0,1 dB Verstärkungsabfall an der Flanke zu erzielen. Die E 180 F wird deswegen in ZF-Verstärkern von Richtfunkssystemen für Fernseh-Übertragungen mit Frequenzmodulation oder für größere Kanalzahlen, beispielsweise 300 Sprechkanäle, verwendet.

Das Blockschaltbild für ein solches System zeigt die Abb. 20a, und die Abb. 20b gibt das Prinzipschaltbild des zehnstufigen 100 MHz ZF-Verstärkers aus diesem System wieder. Derartige ZF-Verstärker sind meist aus einem Vorverstärker mit niedriger Rauschzahl und dem ZF-Hauptverstär-

ker zusammengesetzt. Die Schaltungen werden praktisch ohne bzw. mit nur sehr geringer Gegenkopplung ausgeführt. Mit Rücksicht auf die Rauscheigenschaften sind die Eingangsstufen in Triodenschaltung ausgeführt und haben geringere Verstärkungsziffern als die Stufen des Hauptverstärkers.

Um bei der großen Steilheit einen stabilen Arbeitspunkt zu erzielen, wird die E 180 F im allgemeinen mit Gleichstrom-Gegenkopplung durch Einschalten eines überbrückten Katodenwiderstandes betrieben. Das Gitter wird dabei an eine positive Spannung gelegt. Die Vorspannung zwischen Gitter und Katode im normalen Arbeitspunkt beträgt -1,1 V. Die Röhre kann aber bis 0 V angesteuert werden, ohne daß wesentliche Störungen durch Gitterstrom auftreten, so daß ein Aussteuerbereich von etwa 2 V zur Verfügung steht.

III. 2) Industrielle Anwendung

Die zweite Röhrengruppe in der Tabelle I wurde hauptsächlich für tragbare Geräte und für den Einsatz in Steuer- und Regelgeräten der Maschinenteknik entwickelt. Für diese Anwendungsgebiete sind sie besonders stoß- und vibrationsfest konstruiert, jedoch machen ihre elektrischen Eigen-

schaften diese Röhren auch für viele Anwendungsfälle interessant, wo die mechanische Festigkeit nicht so entscheidend ist, wie z. B. für die schon erwähnten Anwendungen in der Nachrichtentechnik.

Die Zweifach-Triode E 80 CC wird vor allem in NF-Verstärkern und Multivibrator-Schaltungen sowie in Gegentakt- und Brückenschaltungen eingesetzt, während die NF-Pentode E 80 F hauptsächlich für Vorverstärkerstufen bestimmt ist, und die Pentode E 80 L als Endröhre bis 2,5 W Ausgangsleistung verwendet wird. In ihren elektrischen Daten entsprechen diese Röhren etwa den Empfängerröhrentypen ECC 40, EF 40 und PL 85 (abgesehen von der Heizung).

Die hohe Zuverlässigkeit der Langlebensdauer-Röhren hat heute das Mißtrauen, das der Maschinenbauer früher vielfach gegen elektronische Geräte und Steuerungen hegte, bereits überwunden. Die Röhren halten den in der Praxis vorkommenden mechanischen Beanspruchungen ohne weiteres stand. Man findet sie daher allgemein in Steuerverstärkern für die elektronische Drehzahlregelung von Motoren und in allen Arten von automatischen Steuerungen für Arbeits- und Werkzeugmaschinen, z. B. in Fotozellen-Verstärkern und selbsttätigen Überwachungs-Einrichtungen. Dabei ist die Verwendung von Langlebensdauer-Röhren bei Fotozellen-Verstärkern mit sehr großen Gitterableitwiderständen auch dann angebracht, wenn keine besonderen mechanischen Beanspruchungen vorliegen, weil Schaltungen mit hohen Gitterableitwiderständen empfindlich gegen Gitterströme sind. Für solche Schaltungen wird die E 80 F verwendet, die bei Einschaltung größerer Widerstände in die Schirmgitter- und Katoden-Leitung mit Gitterableitwiderständen bis zu $50 \text{ M}\Omega$ betrieben werden kann, und die in besonderen Fällen mit einer auf $4,5 \text{ V}$ reduzierten Heizung bei 40 V Anodenspannung sogar als Elektrometerröhre verwendet wird. Der Gitterstrom bleibt in dieser Einstellung unter 10^{-10} A .

Auch in der Elektroakustik werden die Röhren aus dieser Gruppe gern verwendet. Ein Beispiel dafür sind Wechselsprech- und Rufanlagen, die im Dauerbetrieb arbeiten. Ganz besonders eignen sich diese Röhren für ungewartete oder von ungelerten Kräften bediente Anlagen in der Industrie.

Aus der Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten sind mit den Beispielen auf den Seiten 154 und 155 ein besonders interessanter Verstärker aus einer Motorsteuerung und eine lichtelektrische Zähl-einrichtung für halbautomatisch arbeitende Maschinen wie Pressen, Stanzen, Tablettiermaschinen oder dergl. herausgegriffen.

III. 3) Anwendung für Zähl- und Rechengerate

Zähl- und Rechengerate sind mit ihren großen Röhrenstückzahlen ein weiteres typisches Beispiel für die große Bedeutung, die der Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Röhren zuzumessen ist, wobei ähnlich wie in den bereits besprochenen Trägerfrequenz-Anlagen auch Wert auf ein günstiges Verhältnis I_a/N_f gelegt werden muß. Für Röhren in Rechen- und Zählgeräten hat die große Erschütterungsfestigkeit, die für die industriellen Anwendungen gefordert wird, weniger Bedeutung, es wird aber zusätzlich eine spezielle Anforderung gestellt, die man leicht aus der bei diesen Geräten üblichen Schaltungstechnik ableiten kann. Die Abb. 8 zeigt die bekannte Flip-flop-Schaltung, die das wesentlichste Zählelement in Rechengerten mit normalen Verstärkerröhren darstellt. Durch die hier angewandte Kopplung der Anoden mit den Gittern der entgegengesetzten Systeme ergibt sich, daß diese Schaltung nur zwei stabile Zustände hat. Während das eine System Strom führt, ist das andere gesperrt und umgekehrt. Durch Impulse auf Gitter oder Anode kann man die Schaltung von einem stabilen Zustand in den anderen umkippen.

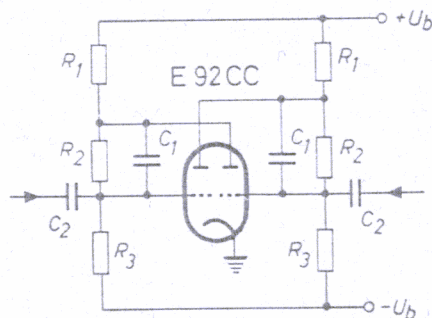


Abb. 8. Flip-flop-Schaltung

In der grundsätzlichen Arbeitsweise dieser Schaltung liegt also begründet, daß ein System unter Umständen sehr lange Zeit im Betrieb ist, ohne daß Anodenstrom gezogen wird. Ein solcher Betriebszustand begünstigt bekanntlich die Zwischenschicht-Bildung in der Katodenschicht, die zu Emissionsverminderung führt. Der Einsatz der Röhre in Schaltungen der angegebenen Art verlangt also Spezialkatoden mit besonders geringer Zwischenschicht-Bildung. Solche Röhren sind die E 90 CC und die E 92 CC in der dritten Spalte von Tabelle I. Sie haben eine Charakteristik, die im Anodenstrom-Einsatzpunkt und bei Gitterspannung Null eng toleriert ist. Außerdem ist die Gitter-Katoden-

Kapazität dieser Röhren verhältnismäßig gering. Beides ist in Verbindung mit der Ansprechempfindlichkeit der Röhren auf Steuerimpulse von Bedeutung. Die beiden Typen E 90 CC und E 92 CC sind praktisch gleichwertig. Ihre Unterschiede erklären sich aus den speziellen Anforderungen bestimmter Schaltungen, für die sie entwickelt worden sind. Für Schaltungen, bei denen es auf einen kleinen Innenwiderstand ankommt, eignet sich die E 90 CC besser, während die E 92 CC einen kleineren Durchgriff und eine kleinere Gitter-Anoden-Kapazität hat; in gewissen Schaltungen kommt man bei der E 92 CC außerdem mit kleinerem Anodenstrom aus. In der Abb. 25 ist eine dekadische Zählstufe mit der E 92 CC als Beispiel für die praktische Ausbildung von Zähl-schaltungen angegeben.

Auch in den für Rechenggeräte viel verwendeten Impulstor-Schaltungen werden Röhren mit zwischenschichtfreien Spezialkatoden und geringen Toleranzen in bestimmten Punkten der Charakteristik verlangt. Deswegen gehört die neu entwickelte, speziell für Impulstor-Schaltungen bestimmte Heptode E 91 H in die gleiche Gruppe wie die E 90 CC und E 92 CC.

III. 4) Anwendung in der Meßtechnik

Für die Meßtechnik werden sämtliche in der Übersichtstabelle I angegebenen Röhren gebraucht. Einerseits sind dabei die guten Verstärker-Eigenschaften der ersten Gruppe aus dieser Tabelle interessant, andererseits wird besonders für tragbare Geräte häufig großer Wert auf die erhöhte Stoß- und Vibrationsfestigkeit der zweiten Gruppe gelegt. Besonders gern verwendet man die Doppeltrioden aus Gruppe 2 und 3, weil die Unterbringung von zwei Systemen in einem Kolben sehr zur Platzersparnis beiträgt. Auch die neue Heptode E 91 H (mit geringem Aussteuerbe-

reich für beide Steuergitter) wird sich als Koinzidenz-Tor-Röhre für Impulsgeräte und als Begrenzerstufe sowie als Mischstufe mit festen Vorspannungen für spezielle Verstärker schnell in die Meßtechnik einführen.

Die große Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer wirken sich natürlich besonders bei geeichten Geräten günstig auf die Meßunsicherheit aus, und die geringen Toleranzen der Kennwerte dieser Röhren machen den Röhrenaustausch in abgeglichenen Geräten leichter. Während man bei Rundfunkröhren für die Streuwerte der Kenndaten mit einer durchschnittlichen Toleranzgrenze von 25 bis 30% auskommt, liegen die Streugrenzen bei der Gruppe 1 aus Tabelle I zwischen 10 und 15% und bei der Gruppe 2 unter 20%.

Nach der Besprechung der Beispiele aus der Nachrichtentechnik bedarf es keiner weiteren Erläuterung, daß die Röhren aus den Gruppen 1 und 2 in Tabelle I sich ausgezeichnet in Meßverstärkern verwenden lassen. Aber auch die in vielen Meßgeräte-Schaltungen immer wieder vorkommenden Grundelemente wie z. B. Sperrschwinger als Zeitmarkengeber oder als Frequenzteiler sowie Schaltungen zur Erzeugung von Impulsen und Sägezahn-Spannungen wie der Multivibrator oder der Miller-Integrator lassen sich mit den genannten Langlebensdauer-Typen sehr gut aufbauen.

Eine Horizontal-Ablenkschaltung für einen Katenstrahl-Oszillografen, in der mehrere solcher Grundelemente vorkommen, ist in der Abb. 24 wiedergegeben.

Als Beispiel aus einem Spezialgebiet der Meßtechnik zeigt die Abb. 25 die Blockschaltung eines Verstärkers zur Untersuchung von Nervenspannungen und Herzaktionsströmen, der mit Rücksicht auf die bei solchen Geräten häufig vorkommenden Transporte zwischen den verschiedenen Abteilungen einer Klinik mit stoß- und vibrationsfesten Langlebensdauer-Röhren aufgebaut ist.

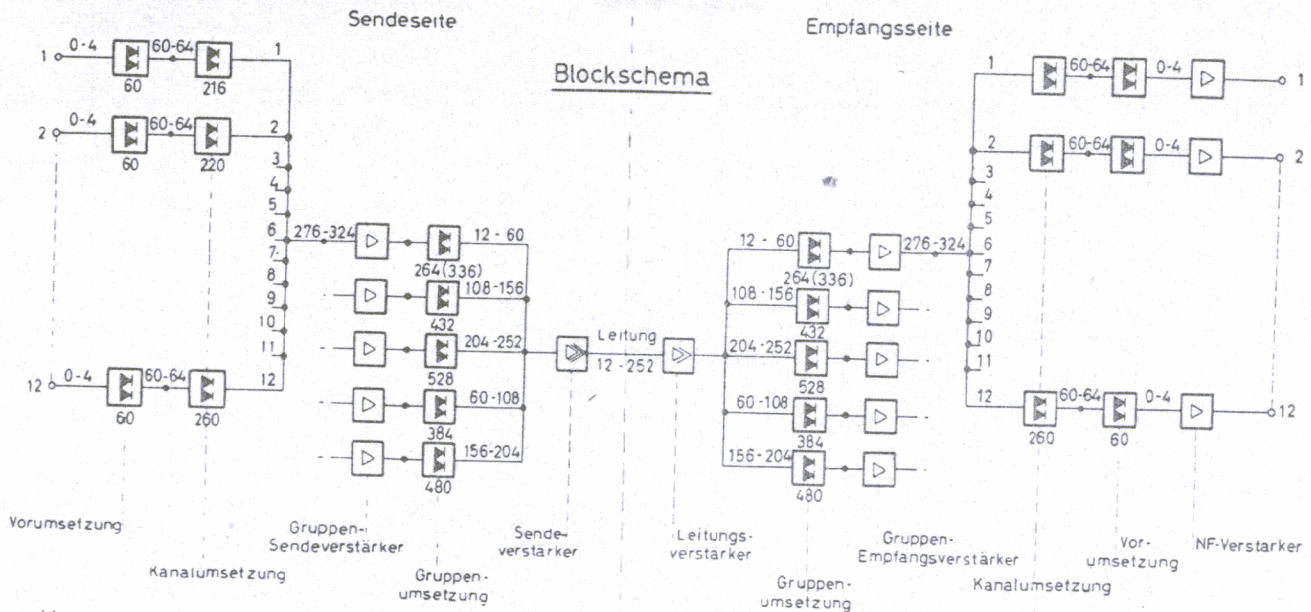


Abb. 9.

Abb. 9 und 10. V 60 System mit Vorkanal-Umsetzung*)

Mit dem Vorkanal V 60 System können bis zu 60 Kanäle auf jedem Adernpaar einer Kabelverbindung übertragen werden. Ein Blockschema (Abb. 9) und ein Frequenzschema (Abb. 10) zeigen, wie aus 60 NF-Kanälen 0,3 bis 3,4 kHz in drei Modulationsstufen (Vorkanal-Umsetzer, Kanal-Umsetzer und Gruppen-Umsetzer) die Übertragungsgruppen 12 bis 252 kHz gebildet werden. Für die Eintragungen im Blockschema ist unter Berücksichtigung der Kanalabstände eine Kanalbreite von 0-4 kHz angegeben. Die niederfrequenten Kanäle (300-3400 Hz) werden in den Vorumsatzern auf der Sendeseite durch Modulation mit dem Vorkanalträger 60 kHz in die Vorkanäle (60-64 kHz) verschoben.

Durch Modulation mit den Kanalträgern 216, 220 ... 260 kHz in den Kanal-Umsetzern werden je 12 Kanäle im Frequenzbereich 276-324 kHz zu einer Aufbaugruppe vereinigt.

Aus fünf Aufbaugruppen (276-324 kHz) entstehen durch Modulation mit den Trägern 264 bzw. 336, 384, 432, 480, 528 kHz in den Gruppen-Umsetzern die Übertragungsgruppen A bis E:

- A 12- 60 kHz (Regel- od. Kehrlage)
- B 60-108 kHz
- C 108-156 kHz
- D 156-204 kHz
- E 204-252 kHz.

Das gesamte Band von 12-252 kHz wird dann auf die Leitung gegeben. Durch Modulation mit 564 kHz

*) Die Abb. 9 bis 17 sind mit freundlicher Genehmigung der Firma Felten und Guillaume Fernmeldeanlagen GmbH, Nürnberg, veröffentlicht.

kann aus den Übertragungsgruppen (12-252 kHz) die Grund-Übergruppe 312-552 kHz gebildet werden, mit deren Hilfe der Aufbau eines Breitbandsystems für koaxiale Kabel möglich wird.

Zum Ausgleich der Verluste in den Modulatoren und den zugehörigen Siebketten (in der Abbildung nicht mit angegeben) sind Verstärker eingeschaltet, die sämtlich mit der 18046 bestückt sind.

Das erste Röhrenaggregat auf der Sendeseite ist der Gruppen-Sendeverstärker; er arbeitet mit einer 18046 Stufe und verstärkt ein Band von 276 bis 324 kHz. Der darauf folgende Sendeverstärker hat drei stark gegengekoppelte Stufen und verstärkt ein Band von 12 bis 252 kHz.

Am Eingang der Empfangsseite liegt ein zwei-stufiger Leitungsverstärker mit der 18046, dessen Verstärkung die Dämpfung der letzten Verstärkerfeldlänge ausgleicht. Entsprechend den Verhältnissen auf der Sendeseite folgt dann der einstufige Gruppen-Empfangsverstärker. Das letzte Röhrenaggregat schließlich ist ein Kanalverstärker hinter dem Kanalumsatzer mit einer 18046 Stufe für 0,3 bis 3,4 kHz.

Im Zuge eines Kanals liegen also pro System innerhalb der Endstellen vier Röhren auf der Sendeseite und ebenfalls vier Röhren auf der Empfangsseite in Reihe. In ein voll ausgebautes System gehören

- 5 Gruppen-Sendeverstärker (mit zus. 5 Röhren)
- 1 Sendeverstärker (mit 3 Röhren)
- 1 Leitungsverstärker (mit 2 Röhren)
- 5 Gruppen-Empfangsverstärker (mit zus. 5 Röhren)
- 60 Kanalverstärker (m. zus. 60 Röhren)

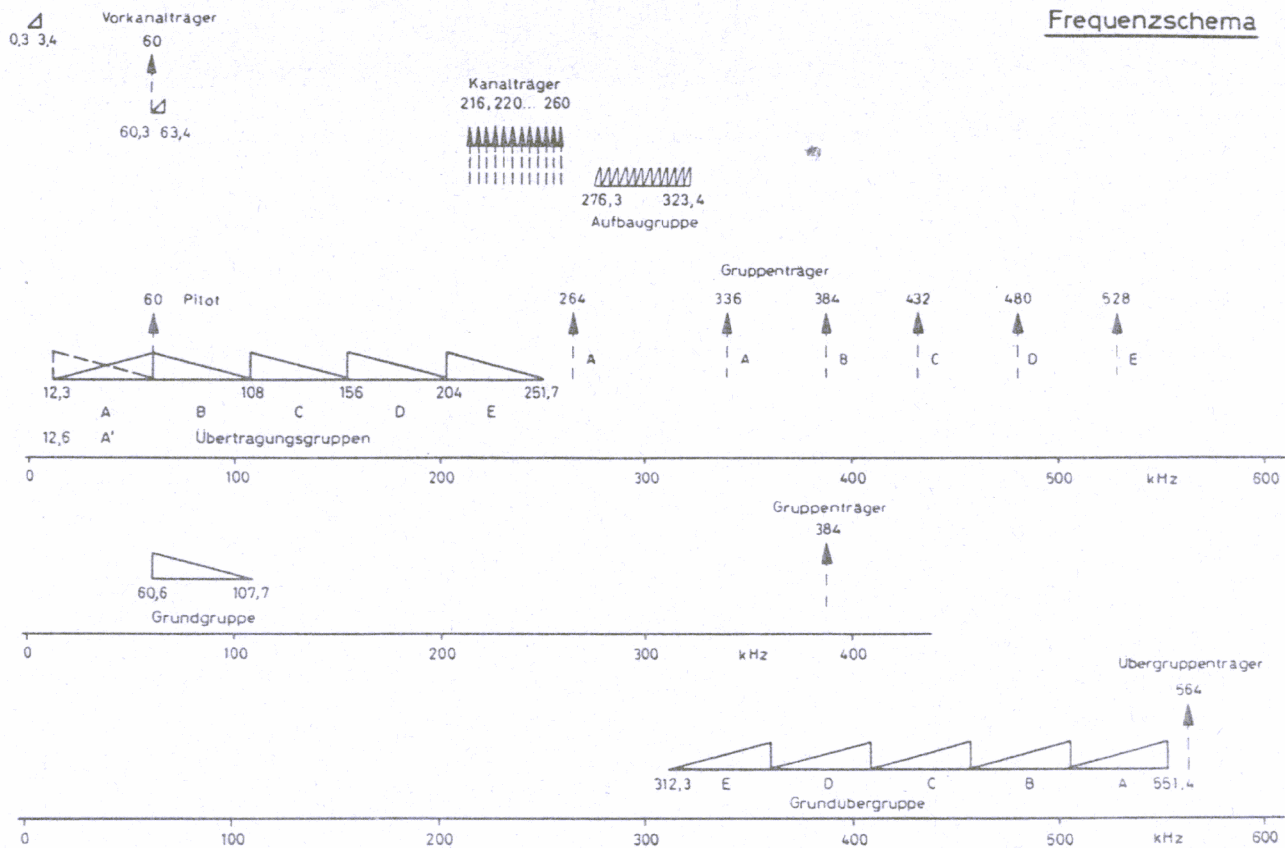


Abb. 10.

Insgesamt arbeiten in diesen Verstärkern 75 Röhren bzw. 150 Röhren in den beiden Endämtern für 60 vollständige Verbindungen, weil in jeder Endstelle eine Sende- und eine Empfangseinrichtung vorhanden sind. Dazu kommen die Röhren in den Leitungsverstärkern auf der Leitung. Für 1000 km braucht man z. B. 52 Verstärker bzw. 208 Röhren pro Vierdraht-Sprechkreis (Hin- und Rückleitung).

Bei der Beschaltung sämtlicher 24 Doppeladern in üblichen TF-Kabeln mit V 60 Systemen, wobei je ein Kabel für die Hin- und die Rückleitung benutzt wird, sind also $24 (150 + 208) = 8592$ Röhren im Betrieb. Zählt man $24 \cdot 9 + 12 = 228$ Röhren aus Ersatz-Aggregaten für Leitungs- und Sendeverstärker und $2 \cdot 287 = 574$ Röhren für die Trägerversorgung (einschließlich der Ersatzaggregate) hinzu, so kommt man auf etwa 9400 Röhren insgesamt (9394).

Bei anderen Systemen ergeben sich Röhrenzahlen in der gleichen Größenordnung. Wie sich der P -Faktor

bei einer solchen Röhrenzahl auswirkt, ist auf Seite 132 angegeben.

Für das *Vorgruppensystem* braucht man unter den hier zugrunde gelegten Verhältnissen etwas mehr Röhren in der Sprechverbindung, dafür weniger Röhren für die Trägerversorgung. Bei Ämtern mit mehreren voll ausgebauten Systemen fällt die Röhrenersparnis in der Trägerversorgung aber weniger ins Gewicht, man kommt im ganzen auf etwa gleiche Röhrenzahlen. Lediglich bei Ämtern mit wenigen oder teilweise ausgebauten Systemen und bei kurzen Verbindungen, also weniger Leitungsverstärkern, wird beim Vorgruppensystem eine Ersparnis an Röhren merklich. Für ein einzelnes Vorkanalssystem würden z. B. in einer Endstelle $75 + 110 = 185$ Röhren gebraucht, davon gehören die 110 Röhren zur Trägererzeugung (einschließlich Reserveaggregate). Bei einem Vorgruppensystem hat man dagegen nur $94 + 40 = 134$ Röhren (40 für die Trägererzeugung, einschließlich Reserve).

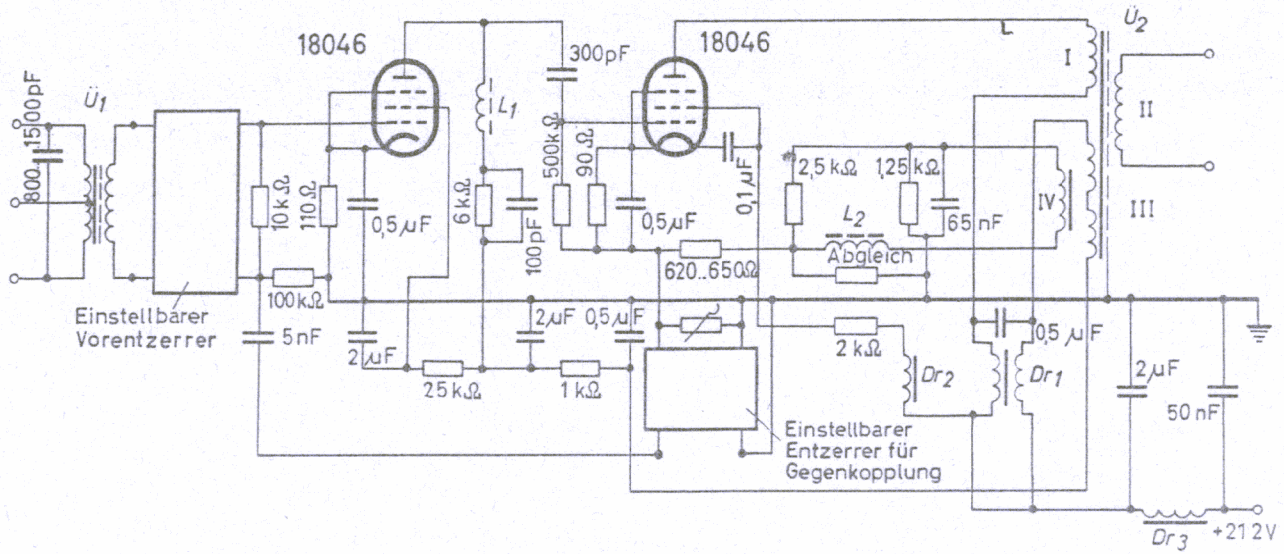


Abb. 11. Leitungsverstärker V 60

Der zweistufige Verstärker hebt die Dämpfung des vorhergehenden Kabelabschnittes von 6,5 N auf. Er arbeitet mit einer auf die obere Grenze des Übertragungsbereiches (12 bis 252 kHz) abgestimmten Vorstufe und einer auf 10 kΩ angepaßten Endstufe. Zur Linearisierung der Verstärkung und zur Kompensation von Schwankungen in der Versorgungsspannung und in den Röhrendaten ist eine starke Gegenkopplung (5 N Verstärkungsherabsetzung bei 11,5 N Verstärkung ohne Gegenkopplung) vorgesehen, die durch Stromgegenkopplung über den Katodenwiderstand der Endstufe und Spannungsgegenkopplung aus der Wicklung IV des Ausgangstransformators zustande kommt. Der abgestimmte Kreis in der Anodenleitung der Vorröhre, der aus einer Induktivität L_1 und der Röhrenkapazität gebildet wird, bewirkt, daß die Verstärkung zu niedrigen Frequenzen stark abfällt, dadurch wird der Frequenzgang des Kabels schon weitgehend ausgeglichen. Den restlichen Ausgleich bewirken der Vorentzerrer am Eingang des Verstärkers und der Entzerrer in der Gegenkopplungsschaltung. Die Verstärkung wird im wesentlichen durch den Gegenkopplungsfaktor bestimmt. Der Verstärkungsfaktor g' mit Gegenkopplung beträgt

$$g' = \frac{g}{1 + gk} = \frac{gk}{1 + gk} \cdot \frac{1}{k}$$

wobei k der Gegenkopplungsfaktor und g die Verstärkung ohne Gegenkopplung ist. Da gk hier groß gegen 1 ist, wird

$$g' \approx \frac{1}{k}$$

Der Rauschpegel des Verstärkers wird im wesentlichen durch das Kabel und die Eingangsschaltung bestimmt, der äquivalente Rauschwiderstand der Röhre fällt mit 1,2 kΩ gegen den wirksamen Rauschwiderstand am Eingang der Schaltung von 5 kΩ praktisch nicht sehr ins Gewicht.

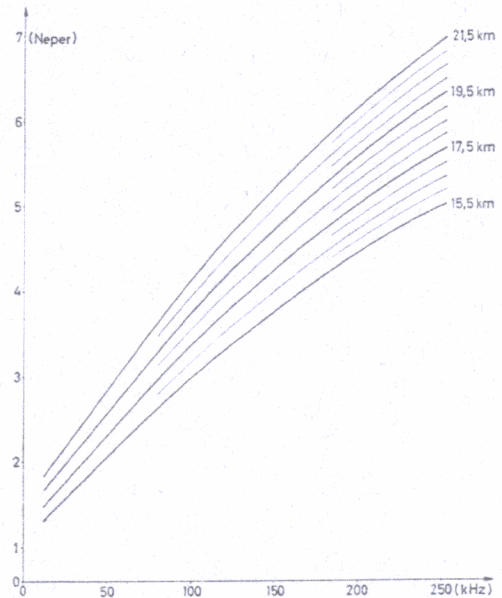


Abb. 11 a.

Ein großer Teil der Entzerrung wird in der Gegenkopplungsschaltung vorgenommen. Man erreicht so einen größeren Rauschabstand für die Kanäle mit den tieferen Frequenzen. Der Gegenkopplungskanal enthält eine stufenweise einstellbare Verstärkungsregelung, und auch der Vorentzerrer ist einstellbar zum Ausgleich unterschiedlicher Kabellängen. Der Frequenzgang der Verstärkung wird in Abb. 11 a wiedergegeben.

Die Wicklungen I und III des Ausgangstransformators liegen wechselstrommäßig in Serie. Gleichstrommäßig sind sie getrennt, und über die Wicklung III ist der Anodenstrom der Vorröhre geleitet, so daß die Gleichstrom-Vormagnetisierung des Transformators aufgehoben wird.

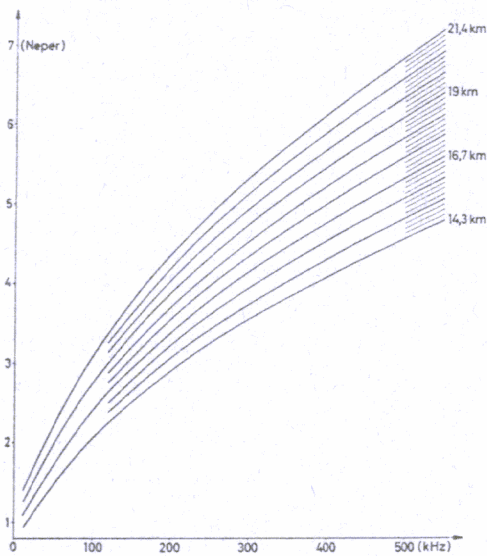
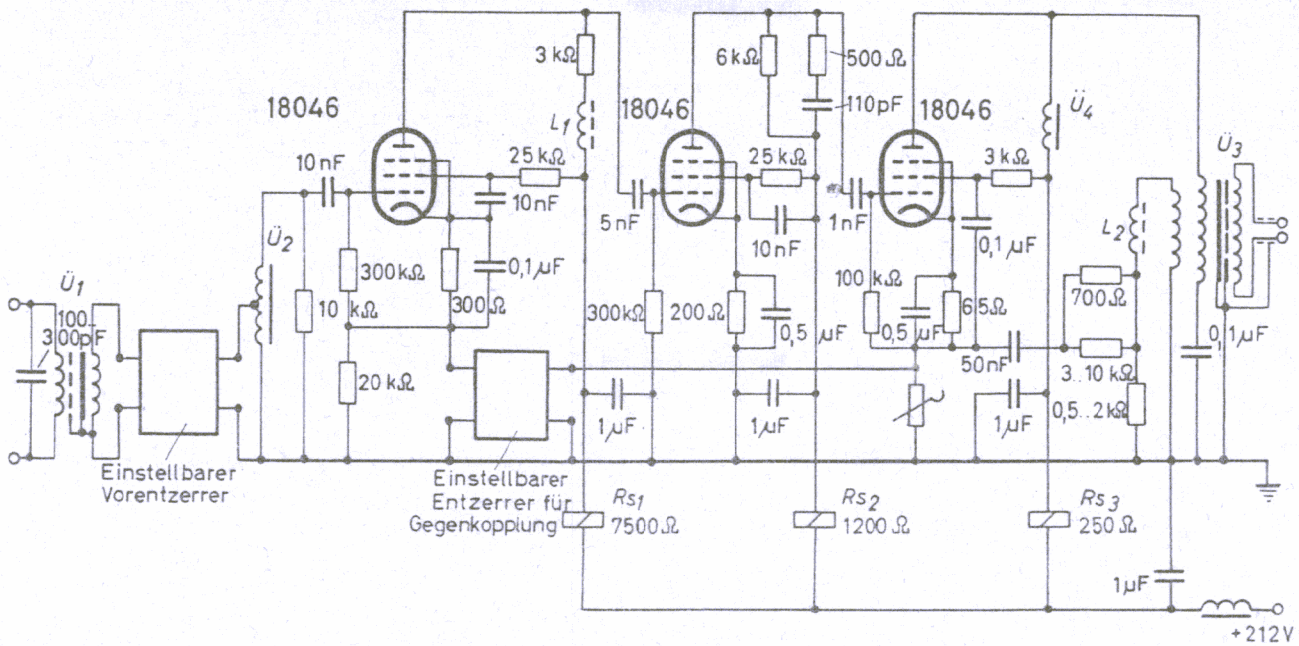


Abb. 12 a.

Abb. 12. Leitungsverstärker V 120

Für die grundsätzliche Wirkungsweise dieses Verstärkers gilt das gleiche wie für Abb. 11, jedoch ist mit Rücksicht auf das hier zu übertragende Band von 12 bis 556 kHz ein dreistufiger Verstärker erforderlich. Zwischen der Vorstufe mit abgestimmtem Anodenkreis und der Endstufe liegt noch eine Widerstandsverstärkerstufe mit Frequenzgang-Korrektur. Die Gegenkopplungs-Schaltung entspricht den Verhältnissen beim V 60 Leitungsverstärker. Die Verstärkerfelddämpfung des styroflex-isolierten V 120 Trägerfrequenzkabels beträgt 6,5 N bei 556 kHz. Dementsprechend ist der Verstärker mit einer stufenweise einstellbaren und dem Frequenzgang des Kabels angepaßten Verstärkung ausgelegt (siehe Abb. 12 a). Bei 556 kHz beträgt die Verstärkung ohne Gegenkopplung etwa 11 N; sie wird durch die Gegenkopplung auf 6,5 N herabgesetzt. Die Abb. 12 a zeigt den Frequenzgang der Gesamtverstärkung.

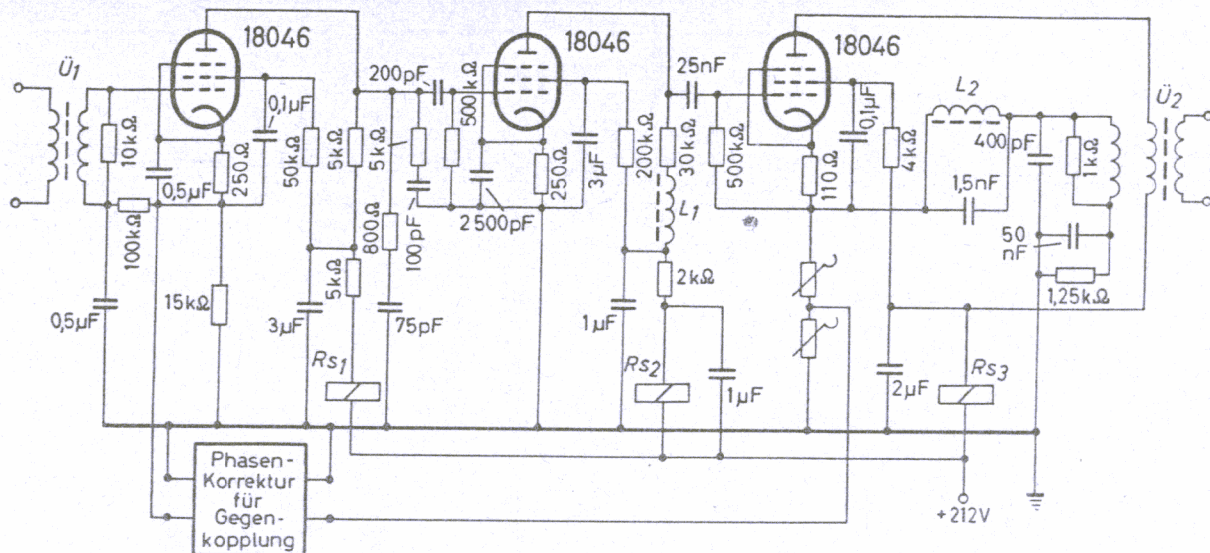


Abb. 13. Sendeverstärker V 60

Mit diesem Gerät wird in drei Stufen eine gleichmäßige Verstärkung von 6,3 N im Bereich von 12 bis 252 kHz erreicht. Die ersten beiden Stufen sind Widerstandsverstärker mit kapazitiver Kopplung, die letzte Stufe ist als Leistungsverstärker an das 150 Ω Kabel angepaßt. Die Anforderungen in bezug auf Linearität und Stabilität gegen Schwankungen der Speisespannung und Veränderungen der Röhrendaten

sind hier ähnlich wie beim Leitungsverstärker. Deswegen ist auch der Sendeverstärker stark gegengekoppelt. Im Gegenkopplungsweg liegt ein Netzwerk zur Phasenkorrektur. Die Verstärkungsherabsetzung durch die Gegenkopplung beträgt etwa 5 N.

Im Anodenkreis jeder Röhre ist je ein Relais zur Signalisierung bei Röhrenaussfall vorgesehen.

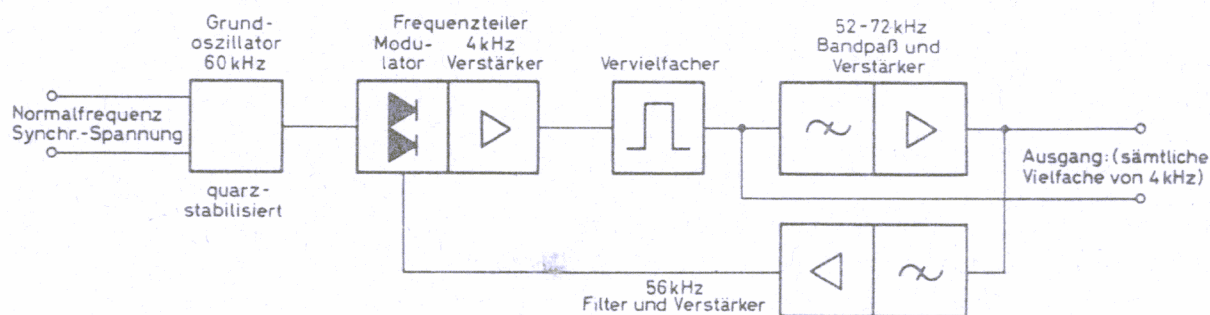


Abb. 14. Grundschtung für die Trägererzeugung im V 60 Vorkanalssystem

Einige wichtige Elemente der Trägerversorgung im Vorkanalssystem, nämlich der Grund-Oszillator, der Frequenzteiler und der Vervielfacher, werden durch dieses Blockschaltbild in ihrem Zusammenwirken erläutert, während die Schaltungen der einzelnen Elemente in den Abb. 15, 16 und 17 angegeben sind. Die für die verschiedenen Modulatoren des Systems erforderlichen Trägerfrequenzen (siehe Abb. 10) werden durch Frequenzteilung, Vervielfachung und Mischung aus dem quarzgesteuerten 60 kHz Grund-Oszillator gewonnen. Die eigentliche Grundfrequenz des Systems ist 4 kHz. Diese Frequenz leitet man in einer sogenannten Regenerativschaltung aus dem 60 kHz Generator ab, den man leicht als Quarz-Oszillator ausführen kann. Der Grund-Oszillator speist einen Frequenzteiler, der aus einem Modulator und einem darauffolgenden 4 kHz Verstärker besteht. Im Modulator wird durch Überlagerung mit einer 56 kHz Spannung ein 4 kHz Signal gewonnen, das verstärkt und

zur Synchronisierung eines 4 kHz Multivibrators (Vervielfacher) benutzt wird. Aus dem Frequenzgemisch, das der Multivibrator liefert, wird das für den Modulator des Frequenzteilers erforderliche 56 kHz Signal herausgesiebt und nach Verstärkung auf den Modulator zurückgeführt.

Beim Einschalten fehlt die 56 kHz Spannung zunächst. Deswegen ist der 4 kHz Verstärker so ausgelegt, daß er sich mit 4 kHz selbst erregt, sobald der Grund-Oszillator arbeitet. Der nachgeschaltete Multivibrator gibt dann die 56 kHz an den Modulator zurück, der daraufhin eine durch Mischung von 60 und 56 kHz erzeugte 4 kHz Spannung abgibt, so daß der Kreis geschlossen ist. Die Selbsterrregung des 4 kHz Verstärkers wird dann automatisch unterdrückt, so daß nur die Verstärkerwirkung dieser Stufe bestehen bleibt. Aus dem Frequenzgemisch, das die Regenerativschaltung liefert, werden dann die endgültigen Trägerfrequenzen durch Siebung und Mischung gewonnen.

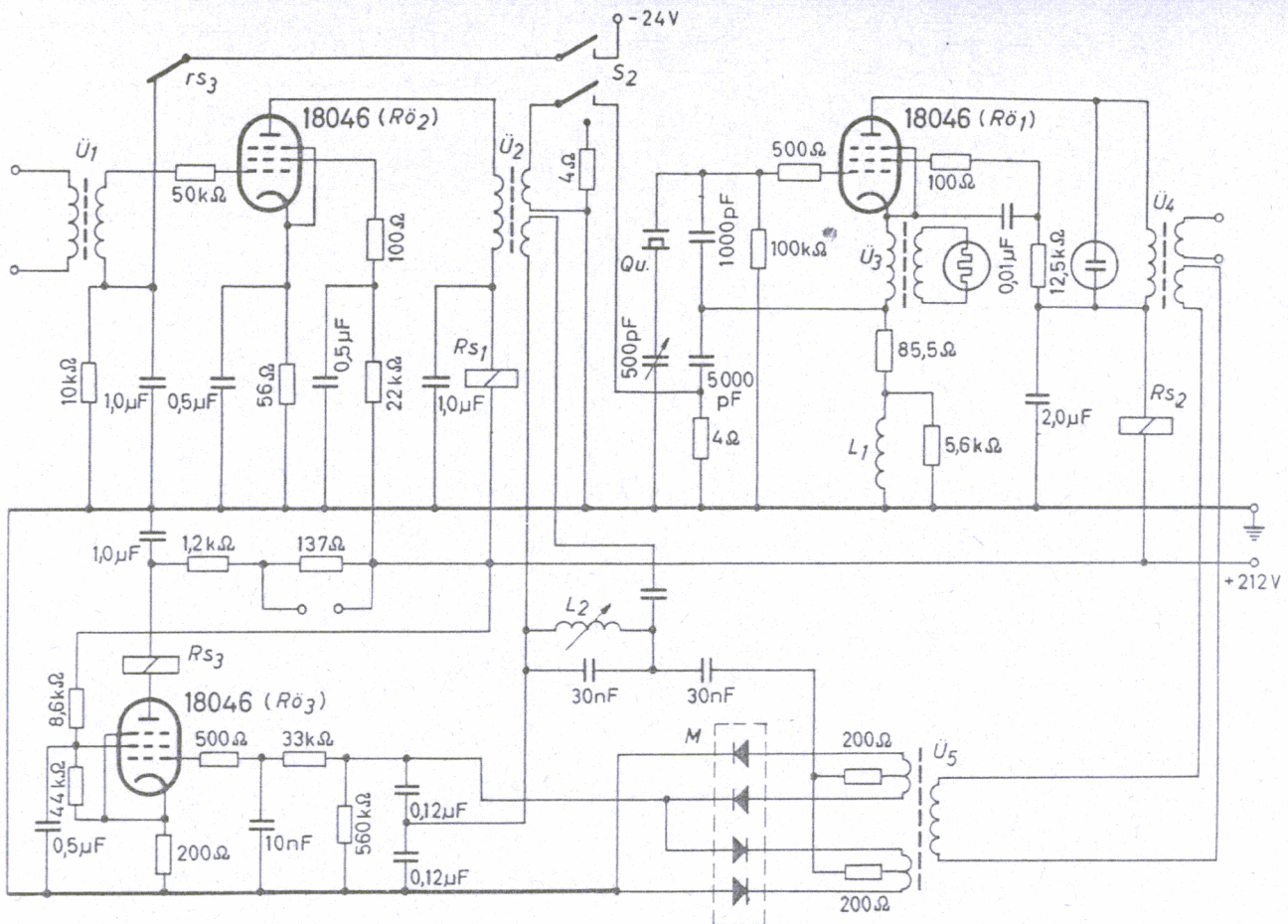


Abb. 15. Grund-Oszillator V 60

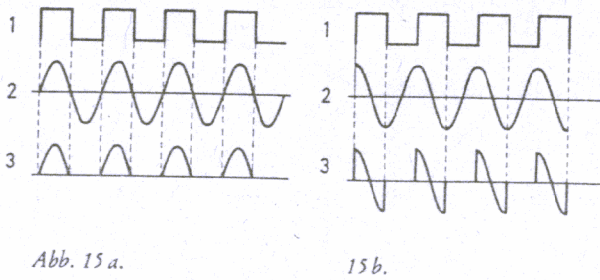
Der Grund-Oszillator besteht aus einer 60 kHz Quarz-Oszillatorstufe ($R\ddot{o}1$), einer Synchronisationsstufe ($R\ddot{o}2$) und einer automatischen Frequenz-Kontrollschaltung ($R\ddot{o}3$), mit deren Hilfe bei unzulässig großen Frequenzabweichungen auf ein Reserve-Aggregat umgeschaltet wird.

Für den Quarz-Oszillator $R\ddot{o}1$ ist mit Rücksicht auf eine möglichst geringe Temperatur-Abhängigkeit die Colpitts-Schaltung gewählt, damit im Schwingkreis nur Kondensatoren (Glimmer) und keine Spulen gebraucht werden. Er liefert eine sinusförmige 60 kHz Spannung mit stabilisierter Amplitude. Die Frequenzabweichungen werden dabei kleiner als $\pm 10^{-7}$ der Nennfrequenz gehalten. Für Frequenzkorrekturen liegt ein Drehkondensator in Serie mit dem Quarz. Oberwellen könnten durch Interferenz zu einer Phasenverschiebung und damit zur Beeinträchtigung der Frequenzstabilität führen. Um das zu vermeiden, arbeitet der Oszillator im A-Betrieb ohne Gitterstrom. Die dazu notwendige Amplitudenbegrenzung wird durch eine amplitudenabhängige Gegenkopplung in der Katodenleitung erreicht. Zu diesem Zweck ist auf der Sekundärseite des Katodentransformators eine Glühlampe eingeschaltet, deren Widerstand sich mit der Oszillator-Amplitude ändert. Durch die so erreichte Gegenkopplung wird nicht nur Gitterstrom vermieden, sondern gleichzeitig werden alle Amplituden-Änderungen infolge von Schwankungen der Versorgungsspannungen oder der Röhrendaten mit ihrem schädlichen Einfluß auf die Frequenzkonstanz ausgeglichen. Durch die Unterdrückung des Gitterstromes wird verhindert, daß Änderungen der Gittercharakteristik

während der Lebensdauer sich auf die Stabilität des Oszillators auswirken können; und auch auf der Anodenseite wird der Einfluß des Innenwiderstandes der Röhren auf die Oszillatorstabilität gering gehalten, indem die Anoden-Aussteuerung durch eine Glimmlampe und die Schirmgitterspannung durch einen Vorwiderstand in der Schirmgitterleitung begrenzt werden. Bei zu großer Aussteuerung und zu hoher Schirmgitterspannung würde der Innenwiderstand in den negativen Spitzen der Anodenspannung zu niedrig werden.

Über eine als Begrenzer geschaltete Trennstufe ($R\ddot{o}2$) wird der Oszillator mit der Normalfrequenz von 60 kHz synchronisiert. Die Begrenzerstufe liefert auch bei stark schwankender Normalfrequenzspannung eine konstante Synchronisationsspannung an dem 4Ω Widerstand im Eingang des Oszillators. Der Bereich, in dem die Synchronisationsstufe den Oszillator mitziehen kann, beträgt ungefähr 1 Hz. Wird die Frequenzabweichung zwischen Normalfrequenz und Grund-Oszillator größer, so wird die Synchronisation unwirksam, und es erfolgt eine automatische Umschaltung auf ein Reserve-Aggregat. Zu diesem Zweck wird die Frequenz des Grund-Oszillators durch Phasenvergleich mit der Normalfrequenz laufend überwacht.

In der Frequenz-Kontrollschaltung erhält das negativ vorgespannte Gitter von $R\ddot{o}3$ eine positive Gleichspannung, die von der Phasenverschiebung zwischen Synchronisationsspannung und Oszillator-Ausgangsspannung abhängig ist. Die Phasenverhältnisse am Modulator M , die in der Mitte des Synchronisationsbereiches vorliegen, zeigt Abb. 15a. Wenn die von



der Synchronisationsstufe abgenommene Spannung (Kurve 1) mit der vom Oszillator-Ausgang zurückgeführten Spannung (Kurve 2) in Phase liegt, liefert der Modulator eine maximale positive Gleichspannung (Kurve 3) an das Gitter von $R\delta_3$. Wenn sich Frequenzabweichungen einstellen, gibt es einen Augenblick, in welchem die Phasenverhältnisse von Abb. 15 b vorliegen, wo die beiden Eingangsspannungen des Modulators um 90° in der Phase verschoben sind, und die Ausgangsspannung Null wird. $R\delta_3$ ist dann gesperrt. Ohne Anodenstrom schließt das Relais Rs_3 den Kontakt rs_3 , wodurch der Eingang der Synchronisationsstufe eine Vorspannung von -24 V erhält und gesperrt wird. Das Relais Rs_1 schaltet dann auf ein Ersatzaggregat um.

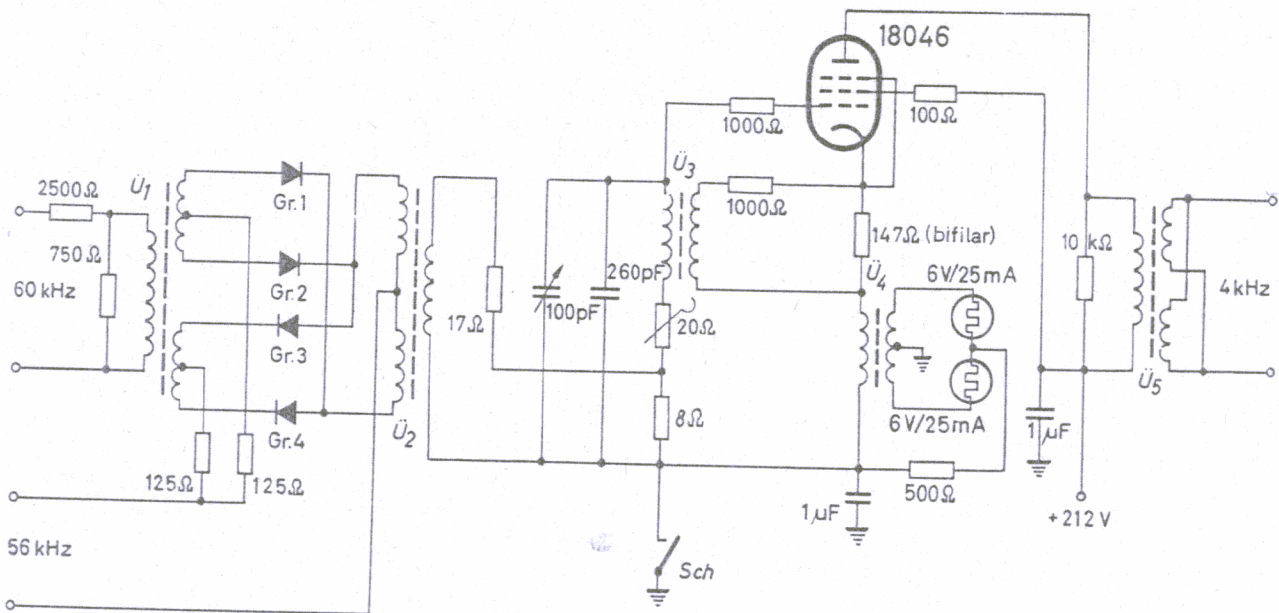


Abb. 16. Modulator und selektiver Verstärker im Frequenzteiler

Diese Schaltung besteht aus einem Modulator, der mit 60 kHz und 56 kHz die Differenzfrequenz 4 kHz bildet, einem auf 4 kHz abgestimmten Kreis und einem Verstärker mit Rückwirkung, wobei das Maß der Rückwirkung in zwei Stufen einstellbar ist. Wie bereits erwähnt (siehe Abb. 14), soll der Verstärker beim Einschalten, solange die 56 kHz Frequenz fehlt, als 4 kHz Oszillator arbeiten, sobald aber die 56 kHz Frequenz an den Modulator gelangt, soll er ein reiner Verstärker sein.

Die Umschaltung von einer Funktion in die andere erfolgt mit Hilfe des Schaltkontaktes Sch . Solange die 56 kHz Frequenz im Eingang fehlt, ist Sch geschlossen, und der Katodenstrom fließt über den Katodenwiderstand von 10 k Ω und U_4 direkt zur Erde. Die Über-

trager U_3 und U_4 mit der Lampenbelastung sind so dimensioniert, daß die Rückwirkung bei dieser Schaltung positiv wird und die Röhre als Oszillator arbeitet.

Zusammen mit dem Auftreten der 56 kHz Spannung im Eingang wird Sch geöffnet. Der Katodengleichstrom fließt dann über den 500 Ω Widerstand und die Sekundärschaltung des Transformators U_4 nach Erde, während der Katodenwechselstrom über den 1 μ F Kondensator abgeleitet wird. Durch die Gleichstrombelastung wird der Widerstand der Lampen erhöht. Die Schaltung ist so ausbalanciert, daß unter diesen Umständen eine negative Rückwirkung (Gegenkopplung) eintritt. Die Röhre schwingt dann nicht mehr sondern arbeitet als Verstärker.

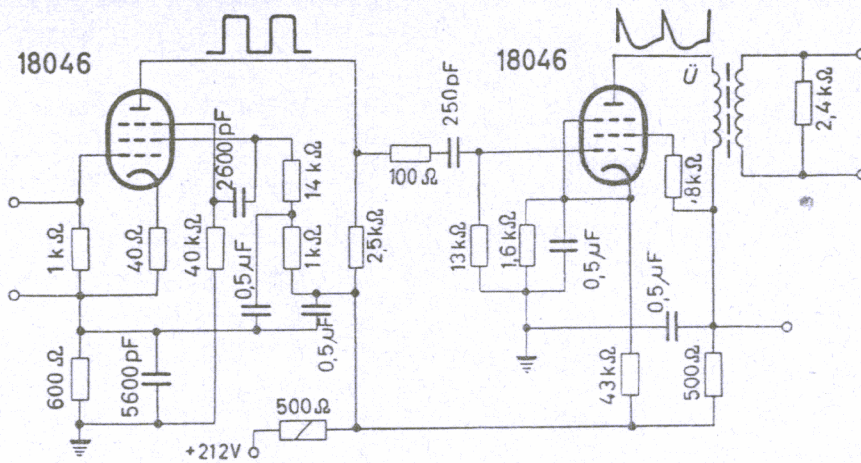


Abb. 17. 4 kHz Multivibrator

Die Schaltung zeigt eine 18046 in einer Transitor-Multivibratorstufe mit einem Differenzierungsglied im Ausgang und einer nachgeschalteten Verstärkerstufe mit einer weiteren 18046. Die Transitorstufung ist gewählt, weil man dafür mit Kapazitäten und Widerständen auskommt, die mit 0,5% Toleranz ausgeführt werden können. Die Transitorstufung, und zwar sowohl den Schirmgitterstrom- wie den entsprechenden Anodenstrom-Verlauf, zeigt die Abb. 17 a. Der instabile Bereich der Schirmgitterstrom-Kennlinie kann bei kapazitiver Kopplung zwischen Schirmgitter und Bremsgitter ($C_{g2g3} = 2600 \text{ pF}$) zur Erzeugung steiler Stromimpulse, die durch Umspringen von einem stabilen Schirmgitterstrom-Bereich zum anderen entstehen, ausgenutzt werden. Eine Verschiebung der Bremsgitterspannung zu negativen Werten bewirkt im instabilen Bereich eine Erhöhung des Schirmgitterstromes und damit eine Verringerung der Schirmgitterspannung, die infolge der kapazitiven Kopplung zwischen $g2$ und $g3$ eine weitere Verschiebung von $g3$ zu negativen Werten nach sich zieht. Bei der angegebenen Schaltung bewegt sich der Arbeitspunkt auf der in Abb. 17 a durch Pfeile gekennzeichneten dynamischen Kennlinie in Pfeilrichtung. Die Steigung der gestrichelten Teile dieser Kennlinie ist durch den Wert $1/R$ gegeben, wobei mit R die Parallelschaltung von R_{g2} und R_{g3} einschließlich der dazu parallel liegenden Innenwiderstände der Röhrenstrecken bezeichnet ist.

Die instabilen Bereiche BD und CA werden schnell durchlaufen; sie bestimmen die Form der Impulsflanken. Während dieser Phase tritt praktisch keine Änderung in der Ladung des Kondensators C_{g2g3} ein. Die Flankensteilheit der Stromimpulse hängt von $1/R$ sowie von der Schirmgittersteilheit und den Röhren- und Schaltkapazitäten ab. Steile Impulse erhält man nur bei ausreichend kleinen Schaltkapazitäten. Die stabilen Bereiche AB und DC der Kennlinie, die infolge Umladung des Kondensators C_{g2g3} durchlaufen werden, sind maßgebend für die Impulsbreite und die Frequenz. Die Impulsbreite wird dabei von den Röhrendaten und von der Zeitkonstanten $(R_{g2} + R_{g3}) C_{g2g3}$ bestimmt.

An der Multivibrator-Funktion sind nur das Schirmgitter und das Bremsgitter beteiligt. Das Steuergitter steht für die Synchronisation zur Verfügung. Die Ausgangsimpulse kann man dann von der elektronisch angekoppelten Anode abnehmen, wo die Stromänderungen ungefähr doppelt so groß sind wie am Schirmgitter. Dabei soll die Eingangsimpedanz am Gitter 1

nicht über $1 \text{ k}\Omega$ gewählt werden, um Rückwirkungen von $g2$ auf $g1$ zu vermeiden, wodurch der Anstieg der Impulse abgeflacht werden könnte. Das Bremsgitter erhält durch den Spannungsabfall an einem Widerstand in der Katodenleitung eine negative Vorspannung, so daß die Synchronimpulse am Gitter 1 mit Sicherheit eine Verschiebung in den instabilen Bereich auslösen. Der Widerstand in der Bremsgitterleitung darf $50 \text{ k}\Omega$ nicht überschreiten, um Störungen durch Sekundäremission zu vermeiden.

Die Abhängigkeit der Impulsbreite von den Röhrendaten erfordert die Einschaltung eines Differenzierungsgliedes vor dem Eingang der nächsten Verstärkerstufe. Dieses Glied verwandelt den rechteckigen Verlauf der Transitor-Impulse in einen Verlauf mit steilem Anstieg und exponentiellem Abklingen.

Das Frequenzspektrum wird dadurch unabhängig von der Breite der Transitor-Impulse, während die Höhe der Ausgangsimpulse durch den Schirmgitterwiderstand der Verstärkerstufe begrenzt wird. Dieser bewirkt nämlich eine solche Absenkung der Schirmgitterspannung, daß Gitterstrom einsetzt. Auf diese Weise entstehen sehr gleichmäßige Impulse bzw. stabile Amplituden für die Harmonischen im Ausgang der Schaltung. Der Ausgangsverstärker arbeitet in Klasse B Einstellung und führt nur Strom, wenn Impulse an das Gitter gelangen. Ihre Vorspannung erhält diese Stufe durch einen Spannungsteiler für die Katode.

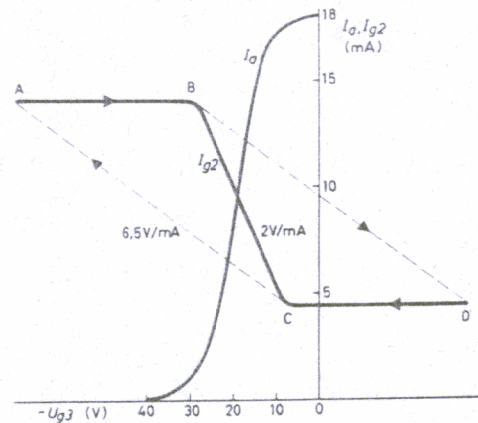


Abb. 17 a.

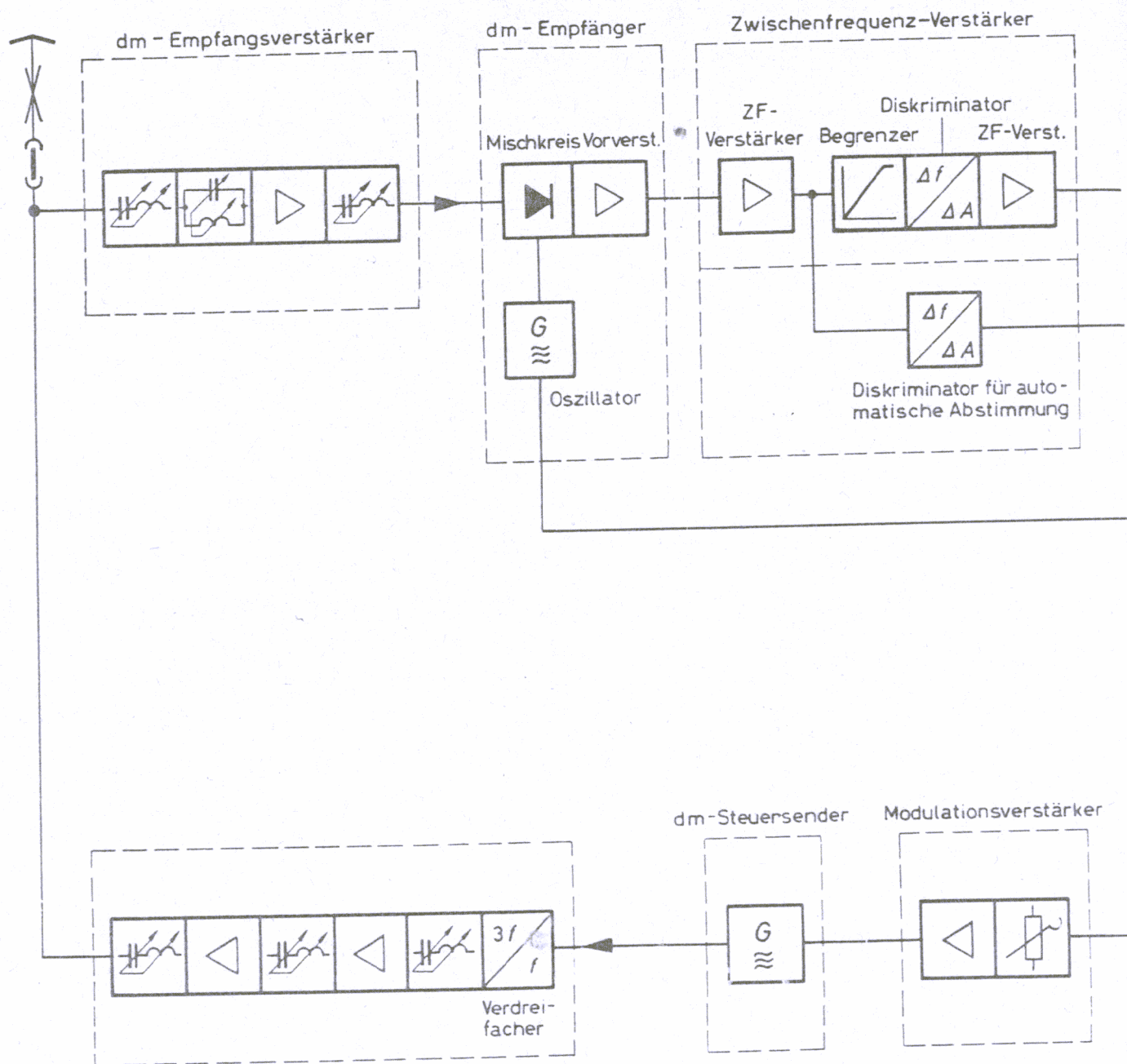
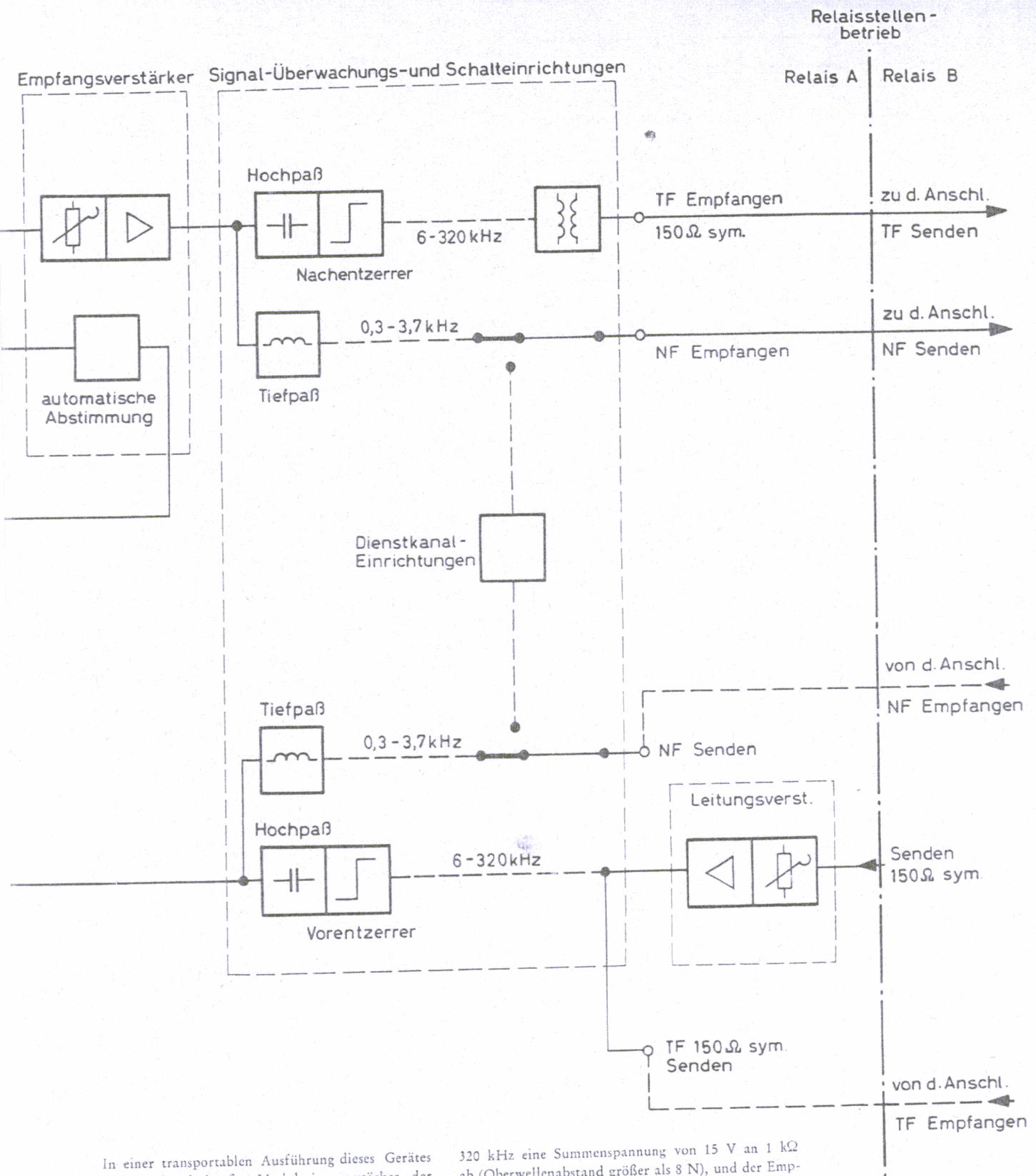


Abb. 18 a. Blockschaltbild einer Richtfunkeinrichtung für 60 Sprechkanäle^{*)}

In Verbindung mit TF-Geräten ist die abgebildete Richtfunkeinrichtung für die Übertragung von 60 Sprechkanälen und einem Dienstkanal bestimmt. Das Gerät arbeitet im 1500 MHz Bereich mit Frequenzmodulation. Der maximale Frequenzhub beträgt 350

kHz. Der ZF-Verstärker ist mit den Langlebensdauer-Röhren 18042 und 18046 bestückt (nähere Erläuterung siehe Abb. 18 b und c). Aus dem ZF-Verstärker wird eine Gleichspannung zur automatischen Abstimmung des Lokal-Oszillators abgeleitet.

^{*)} Die Abb. 18a — c sind mit freundlicher Erlaubnis der Firma Pintsch Elektro GmbH, Konstanz veröffentlicht.



In einer transportablen Ausführung dieses Gerätes sind auch der dreistufige Modulationsverstärker, der zweistufige Empfangsverstärker und der zweistufige Leitungsverstärker mit der 18046 bestückt. In den Endstufen sind jeweils zwei 18046 parallel geschaltet. Der Modulationsverstärker gibt im Bereich 300 Hz bis

320 kHz eine Summenspannung von 15 V an 1 k Ω ab (Oberwellenabstand größer als 8 N), und der Empfangsverstärker kann einem Summenpegel von 1 N an 150 Ω abgeben (Frequenzbereich 300 Hz bis 320 kHz, Oberwellenabstand 8 N). Der Leitungsverstärker hat die gleichen Daten wie der Empfangsverstärker.

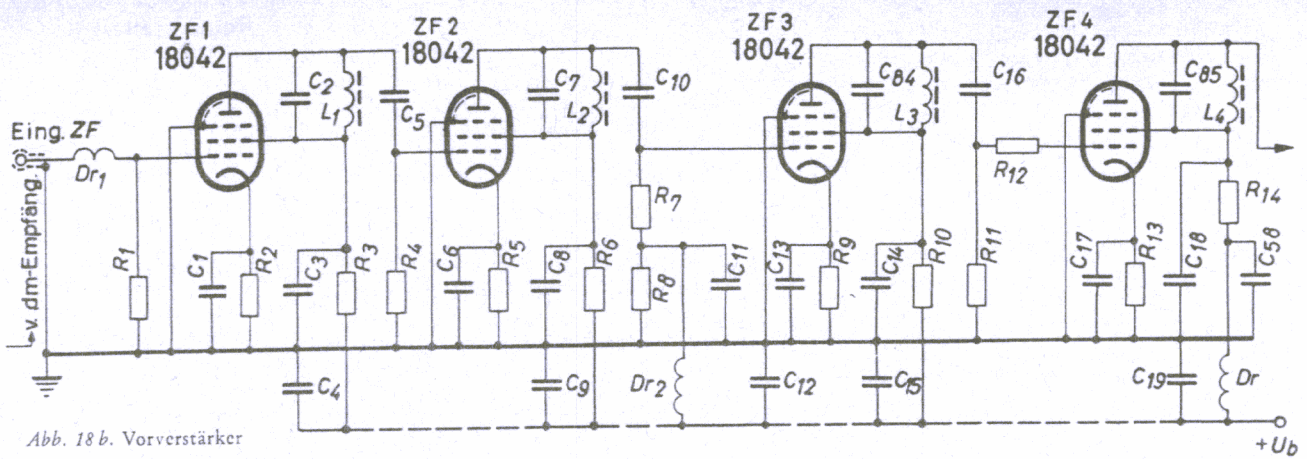


Abb. 18 b. Vorverstärker

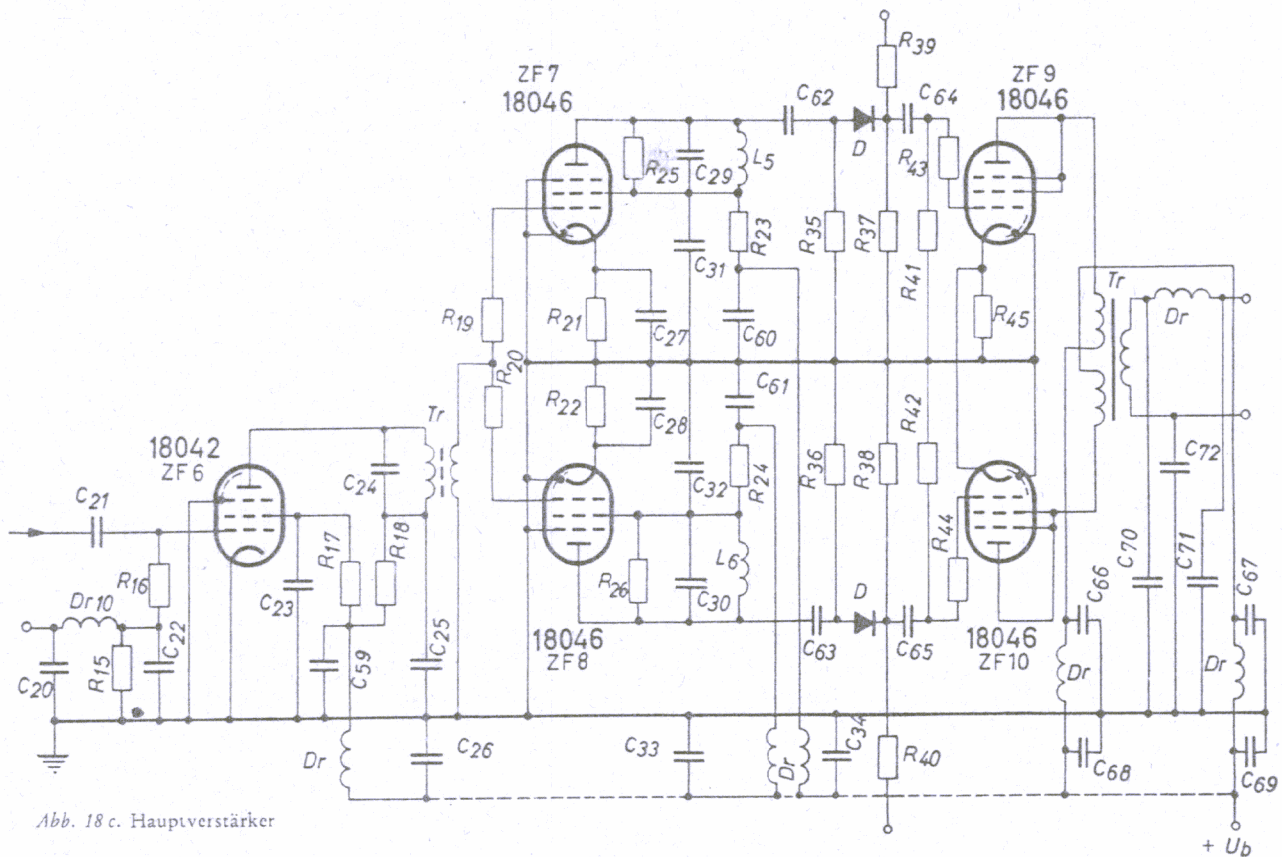


Abb. 18 c. Hauptverstärker

Abb. 18 b und c. 49 MHz ZF-Verstärker für die Richtfunkeinrichtung nach Abb. 18 a.

Der ZF-Vorverstärker ist mit vier Röhren 18042 bestückt. Der ZF-Hauptverstärker arbeitet mit einer 18042 und zwei Röhren 18046. Die Stufen ZF 4 und ZF 6 arbeiten als Begrenzer. ZF 7 und ZF 8 gehören zum Empfangsdiskriminator. Die daran anschließenden Röhren ZF 9 und ZF 10 verstärken das am Diskriminator gewonnene NF- und TF-Band von 300 Hz bis 320 kHz. Die Zwischenfrequenz liegt bei 49 MHz.

Die ZF-Verstärkung bis zum Eingang der Begrenzeröhre ZF 6 beträgt 12,5 N mit einer gesamten Bandbreite von 3,2 MHz (= 3 dB). Die Anodenkreise aller Röhren, mit Ausnahme der Ausgangsröhren, sind auf dieselbe Frequenz (49 MHz) abgestimmt. Die nicht eingezeichnete Stufe ZF 5 speist den Frequenznachtschwing-Diskriminator.

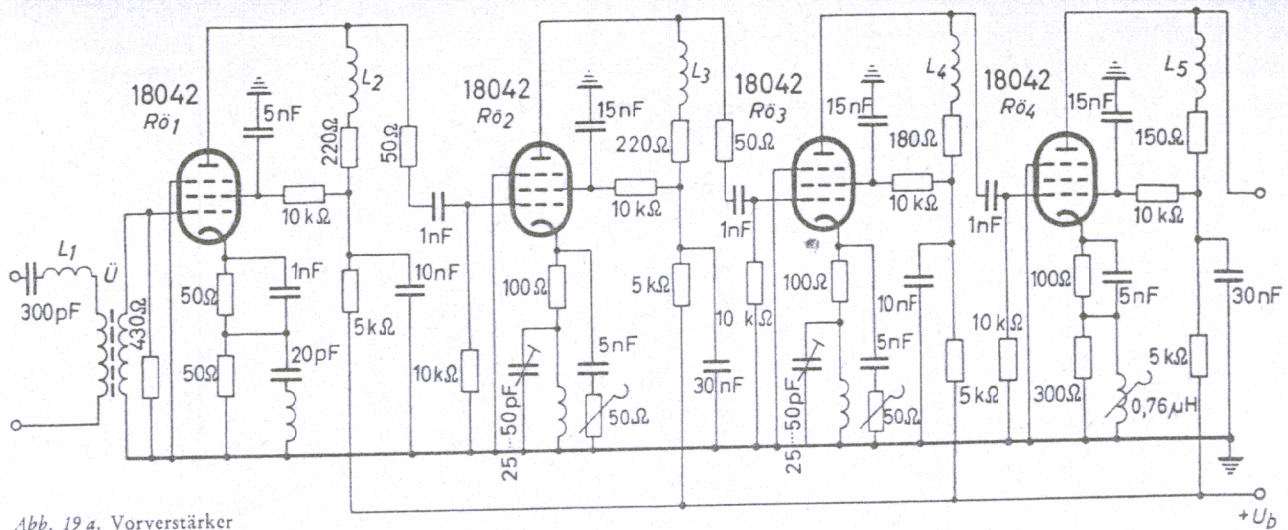


Abb. 19 a. Vorverstärker

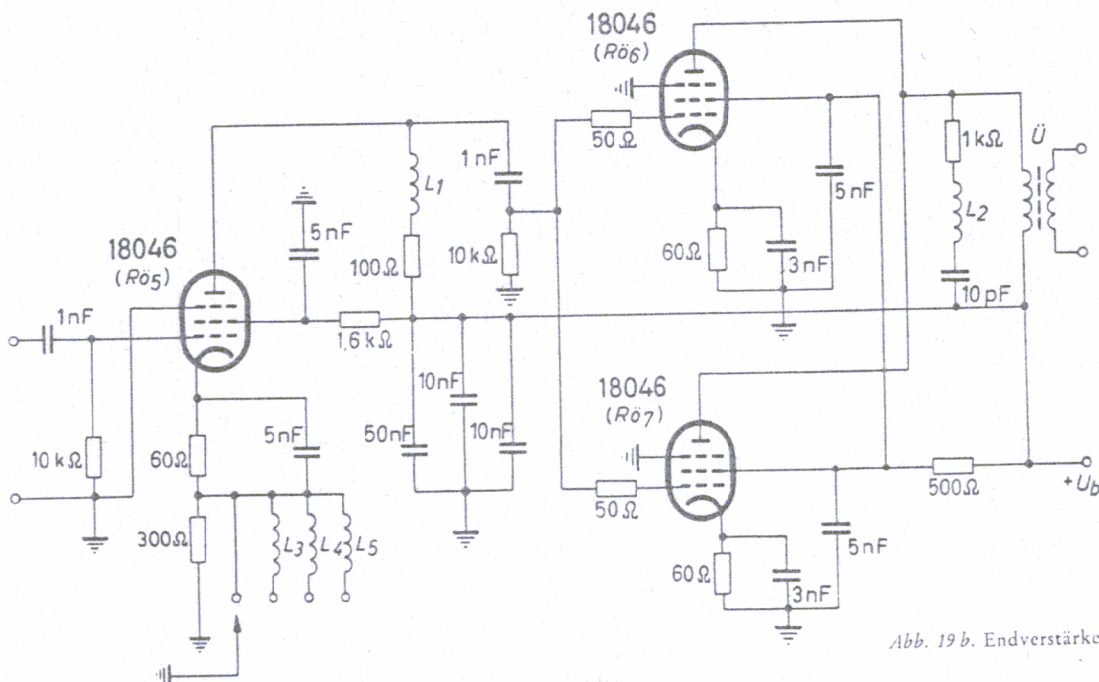


Abb. 19 b. Endverstärker

Abb. 19 a und b. Fernseh-Kabelverstärker 21 ± 6 MHz*)

Für die Fernseh-Übertragung auf Ortsleitungen wird eine Trägerfrequenz von 21 MHz mit Amplitudenmodulation benutzt. Bei einem Videoband von 6 MHz Breite geht der Übertragungsbereich von 15 bis 27 MHz. Die Leitungsverstärker für diese Ortsleitungen sind in den vier Vorstufen mit der Röhre 18042 ausgerüstet. In den Anodenkreisen der einzelnen Stufen liegen stark bedämpfte, auf 30 MHz abgestimmte Schwingkreise, die sich aus den Spulen L_2, L_3, L_4, L_5 , den Zuleitungsinduktivitäten und den Röhren-, Spulen- und Zuleitungskapazitäten zusammensetzen. Durch diese Kreise wird erreicht, daß der Frequenzgang des Kabels ausgeglichen wird. Zur Verbesserung des Frequenzganges liegt ein Serienresonanzglied im Eingang des Verstärkers.

Die beiden Stufen des Endverstärkers sind mit Röhren 18046 aufgebaut. Im Anodenkreis der ersten Stufe des Verstärkers liegt ebenso wie in den Vorstufen ein auf 30 MHz abgestimmter, jedoch stark

bedämpfter Schwingkreis, der durch die Spule L_1 , die Zuleitungsinduktivitäten und die Röhren-, Spulen- und Zuleitungskapazitäten gebildet wird. Die folgende Endstufe besteht aus zwei parallel geschalteten Röhren 18046. Beide Röhren arbeiten auf einen gemeinsamen Ausgangsübertrager, zu dem ein Serienresonanzglied zur Verbesserung des Frequenzganges parallel liegt.

Die Gesamtverstärkung des Gerätes ist frequenzabhängig und entspricht dem Dämpfungsgang des Kabels. Sie kann durch die veränderlichen Gegenkopplungsglieder in den Katodenleitungen der Röhren 2, 3 und 5 eingestellt werden. Der Verstärkungsfaktor beträgt 6,5 N bei 27 MHz. Der maximale Scheitelwert der Ausgangsspannung entsprechend einer Übertragung von Bildweiß beträgt 3 V an 70 Ω . Praktisch die gleichen Ergebnisse kann man erzielen, wenn man die beiden Stufen des Endverstärkers mit je einer E 80 L bestückt.

*) Veröffentlicht mit freundlicher Genehmigung der Firma Felten und Guillaume Fernmeldeanlagen GmbH, Nürnberg.

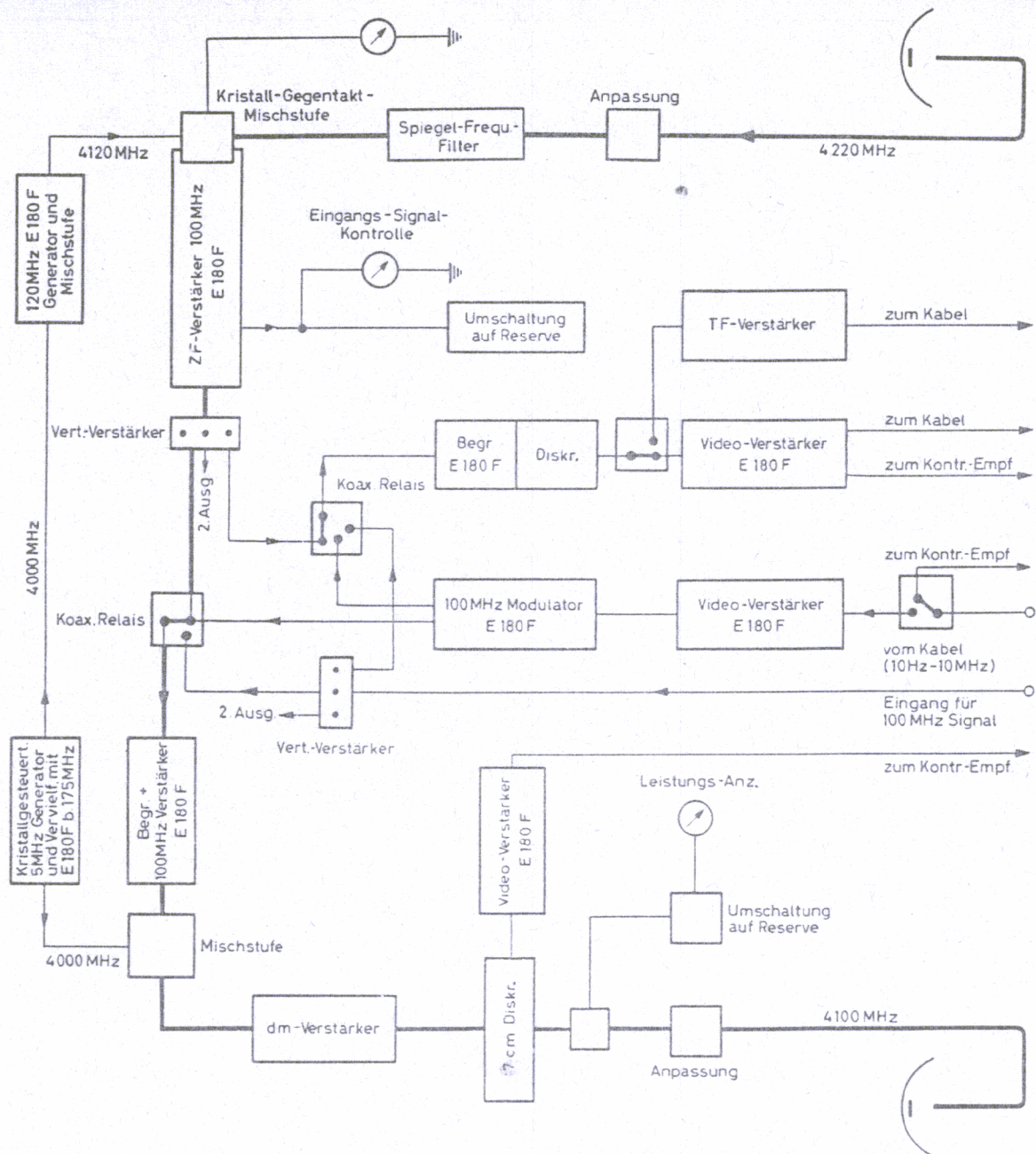


Abb. 20 a. Relaisstation einer 7 cm Richtfunkverbindung

Um die vielfachen Einsatzmöglichkeiten für die E 180 F in Richtfunksystemen für die Übertragung breiter Bänder deutlich zu machen, sind in dem hier angegebenen Blockschaltbild einer Fernsehstrecken-Relaisstation die mit der E 180 F bestückten Bausteine entsprechend gekennzeichnet. Das System ist für die Übertragung eines Videobandes von 30 Hz bis 6 MHz auf einem frequenzmodulierten Träger von 4000 MHz mit ± 6 MHz Frequenzhub über eine Linie von Relaisstellen bestimmt. An Stelle einer Fernseh-Sendung können auch 300 Sprechkanäle übertragen werden. Jede Relaisstation hebt die Dämpfung des vorhergehenden Funkfeldes wieder auf. Die Hauptverstärkung liegt dabei im 100 MHz Zwischenfrequenzverstärker. Für die Frequenz-Umsetzung auf der Empfangs- und auf der Sendeseite wird die Oszillatorfrequenz von einem gemeinsamen kristallgesteuerten 5 MHz Generator mit angeschlossenem Vervielfacher abgeleitet. Auf diese

Weise wird es möglich, die Kanalfrequenz mit einfachen Mitteln genau einzuhalten. Durch die Frequenzverschiebung von 120 MHz zwischen den Oszillatoren auf der Empfangs- und Sendeseite, die in einer zusätzlichen Mischstufe vorgenommen wird, stellt man einen Frequenzabstand von 120 MHz zwischen der Sende- und Empfangsfrequenz her und vermeidet so Rückwirkungen vom Ausgang auf den Eingang.

Außer im 100 MHz ZF-Verstärker, der in Abb. 20 b im einzelnen gezeigt wird, ist die E 180 F in allen übrigen 100 MHz Modulationsverstärkern und Begrenzern sowie im Oszillator-Vervielfacher bis zur 175 MHz Stufe verwendet worden. Ferner ist sie in den Videoverstärkern eingesetzt, welche zu den angeschalteten Kontrollempfängern gehören, bzw. welche die Überleitungsglieder zu oder von einem Fernsehkabel darstellen.

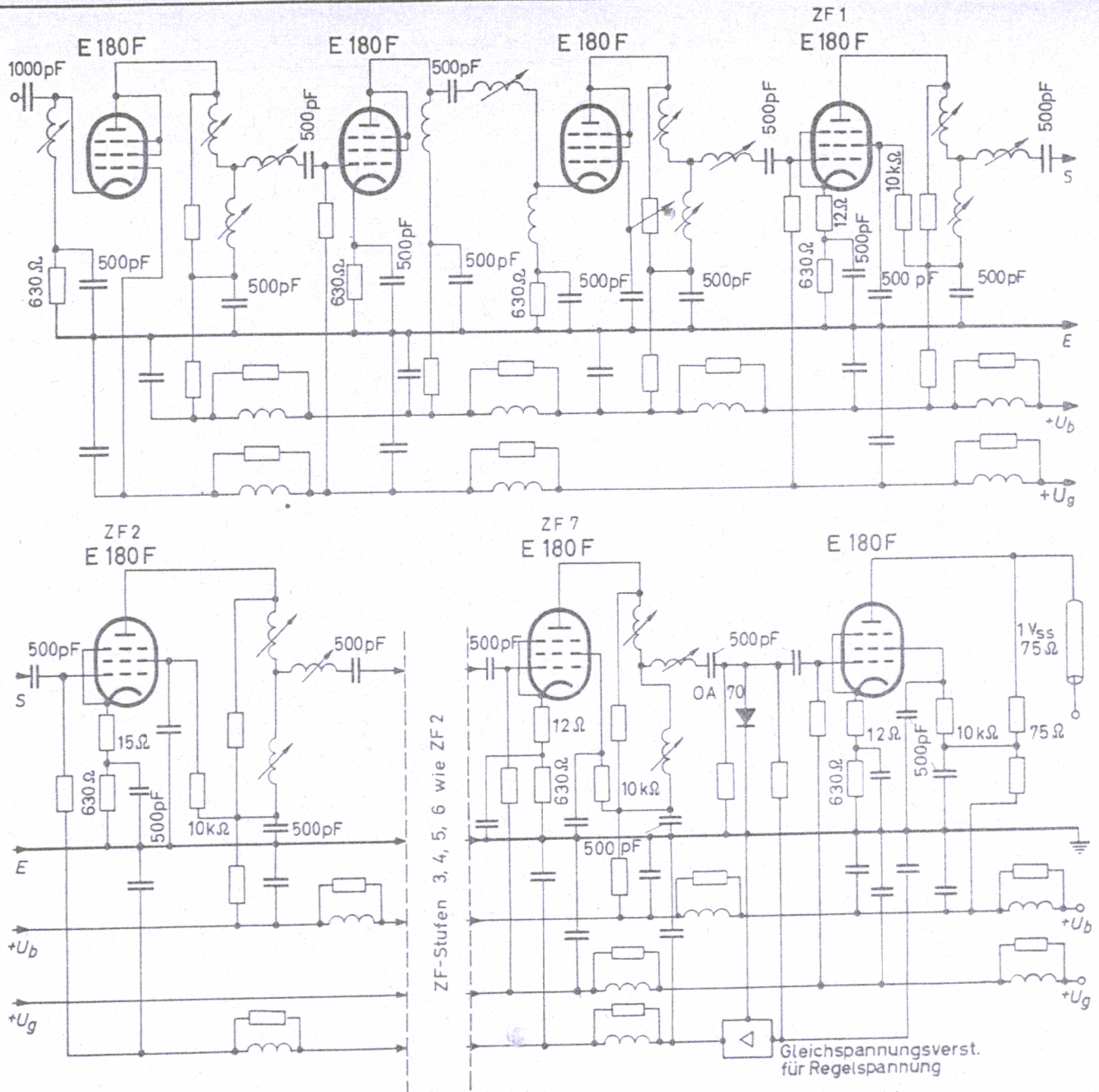


Abb. 20 b. 100 MHz Zwischenfrequenzverstärker in einer Richtfunk-Relaisstation nach Abb. 20 a

Dieser ZF-Verstärker für die Übertragung eines frequenzmodulierten 100 MHz Signals mit ± 6 MHz Frequenzhub (Index 1) besteht aus einem rauscharmen Vorverstärker mit drei E 180 F Triodenstufen und dem Hauptverstärker mit sieben E 180 F Pentodenstufen, denen noch eine Trennstufe folgt. Der Vorverstärker bildet mit der vorgeschalteten Mischstufe eine Baueinheit (hier ist die Mischstufe nicht mit angegeben), um eine möglichst kurze Verbindungsleitung zu erzielen. Die erste Röhre im Vorverstärker ist zur Anpassung an den Kristallmischer als Gitterbasisstufe geschaltet. Die beiden folgenden Röhren bilden eine Cascode-Stufe. Im Hauptverstärker sind in allen Stufen die gleichen T-Glieder verwendet. Die erste Stufe wird nicht geregelt, während die Stufen ZF 2 bis ZF 7 in die automatische Verstärkungsregelung einbezogen sind. Sämtliche Röhren arbeiten mit Gleichstrom-Gegenkopplung in der Katodenleitung zur Stabilisierung des Arbeitspunktes. An die Steuergitter muß dann

eine positive Vorspannung gelegt werden, und die Regelspannung wird über einen zweistufigen Gleichspannungsverstärker zugeführt. Den Verstärker schließt eine Endstufe ab, die eine Ausgangsspannung von $1 V_{SS}$ an das angeschlossene 75Ω Verbindungskabel abgibt.

Die Gesamtverstärkung von Vor- und Hauptverstärker bis zur Anode der Trennstufe beträgt etwa 80 dB für eine 1 dB Bandbreite von 32 MHz. Die Rauschzahl wird allein durch den Vorverstärker bestimmt. Sie beträgt 5 dB. Die einzelnen Pentodenstufen haben einen Verstärkungsfaktor von 10 dB mit einer 0,1 dB Bandbreite von 32 MHz und einer 3 dB Bandbreite von 60 MHz. Die Verstärkung in den Vorstufen ist geringer.

Sämtliche Gleichspannungs-Zuführungen zum Verstärker sind durch Siebketten mit stark gedämpften Drosseln für HF und ZF gesperrt.

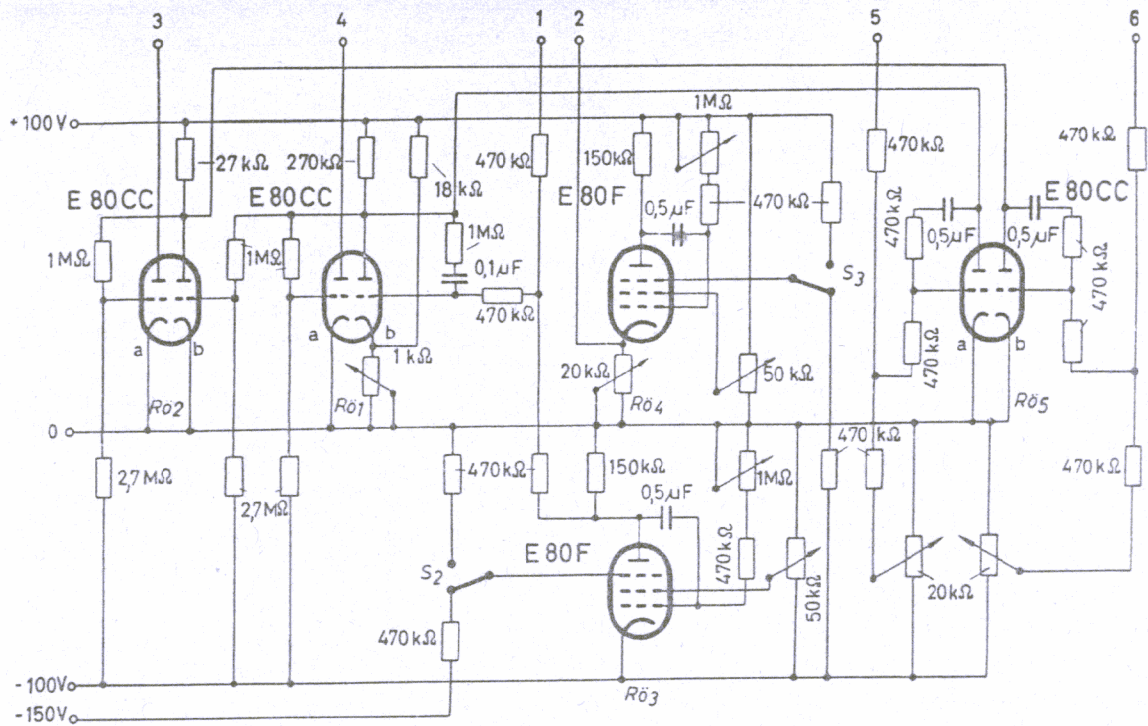


Abb. 21. Steuerverstärker für eine Motorsteuerung^{*)}

Der abgebildete Verstärker gehört zu einer Steuerung für den Antriebsmotor eines Aufzugs mit Gegengewicht. Die Ausgangsspannung (Klemmen 1 und 2) eines mit dem Motor gekoppelten Tacho-Generators und eine Vergleichsspannung werden mit Hilfe eines zwischengeschalteten Verstärkers in Ströme zur Vormagnetisierung von Drosseln in der Gitterschaltung von Steuerthyatronen für den Motor umgesetzt. Die Phasenschieberkreise, in denen diese Drosseln liegen, und der Steuerverstärker sind so eingestellt, daß bei erhöhter Drehzahl eine Bremsung des Motors eintritt und bei verringerter Drehzahl eine Beschleunigung, so daß die Nenndrehzahl automatisch eingehalten wird.

Mit der abgebildeten Schaltung kann man zwei verschiedene Drehzahlen einstellen und drei Kommandos für den Aufzugsbetrieb geben:

(1) Fahrt, d. h. Betrieb bei der hohen Nenndrehzahl; der Übergang vom Stillstand zu dieser Drehzahl wird durch entsprechende Verzögerungsglieder in der Schaltung nach einer vorgegebenen Beschleunigungskurve bestimmt.

(2) Umschalten auf die niedrige Nenndrehzahl vor Erreichen des gewünschten Stockwerkes; auch hier wird die Verzögerung durch die Schaltung des Verstärkers bestimmt.

(3) Halten.

Die Drehrichtung wird durch Feldumschaltung gewählt.

Die Steuer-Thyatronen sind in zwei Gruppen geschaltet, von denen die eine bei Beschleunigung des Motors und die andere bei Bremsung Strom führt. Der Strom für die Steuerdrosseln wird über die Klemmen 3 und 4 abgenommen. Bei Nenndrehzahl sind alle Thyatronen stromlos. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß dann auch alle Steuerdrosseln stromlos sind. Bei Beschleunigung fließt Strom über Klemme 4, bei Bremsung dagegen über Klemme 3.

Diese Ströme werden durch Polarität und Größe der Steuerspannung am Gitter von $R\delta_1 b$ bestimmt, die aus der Tachospaltung und der von $R\delta_3$ und $R\delta_4$ gelieferten Vergleichsspannung hergeleitet wird. Bei der Steuerspannung Null (Tachospaltung und Vergleichsspannung sind gleich) werden $R\delta_1 a$ und $R\delta_2 b$ hergeleiteten Gitterspannungen gesperrt. Bei positiver Steuerspannung (Tachospaltung größer als Vergleichsspannung, d. h. der Motor muß gebremst werden) bleibt $R\delta_1 a$ gesperrt, dagegen wird die Vorspannung von $R\delta_2 a$ positiver, und es fließt Strom über Klemme 3. Bei negativer Vorspannung (Tachospaltung kleiner als Vergleichsspannung, d. h. der Motor muß beschleunigt werden) bleibt $R\delta_2 a$ gesperrt, und $R\delta_1 a$ liefert Strom über Klemme 4. Die beiden festen Drehzahlen sind durch die Vergleichsspannung und damit durch die Schirmgitterspannungen von $R\delta_3$ und $R\delta_4$ bestimmt. Um die hohe Drehzahl einzuschalten, wird die Sperrung von $R\delta_3$ über den Schalter S_2 aufgehoben. Der Anstieg der Vergleichsspannung nach dem Einschalten erfolgt auf Grund der Miller-Integratorschaltung von $R\delta_3$ mit der um den Verstärkungsfaktor der Röhre vergrößerten Zeitkonstanten des Gitter-Anodenkreises. Die Umschaltung auf die kleine Drehzahl erfolgt durch Aufheben der Sperrung von $R\delta_4$ über Schalter S_3 . Die Steuerspannung am Gitter 1 von $R\delta_1 b$ wird dadurch ins positive verschoben, und der Motor wird gebremst. Der Anstieg der Vergleichsspannung geht dabei ebenfalls der Miller-Integratorschaltung von $R\delta_4$ entsprechend verzögert vor sich. Der Aufzug hält dann sofort, wenn beide Bremsgitter durch S_2 und S_3 auf negative Vorspannung geschaltet werden. $R\delta_5$ wird zur Strombegrenzung in den Steuer-Thyatronen benutzt. Gibt man auf das Gitter von $R\delta_5 a$ eine Spannung, die durch den Strom in den Motor-Thyatronen bestimmt ist, und entsprechend auf das Gitter von $R\delta_5 b$ eine vom Strom in den Brems-Thyatronen abhängige Span-

^{*)} angegeben von H. Sobotka, siehe Electronic Application Bulletin, Band 15, Heft 7, S. 105.

nung, so kann man erreichen, daß die Röhre $R\ddot{o}s$ den Röhren $R\ddot{o}1a$ und $R\ddot{o}2a$ entgegenwirkt. Zu diesem Zweck ist der Anodenstrom von $R\ddot{o}s$ a über den Anodenwiderstand von $R\ddot{o}1b$ geleitet und der Strom von $R\ddot{o}s$ b über den Anodenwiderstand von $R\ddot{o}2b$. Man erhält so eine automatische Begrenzung der Steuer-

wirkung. Die ruckartige Beschleunigung beim Anfahren der Anlage wird durch RC-Glieder zwischen den Gittern und Anoden von $R\ddot{o}s$ begrenzt.

Um für eine solche elektronische Aufzugssteuerung das äußerste an Betriebssicherheit zu erreichen, ist es üblich, alle Röhren doppelt einzuschalten.

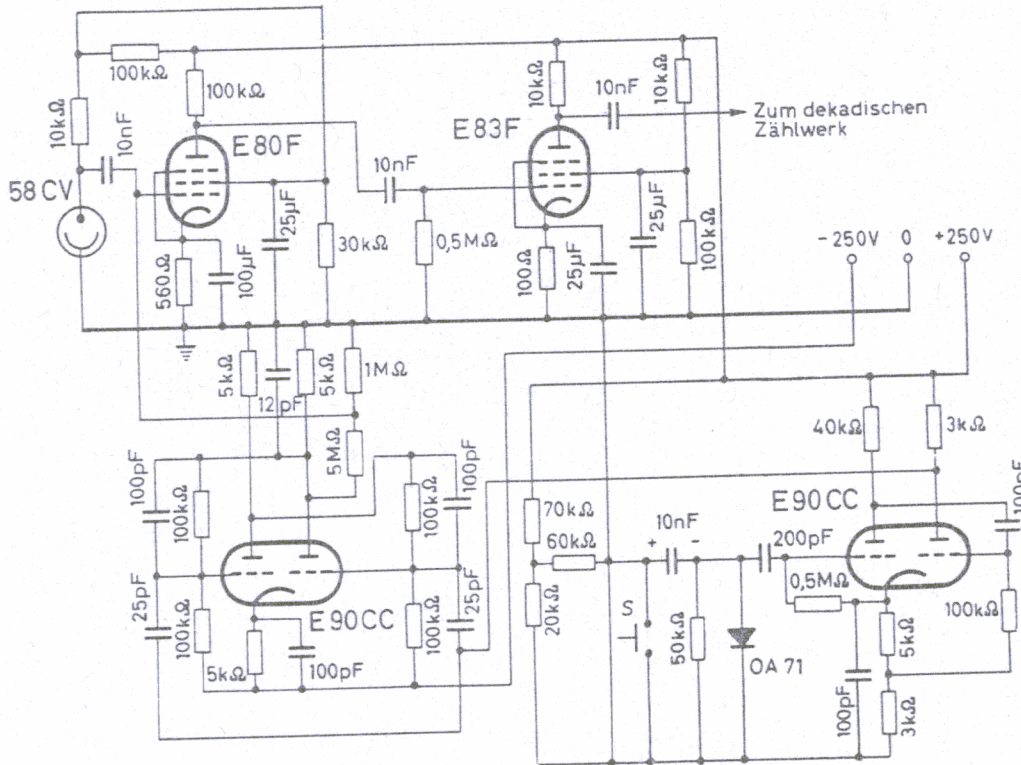


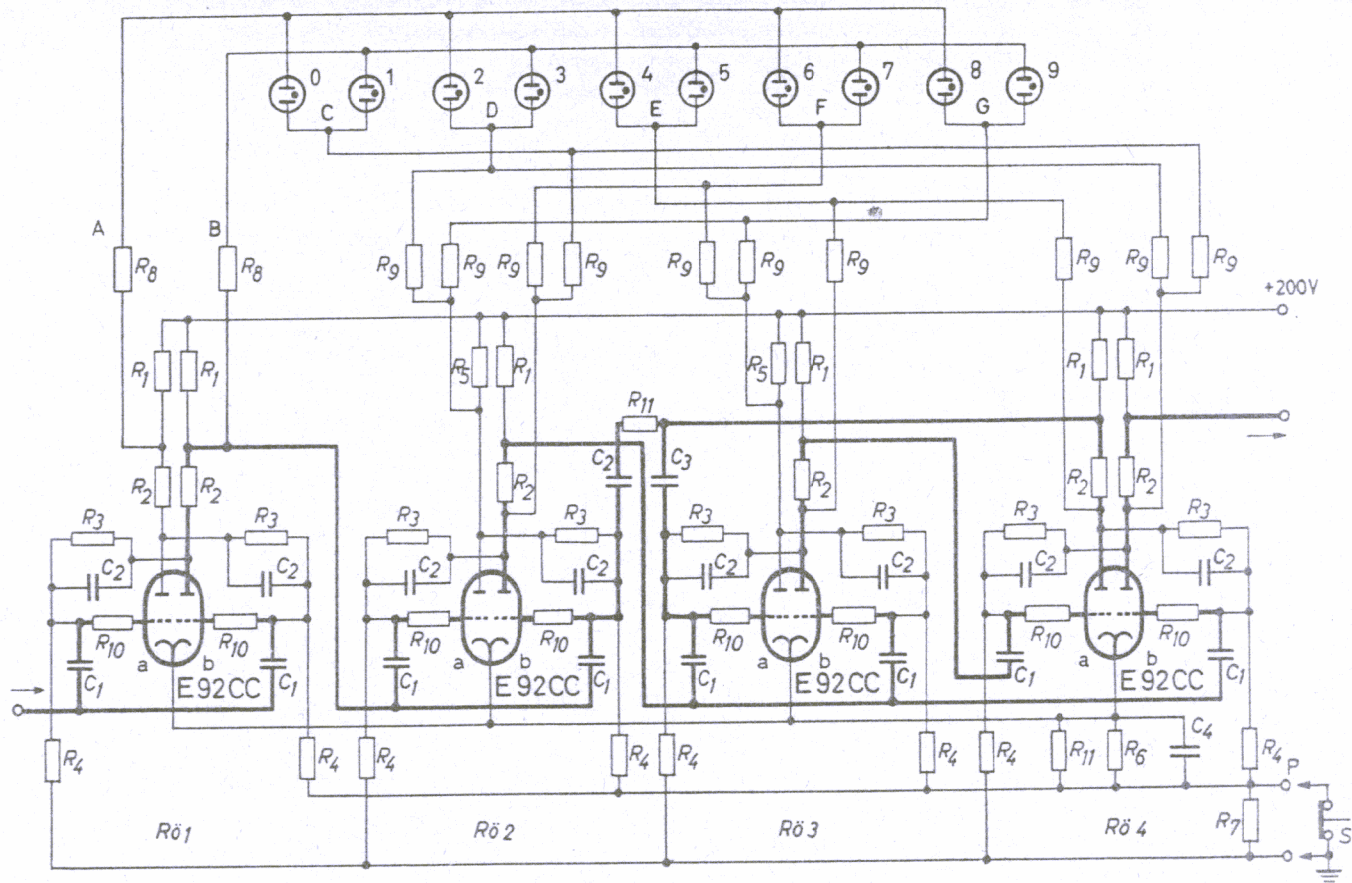
Abb. 22. Lichtelektrische Zählleinrichtung

Bei halbautomatisch arbeitenden Maschinen, etwa einer Presse, Stanze, Tablettiermaschine oder dgl., oder überall da, wo die Gleichmäßigkeit eines Vorganges überwacht werden soll, kann man Fotозellen-Verstärker einsetzen. In der hier wiedergegebenen Abbildung setzt z. B. eine Fotозelle Lichtimpulse, die von den zu zählenden Objekten herrühren, in entsprechende Spannungsstöße um, die auf den Eingang eines zwei-stufigen Verstärkers mit den Röhren E 80 F und E 83 F gegeben werden. Der Verstärker überträgt die Impulse auf ein dekadisches Zählwerk. Statt des Zählwerkes könnte auch zur Auslösung weiterer Schaltvorgänge ein Thyatron von den Ausgangs-Impulsen gesteuert werden. Die Zählleinrichtung wird durch zwei Kippstufen vervollständigt, die es gestatten, den Zählvorgang durch kurzzeitige Kontaktgabe willkürlich oder automatisch zu unterbrechen und wieder anlaufen zu lassen, ohne daß durch Kontaktprellungen oder dgl. bei der An- oder Abschaltung falsche Zählimpulse entstehen können. Der Steuerschalter liegt an einer Stelle, wo Kontaktprellungen nicht stören. Der Zähl-

vorgang wird unterbrochen, wenn die E 80 F negativ vorgespannt ist, wie es der Fall ist, wenn das rechte System der E 90 CC in bistabiler Kippstadium Strom führt. Die Steuerung der bistabilen Kippstufe erfolgt durch die zweite E 90 CC in monostabiler Kippstadium. Im Ruhezustand ist das linke System der monostabilen Kippstufe stromführend, das rechte gesperrt. Wird der Schalter S kurzzeitig geschlossen, so tritt am Steuergitter des linken Systems ein negativer Impuls auf, der die Röhre kippen läßt. Dadurch erhält auch die bistabile Stufe einen Impuls, der sie in den anderen Gleichgewichtszustand kippt. Erneute Betätigung von S stellt den ursprünglichen Zustand wieder her.

Mit dieser Schaltung hat man die Möglichkeit zu einer genauen Zeitmessung, wenn an Stelle der Fotозelle ein Impuls-generator bekannter Frequenz an das Steuergitter der E 80 F gelegt wird. Das Zählwerk gibt dann die Zeit zwischen zwei Betätigungen des Schalters S an. Bei einer Generatorfrequenz von 10 kHz z. B. zählt man Zehntel-Millisekunden.

BEISPIEL
einer Zählhaltung



R_1 12 k Ω 1 W 2%;	R_6 2,2 k Ω 2 W 2%;	R_{11} 22 k Ω 1/2 W 10%;
R_2 15 k Ω 1 W 2%;	R_7 1 k Ω 1/2 W 10%;	C_1 33 pF 5%;
R_3 68 k Ω 1 W 2%;	R_8 0,22 M Ω 1/4 W 5%;	C_2 100 pF 10%;
R_4 22 k Ω 1/4 W 2%;	R_9 0,47 M Ω 1/4 W 5%;	C_3 68 pF 5%;
R_5 27 k Ω 2 W 2%;	R_{10} 1 k Ω 1/2 W 10%;	C_4 0,01 μ F 10%;

Abb. 23. Dekadische Zählstufe mit Zweifach-Trioden*)

Eine dekadische Zählstufe läßt sich mit Trioden unter Verwendung von vier hintereinander geschalteten, dualen Zählstufen aufbauen, wobei durch entsprechende Schaltungsmaßnahmen erreicht wird, daß die vier hintereinander geschalteten, normalerweise insgesamt 16fach untersetzenden Dualstufen zusammen nur eine 10fache Untersetzung ergeben. Die abgebildete dekadische Zählstufe mit vier Röhren E 92 CC kann Zählfrequenzen bis zu maximal 150 kHz verarbeiten. Dabei wird die Zahl der auf den Eingang gegebenen Zählimpulse optisch durch ein System von zehn mit den Ziffern 0-9 bezeichneten Glimmlampen (Typ Philips Z 8; Stromaufnahme etwa 250 μ A; Zündspannung < 90 V) angezeigt. Die Glimmlampen sind so geschaltet, daß für jede der zehn Zählstellungen jeweils nur die Lampe mit der entsprechenden Ziffer aufleuchtet.

Die Schaltung ist für Betrieb mit negativen Impulsen ausgelegt. Sie umfaßt vier Flip-flop-Stufen; die ersten drei Stufen sind auf die übliche Weise zusammengeschaltet. In $R\ddot{o}4$ ist jedoch nur das Gitter des Triodensystems a mit der Anode von $R\ddot{o}3$ b gekoppelt, während das Gitter von $R\ddot{o}4$ b mit der Anode von $R\ddot{o}2$ b gekoppelt ist. Außerdem werden die am Anodenwiderstand von $R\ddot{o}4$ auftretenden Impulse

gleichzeitig auf das Gitter des Systems a von $R\ddot{o}3$ und auf das Gitter des Systems b von $R\ddot{o}2$ zurückgeführt. Zur besseren Übersicht sind diese für die grundsätzliche Wirkungsweise wichtigen Verbindungen im Schaltbild hervorgehoben.

In der Tabelle auf Seite 31 ist eine Übersicht angegeben, aus der man die jeweilige Betriebs-Einstellung („Ein“- oder „Aus“-Stellung) der Triodensysteme nach 0, 1, 2... usw. auf den Eingang gegebenen Zählimpulsen ablesen kann. Der Zählvorgang läuft im einzelnen in folgenden Schritten ab:

In „Null“-Stellung sind zunächst alle rechten Triodensysteme (b) in „Ein“-Stellung, also stromführend. Die ersten drei (negativen) Eingangsimpulse, die durch die RC-Glieder $R_4 C_1$ differenziert auf die Gitter der ersten beiden Trioden ($R\ddot{o}1$ a und $R\ddot{o}1$ b) gelangen, werden wie üblich gezählt. Die einzelnen Flip-flop-Stufen sind so ausgelegt, daß sie nur auf die von der jeweils vorgeschalteten Stufe weitergegebenen negativen Impulse ansprechen, nicht aber auf die z. B. beim Übergang der Triode $R\ddot{o}1$ b von der „Ein“- in die „Aus“-Stellung gleichfalls gelieferten positiven Impulse. Durch den vierten Impuls nun wird $R\ddot{o}2$ b wieder in den stromführenden Zustand gebracht, und ein negativer Impuls wird dadurch auf die Gitter der

*) nach einem internen Bericht von A. van Houten.

Trioden $R\ddot{o}3b$ und $R\ddot{o}4b$ gegeben. $R\ddot{o}4a$ wird somit stromföhrnd; das gleiche würd mit $R\ddot{o}3a$ geschehen, wenn nicht gleichzeitig über den Rückkopplungsweig von der Anode der Triode $R\ddot{o}4a$ über C_3 ein negativer Impuls auf das Gitter von $R\ddot{o}3a$ gegeben würd, wodurch $R\ddot{o}3b$ im stromföhrnden Zustand verbleibt. Auch auf das Gitter von $R\ddot{o}2b$ wird von $R\ddot{o}4a$ über $R_{11}C_2$ gleichzeitig ein negativer Impuls zuröckgeföhrt, wodurch $R\ddot{o}2a$ stromföhrnd wird. In der Tabelle sind die „Zwischenzustände“ von $R\ddot{o}2b$ und $R\ddot{o}3a$ gestrichelt gezeichnet. Die Situation nach dem vierten Eingangsimpuls sieht daher so aus: Stromföhrnd, d. h. in „Ein“-Stellung sind $R\ddot{o}1b$, $R\ddot{o}2a$, $R\ddot{o}3b$ und $R\ddot{o}4a$. Vom fönften Eingangsimpuls an werden die Impulse wieder „normal“ gezöhlt; der zehnte Impuls bringt die ganze Zöhlstufe wieder in die „Null“-Stellung zuröck (alle Systeme b stromföhrnd) unter gleichzeitiger Abgabe eines negativen Impulses vom Anodenwiderstand der Triode $R\ddot{o}4b$ an eine nachgeschaltete Dekaden- oder Endstufe.

Die Röckstellung auf „Null“ kann auch jederzeit von Hand durch Öffnen des Druckschalters S erfolgen. Normalerweise ist der Schalter geschlossen und der Punkt P geerdet. Durch Öffnen von S entsteht über dem $1\text{ k}\Omega$ Widerstand R_7 ein Spannungsabfall von etwa $+20\text{ V}$ gegen Erde, wodurch alle rechten Triodensysteme (b) stromföhrnd werden, und die dekadische Zöhlstufe somit die Zöhlstellung „Null“ einnimmt.

Sämtliche Glimmlampen mit geradzahigen Ziffern sind einpolig (A) mit der Anode von $R\ddot{o}1a$ verbunden, die bei allen geradzahigen Impulsen gesperrt wird. Sämtliche Glimmlampen mit ungeradzahigen Ziffern sind dagegen einpolig (B) mit der Anode von $R\ddot{o}1b$ verbunden, die bei allen ungeradzahigen Impulsen stromlos wird. Die fünf Punkte C, D, E, F und G, an denen die anderen Elektroden von jeweils zwei benachbarten Lampen zusammengefaßt sind, sind mit jeweils zwei Anoden von $R\ddot{o}2$, $R\ddot{o}3$ und $R\ddot{o}4$ verbunden. Diese drei letzten Stufen bilden zusammen eine Fönffach-Untersetzerstufe. Betrachtet man z. B. Glimmlampe 3, so sieht man aus der Schaltung, daß die Lampe nur aufleuchtet, wenn die Triode b von $R\ddot{o}1$ gesperrt und die Triode a von $R\ddot{o}2$ sowie die Triode b von $R\ddot{o}4$ stromföhrnd sind. Diese Betriebsstellung tritt, wie die Tabelle zeigt, nur ein, wenn drei Impulse auf den Eingang der Dekaden-Einheit gegeben werden, vorausgesetzt natürlich, daß vorher die Betriebsstellung „Null“ eingenommen worden war.

Die Zöhlstufe spricht auf negative Eingangsimpulse mit einer Amplitude $\geq 30\text{ V}$ bei einer Impulsanstiegs-

zeit $\leq 1\text{ }\mu\text{s}$ an. Positive Eingangsimpulse werden, wenn sie nicht zu lang sind, nicht gezöhlt. Ist die Anstiegszeit der auf den Eingang gegebenen negativen und positiven Impulse gleich, dann spricht die Zöhlstufe auf beide Impulsarten an, wenn das Verhältnis von kleinster auftretender Amplitude der positiven Impulse zur kleinsten Amplitude der negativen Impulse etwa 4:1 betröhgt.

Röhre	$R\ddot{o}1$		$R\ddot{o}2$		$R\ddot{o}3$		$R\ddot{o}4$	
	a	b	a	b	a	b	a	b
System								
Impuls 0		X		X		X		X
1	X			X		X		X
2		X	X			X		X
3	X		X			X		X
4		X	X	X	X	X	X	
5	X		X			X		X
6		X		X	X			X
7	X			X	X			X
8		X	X		X			X
9	X		X		X			X
10		X		X		X		X

X = Röhre stromföhrnd

Wegen der kleinen Zeitkonstante von C_1R_4 (etwa $0,7\text{ }\mu\text{s}$) spricht die Zöhlstufe auf positive Rechteckimpulse von etwa 30 V und darüber und einer Dauer von ca. $2\text{ }\mu\text{s}$ an, da dann die Impulsröckflanke (differenziert) als negativer Impuls auf die Gitter der beiden ersten Trioden am Eingang gelangt.

Soll die dekadische Zöhlstufe negative rechteckförmige Eingangsimpulse zöhlen, so muß deren Amplitude $\geq 30\text{ V}$ und die Dauer $\geq 2\text{ }\mu\text{s}$ sein; die minimale Dauer hängt etwas von der Amplitude ab.

Wenn beim zehnten Eingangsimpuls die Dekadenstufe auf „Null“ zuröckgestellt wird, gibt die letzte Triode $R\ddot{o}4b$ einen negativen Impuls von etwa 40 V und etwa $1\text{ }\mu\text{s}$ Anstiegszeit ab, der, wie bereits angegeben, zur Aussteuerung einer weiteren Stufe geeignet ist. Mehrere der abgebildeten Zöhlstufen können somit zu einer Vielfach-Dekadenstrecke zusammengeschaltet werden. Vor die erste Zöhlstufe muß dabei ein Impulsformer geschaltet werden, der die erforderliche Amplitude und Anstiegszeit der Eingangsimpulse sicherstellt. Der letzten Stufe ist für den Fall, daß ein mechanisches Zöhltreis betätigt werden soll, eine geeignet dimensionierte Ausgangsstufe nachzuschalten.

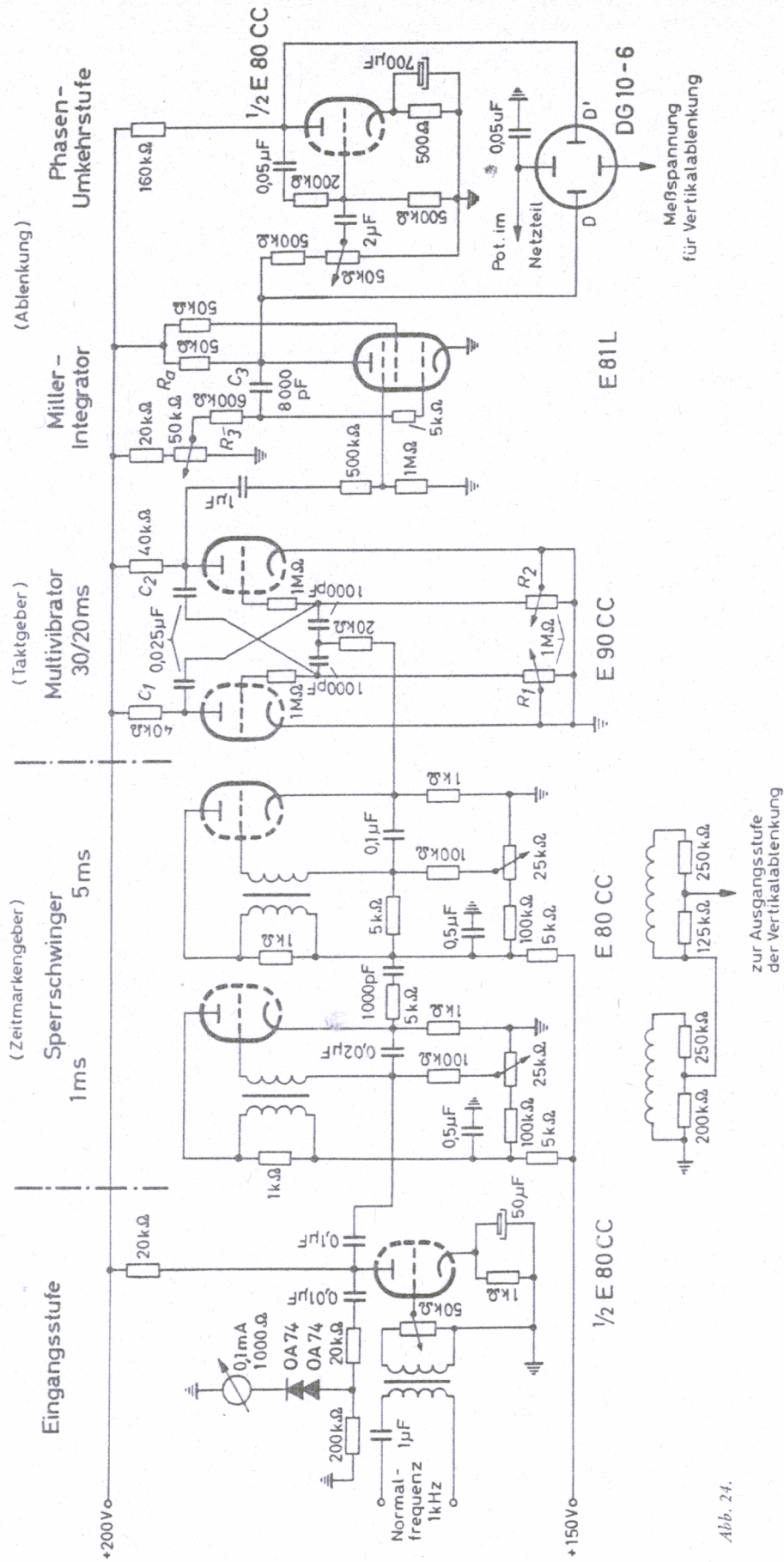


Abb. 24.

Abb. 24. Horizontal-Ablenk-Schaltung mit Zeitmarkengeber für
Katodenstrahl-Oszillografen*)

Die angegebene Schaltung wird benutzt, um die Zeitablenkspannung sowie Zeitmarken für ein Impulsmeßgerät mit Anzeige auf einer Oszillografenröhre aus einer 1000 Hz Normalfrequenz abzuleiten.

Damit die 1000 Hz Spannung nicht durch die Anschaltung des Gerätes belastet wird, beginnt das Gerät mit einer Trennstufe 1/2 E 80 CC. Es folgt dann ein 1000 Hz Sperrschwinger mit einem System der nächsten E 80 CC, der von der Eingangsfrequenz synchronisiert wird. Ein Impuls, der in dieser Stufe infolge Rückkopplung von der Anode auf das Steuergitter entsteht, wird durch Aufladung des Gitters und aperiodische Dämpfung nach kurzer Zeit wieder unterdrückt. Der nächste kann erst wieder einsetzen, wenn der Gitterkondensator von 0,02 μ F sich über den Gitterableit-Widerstand entladen hat. Die Synchronimpulse, die auf den Eingang gegeben werden, entsperren die Röhre schon etwas früher, nämlich sobald die mittlere negative Vorspannung bei der Entladung des Kondensators so weit abgesunken ist, daß die Summe aus Kondensatorspannung und Synchronspannung die richtige Vorspannung für den Schwingeneinsatz liefert. Dann beginnt der Vorgang von neuem. Die Impulse des Sperrschwingers werden als Zeitmarken induktiv auf die Vertikal-Ablenkplatten des Oszillografen übertragen.

Vom 1000 Hz Sperrschwinger wird ein 200 Hz Sperrschwinger abgeleitet, der mit der zweiten Hälfte der E 80 CC arbeitet. Er liefert in ähnlicher Weise 5 ms Zeitmarken für den Oszillografenschirm und synchronisiert gleichzeitig eine 20 Hz Multivibratorstufe, die mit der E 90 CC bestückt ist.

Die beiden Systeme der E 90 CC führen abwechselnd Strom. Nimmt der Strom z. B. im rechten System zu, so geht die Anodenspannung dieses Systems herunter, und die dadurch bedingte Entladung des Kondensators C_2 bewirkt eine negative Vorspannung des linken Systems. Dadurch fällt der Anodenstrom des linken Systems, und das Gitter des rechten Systems bekommt einen positiven Impuls, wodurch sich der beschriebene Vorgang beschleunigt, bis das linke System gesperrt ist. Die Vorspannung links sinkt erheblich unter das Sperrpotential. Bis sich C_2 über R_1 entladen hat, bleibt der Strom rechts konstant. Ist die Entladung von C_2 so weit fortgeschritten, daß die Sperrung links wieder aufgehoben wird, so setzt der entsprechende Vorgang mit Stromanstieg im linken System ein. Durch unterschiedliche Einstellung der beiden 1 M Ω Regelwiderstände in den Gitterleitungen

werden die Stromflußzeiten in den beiden Systemen verschieden, nämlich 30 und 20 ms. An der rechten Anode kann man dann entsprechende Rechteckimpulse zur Aussteuerung der folgenden Stufe abnehmen, welche die Sägezahnspannung für die Horizontal-Ablenkung der Katodenstrahlröhre liefert.

Die Schaltung der E 81 L Stufe als Miller-Integrator führt zu sehr geradlinigen Sägezahnspannungen, denn der Kondensator zwischen Gitter und Anode bewirkt, daß die Änderung der Anodenspannung mit einer Zeitkonstante vor sich geht, die gegenüber dem einfachen Produkt $C_3 R_3$ ungefähr um den Verstärkungsfaktor vervielfacht ist. Dabei erfolgt die Entladung des Kondensators C_3 so, als ob eine Anfangsspannung vorhanden wäre, die der mit dem Verstärkungsfaktor multiplizierten tatsächlichen Spannung entspricht. Auf diese Weise wird mit der tatsächlichen Anodenspannungs-Änderung während der Sägezahnperiode nur ein geringer Bruchteil der exponentiellen Entladungsfunktion mit sehr geringer Nichtlinearität durchlaufen. Um die Vorgänge beim Miller-Integrator im einzelnen zu verfolgen, kann man von der Annahme ausgehen, daß am Ende des negativen Steuerimpulses (Anodenstrom Null) der Kondensator C_3 voll aufgeladen ist, und mit einsetzendem positivem Steuerimpuls der Anodenstrom einsetzt. Dann sinkt das Gitterpotential um den Spannungsabfall am Anodenwiderstand. Die Röhre arbeitet auf diese Weise mit negativer Vorspannung, obgleich der Widerstand R_3 an einer positiven Vorspannung liegt. C_3 entlädt sich über R_3 und R_a , so daß die negative Gitterspannung allmählich abnimmt. Dadurch nimmt der Anodenstrom zu. Das Anwachsen des Anodenstromes verursacht aber ein gleichzeitiges Anwachsen des Spannungsabfalles an R_1 , wodurch der Anstieg der Gitterspannung größtenteils wieder aufgehoben wird. Bei großer Spannungsverstärkung der Röhre bleibt dann der Strom durch R_3 praktisch konstant. Infolgedessen tritt eine weitgehend lineare Abnahme der Kondensatorspannung auf.

Zur Erhöhung der Ablenkspannung an der Oszillografenröhre wird die zweite Ablenkplatte über eine Phasen-Umkehrstufe angeschlossen. Das Röhrensystem dieser Stufe sitzt in dem gleichen Kolben wie die Eingangstriode.

Der Katodenstrahl wird entsprechend der Wahl der Abgriffe an den Gitterableitwiderständen in der Multivibratorstufe während 30 ms abgelenkt, und während der folgenden 20 ms zurückgeführt.

*) Veröffentlicht mit freundlicher Genehmigung der Firma Felten und Guillaume Fernmeldeanlagen GmbH, Nürnberg.

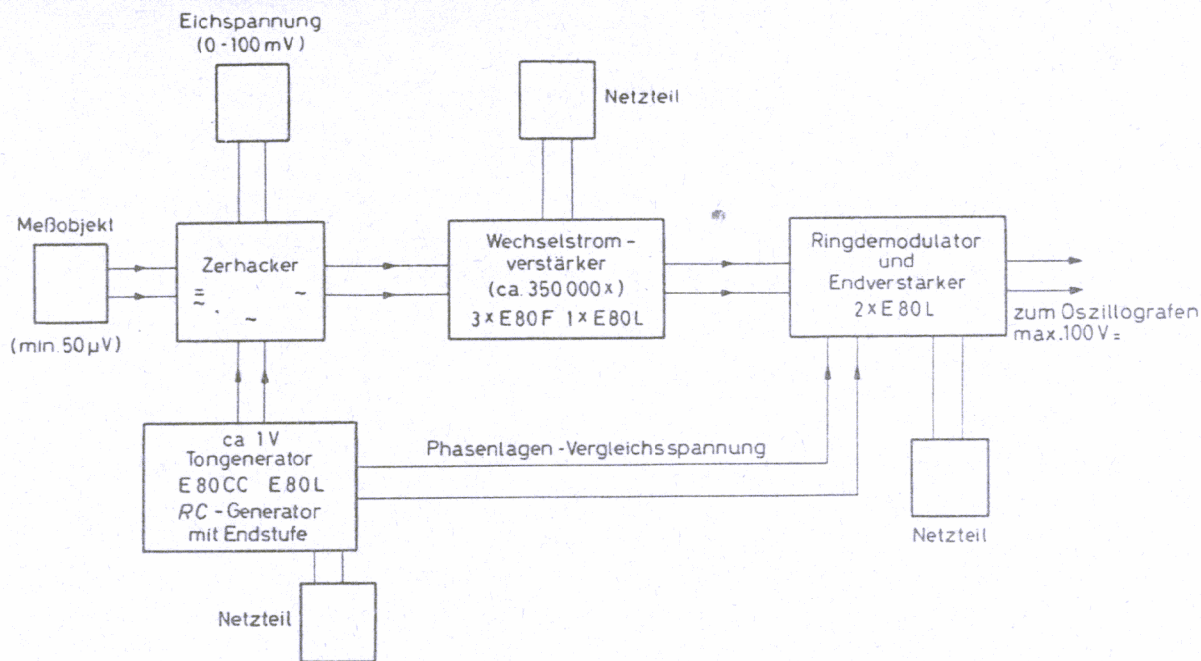


Abb. 25. Blockschaltung eines Verstärkers zur Untersuchung von Nervenspannungen und Herzaktionsströmen

Geräte, mit denen Nervenspannungen und Herzaktionsströme sichtbar gemacht werden sollen (Kardioskope) müssen Verstärker haben, die Spannungen ab etwa $80 \mu\text{V}$ über einen Frequenzbereich von möglichst tiefen Frequenzen ab bis zu einigen 100 Hz auf etwa 100 V verstärken. In der Abbildung ist eine Möglichkeit gezeigt, wie man dabei bis zu 0 Hz herunter einen gleichmäßigen Frequenzgang der Verstärkung erzielt. Dazu wird die Eingangsspannung über einen Zerhacker in eine Wechselspannung von beispielsweise 2500 Hz umgewandelt. Wahlweise kann das Meßobjekt oder eine Eichspannung an den Eingang gelegt werden. Die zerhackte Eingangsspannung wird verstärkt und anschließend in einem Ringdemodulator in das ursprüngliche Frequenzband zurücktransponiert. Über eine Gleichstrom-Endstufe in Gegentaktschaltung gelangt die Meßspannung dann auf die Vertikal-Ablenkplatten eines Kathodenstrahl-Oszillografen, wobei infolge der Phasen-Empfindlichkeit des Ringdemodulators auch ein Polaritätswechsel der Eingangsspannung angezeigt wird. Die Antriebsenergie für den Zerhacker und die Phasenvergleichsspannung für den Ringdemodulator liefert ein RC-Generator, der auf die Eigenfrequenz des Zerhackers einstellbar sein muß.

Der Vorverstärker für eine etwa 350 000fache Verstärkung kann beispielsweise mit drei RC-gekoppelten E 80 F Stufen und einer E 80 L Stufe ausgeführt werden. Bei dieser Bestückung ist noch reichlich Verstärkungsreserve für Gegenkopplung vorhanden, die die Verstärkung unabhängig von Netzschwankungen und Veränderungen der Röhren macht. Zweckmäßig führt man dabei die Gegenkopplungsspannung vom Transformator der Demodulatorstufe auf die Katode der zweiten E 80 F zurück, während man in die Kathodenleitung der ersten E 80 F zur Regelung der Verstär-

kung einen Stufen-Spannungsteiler legt, von dem die Gitterspannung der zweiten-E 80 F abgenommen wird.

Die Schaltung der Endstufe richtet sich danach, ob man eine Oszillografenröhre oder ein Registriergerät anschließen will; beim Anschluß eines Elektronenstrahl-Oszillografen ist die Einschaltung eines Filters zur sauberen Aussiebung der Tongenerator-Frequenz erforderlich.

Beim Aufbau eines solchen hochempfindlichen Meßverstärkers muß man sehr genau auf Vermeidung aller Störquellen achten. Alle Leitungen, die die niedrige Meßspannung führen, sind besonders gut abzuschirmen; Widerstände im Eingang müssen mit Rücksicht auf geringstes Rauschniveau ausgeführt werden, und zur Vermeidung von Thermokräften und galvanischen Spannungen darf man keine Konstantan-Widerstände in der Schaltung verwenden. Beim Löten ist aus den gleichen Gründen nur Harz als Flußmittel zugelassen. Da es unumgänglich ist, verschiedene Metalle für den Zerhacker zu verwenden, wird dieser immer (auch bei einer Eingangsspannung Null) eine geringe Fehlspannung liefern. Es empfiehlt sich daher, dem Zerhacker aus der Stromversorgung des Wechselstrom-Verstärkers eine einstellbare Kompensationsspannung zuzuführen. Im Blockschaltbild ist für jedes Aggregat ein eigenes Netzgerät angegeben, um Kopplungen über die Stromversorgung zu vermeiden.

Natürlich lassen sich auch andere Schaltungen für Kardiografen- und ähnliche Verstärker mit Langlebensdauer-Röhren bestücken. So eignet sich z. B. die E 80 F vorzüglich zum Aufbau eines zweistufigen, erdsymmetrischen RC-Verstärkers für ein einfaches Kardioskop mit Anzeige durch eine kleine Oszillografenröhre wie z. B. DR 7-5.

IV. Ausschnitte aus Konstruktion und Fertigung der VALVO Langlebensdauer-Röhren mit Hinweisen auf ihre Betriebs-Eigenschaften

Nach dem Überblick über die Anwendungsgebiete sollen im folgenden noch einige besonders interessante Ausschnitte aus Konstruktion und Fertigung der Langlebensdauer-Röhren erläutert werden.

Das hohe S/C -Verhältnis, das für die Breitband-Verstärkerröhren der ersten Gruppe gefordert wird, kann man unter anderem durch kleine Gitter-Katoden-Abstände und dünne Gitterdrähte erreichen. Mit Rücksicht auf die mechanische Stabilität der Systeme kommt man dabei aber in der normalen Gitterbauweise über eine gewisse Grenze nicht hinaus, wenn man gleichzeitig auf kleine Röhrenabmessungen und geringe Heizleistung Wert legt. Mit Rücksicht auf die Schaltkapazitäten ist es ungünstig, wenn das hohe S/C -Verhältnis hauptsächlich durch Verringerung der Kapazitäten hergestellt wird, weil dann das praktische S/C -Verhältnis in der Schaltung sehr viel niedrigere Werte annimmt als der entsprechende Röhrenkennwert. Besser ist es, ein günstiges S/C -Verhältnis durch Vergrößerung der Steilheit bei nicht zu kleinen Kapazitäten zu erreichen. Diesen Weg hat man bei der 18046 und 18042 eingeschlagen.

Die 18042 mit dem größten S/C -Verhältnis unter den Röhren mit normaler Gitterkonstruktion aus Tabelle I hat einen Gitter-Katoden-Abstand von 120 μ , und ihr Gitterdraht-Durchmesser beträgt 40 μ . Das sind Werte, die mit der konventionellen Gitterkonstruktion noch gut zu beherrschen sind. Das hohe S/C -Verhältnis der E 180 F erfordert aber ganz andere konstruktive Maßnahmen. Diese Röhre hat einen Gitter-Katoden-Abstand von nur 55 μ , und für das Gitter wird vergoldeter Wolfram-Draht von nur 7,5 μ Durchmesser verwendet. Unter diesen Verhältnissen ist die konventionelle Gitterbauweise nicht mehr anwendbar, weil die Gitterdrähte sich nicht mehr selbst tragen. Wie die Abb. 26 zeigt, ist das Gitter der E 180 F deswegen als Spannungsgitter ausgeführt. Der Gitterdraht aus Wolfram wird mit sehr starker Vorspannung auf einen steifen Rahmen gewickelt, der aus zwei gezogenen Molybdän-Stäben mit vier aufgeschweißten Molybdän-Bändern besteht.

Das ganze Gitter wird vergoldet, wodurch die Gefahr der Gitteremission weitgehend reduziert wird. Gelangt Barium von der Katode auf das Gitter, so entsteht eine Barium-Gold-Legierung mit hoher Austrittsarbeit. Die Vergoldung von Rahmen und Draht wird getrennt vorgenommen. Beim Rahmen erfolgt sie elektrolytisch nach vorheriger Aufrauung der Oberfläche durch Oxydation und Reduktion. Der Gitterdraht dagegen wird feuervergoldet, indem er in gleicher Weise aufgeraut, durch einen im Hochfrequenzfeld erhitzten Goldtropfen gezogen wird. Die Befestigung des Gitterdrahtes auf dem Steg erfolgt durch einen Glasüberzug auf der Außenseite des Steges. Im Auflagebereich der Gitterdrähte wird Glasstaub durch Tauchen in eine Alkohol-Glas-Suspension aufgebracht, und anschließend wird das Gitter bei etwa 700° gegläht.

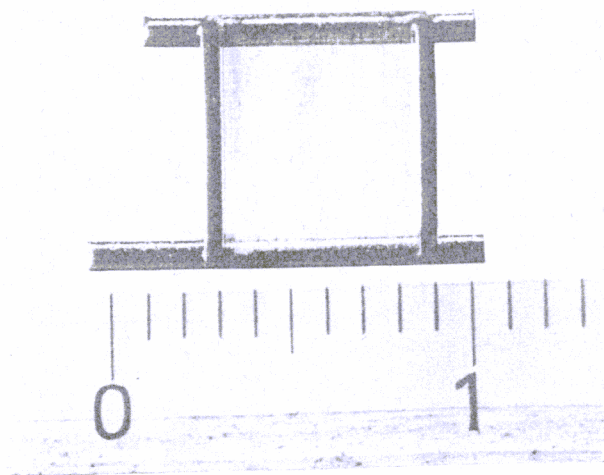


Abb. 26. Spannungsgitter der E 180 F

Durch dieses Verfahren erhält man eine sehr hohe mechanische Vorspannung der Gitterdrähte und eine sehr stabile und mikrofoniesichere Gitterkonstruktion. Auch die Gesamtkonstruktion der E 180 F ist außerordentlich erschütterungsfest, denn der Elektroden-Aufbau mit einer Systemlänge von nur 6,5 mm ist in sich schon stabil und

Mechanische Festigkeit der Systeme

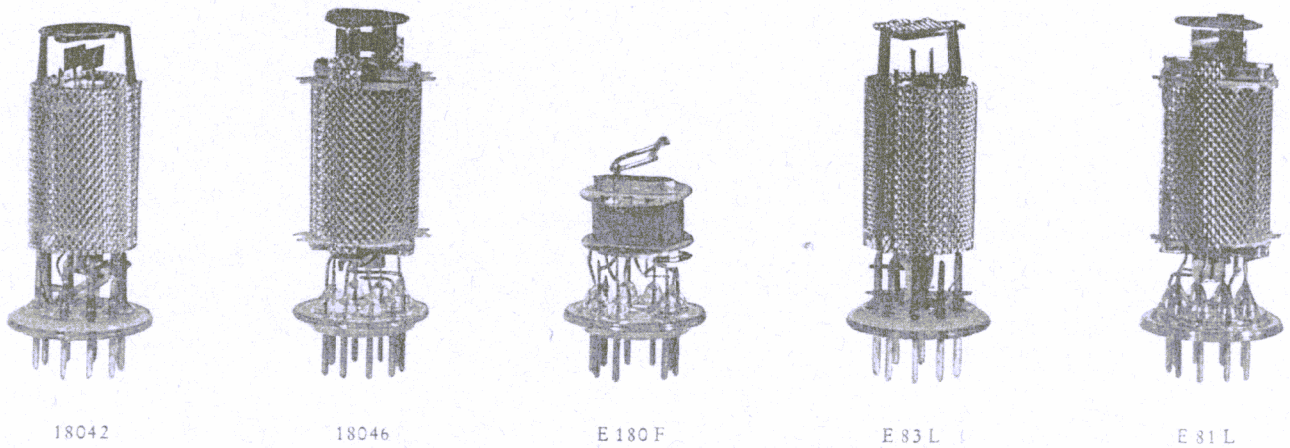


Abb. 27. Elektroden-Aufbau

ist mit sehr kurzen Zuleitungen auf dem Sockel befestigt. Die Abb. 27 zeigt den Aufbau der E 180 F zusammen mit den ebenfalls sehr stabil ausgeführten Konstruktionen der Breitbandverstärker-Röhren aus der Gruppe 1, Tabelle I. Bei diesen Röhren trägt die Abschirmung, die das ganze System umgibt, gleichzeitig zur Stabilität des mechanischen Aufbaues bei.

Die Konstruktion der vibrations- und stoßfesten Röhren aus Gruppe 2 zeigt die Abb. 28. Hier machen die kastenförmige Ausbildung der Anoden und die geringe Länge der Zuleitungen die Elektroden-Aufbauten zu starren Einheiten, die durch die Stützglimmer in den kalibrierten Kolben festgehalten werden. Die Abb. 28 zeigt auch die Elektroden-Aufbauten der E 90 CC, E 92 CC und E 91 H, die ebenfalls mechanisch stabil, aber nicht in gleichem Maße robust ausgeführt sind.

Grundsätzlich wichtig für die mechanische Zuverlässigkeit der Röhren ist eine Konstruktion, bei der so wenig Schweißstellen wie möglich vorkommen, wobei die Schweißungen selbst nur unter Schutzgas und mit elektronischer Schweißzeitsteuerung vorgenommen werden. Besonders wichtig ist es, Schweißstellen am heißen Katodenröhrchen zu vermeiden. Der Katodenanschluß wird deshalb vielfach angeschnitten statt angeschweißt. Man schneidet z. B. aus dem Katodenrohr zwei Schlitze heraus und verwendet die stehenbleibenden Stege als Anschlußfahnen.

Schweißstellen

Die Einsparung von Schweißstellen darf aber auch nicht zu weit getrieben werden. Die wichtige Verbindung zwischen der Katodenzuleitung und dem zugehörigen Anschlußstift im Sockel z. B. wird aus Sicherheitsgründen an zwei Stellen geschweißt.

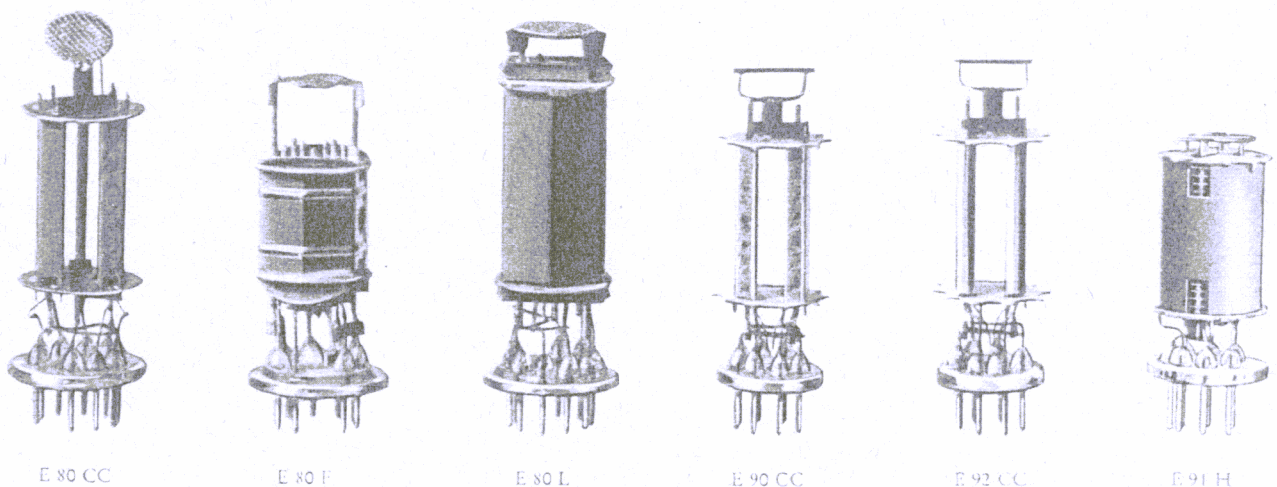


Abb. 28. Elektroden-Aufbau

Sockelstifte

Um einen niedrigen und konstanten Kontaktwiderstand zwischen den Sockelstiften und den Fassungsfedern sicherzustellen, werden die Sockelstifte von Langlebensdauer-Röhren versilbert oder vergoldet. Mit diesen beiden Methoden hat man bei Dauerversuchen in feuchter Luft und in Salzwasser-Atmosphäre die besten Ergebnisse erzielt. Zu den Röhren werden auch Fassungen mit vergoldeten Kontaktfedern geliefert.

Anschlußfolge

Bei der Festlegung der Anschlußfolge im Sockel muß der Konstrukteur die verschiedensten Gesichtspunkte beachten. Welche Probleme dabei eine Rolle spielen können, soll am Beispiel der Abb. 29 kurz angedeutet werden, in der ein Sockel mit der gebräuchlichen Anschlußfolge für Pentoden mit zwei Katodenleitungen und der Sockel der E 180 F nebeneinander gestellt sind. Die Anschlußfolge

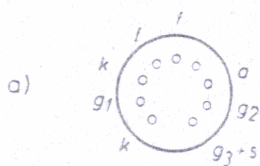


Abb. 29 a. Übliche Anschlußfolge bei Pentoden mit zwei Katodenleitungen

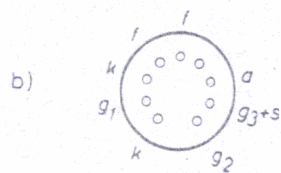


Abb. 29 b. Sockelanschlüsse der E 180 F

nach Abb. 29a berücksichtigt die allgemein gültigen Forderungen wie z. B. geringe Brummstörungen (g_1 und f möglichst weit getrennt) und geringe Gitter-Anoden-Kapazität (g_1 und a möglichst weit getrennt) und gibt durch den zweifachen Katodenanschluß und durch eine in bezug auf gegenseitige Induktion und Länge der Katodenzuleitungen günstige Wahl der Katodenstifte gleichzeitig die Voraussetzungen für eine geringe Eingangsdämpfung und einen geringen Phasenwinkel der Steilheit. In der Abb. 29b ist darüber hinaus eine zusätzliche Forderung berücksichtigt, welche für die in Abb. 7 angegebene Breitbandverstärker-Schaltung wichtig ist. Für solche Schaltungen, bei denen von der Katode eine Gegenkopplungs-Spannung abgenommen wird, muß die Anoden-Katoden-Kapazität klein sein. Durch die kapazitive Verbindung von Schirmgitter und Katode, die man einführt, um Proportionalität zwischen der Spannung am Katodenwiderstand und dem Anodenstrom herzustellen, trägt aber auch die Schirmgitter-Anoden-Kapazität zu der kritischen Kapazität zwischen Anode und Katode bei. Im Sockel der E 180 F sind deswegen die Anschlüsse für Schirmgitter und Anode auseinander gelegt.

Röhrenfehler

In der Fertigung der Langlebensdauer-Röhren ist die Ausschaltung aller Fehlerquellen zum ersten Grundsatz erhoben. Wirtschaftliche Gesichtspunkte treten demgegenüber zurück. Wie bereits

erwähnt, gibt es Röhrenfehler, die den P -Faktor im geraden Teil der Lebenskurve bzw. ihre Steigung bestimmen, und Fehler, die den Einsatz der P -Faktor-Änderung bzw. das Ende der praktischen Lebensdauer herbeiführen.

Die letzteren, meist allmählich in Erscheinung tretenden und physikalisch bedingten Fehler sind:

- Emissionsverminderung
- Gitteremission
- Verschlechterung des Vakuums
- Isolationsfehler.

Die häufigsten, zufällig und plötzlich auftretenden Fehler am Anfang und während der Lebensdauer sind:

- Elektrodenschlüsse (vor allem durch Staubteilchen verursacht)
- Glassprünge infolge von Glasspannungen
- Zuführungs-Unterbrechungen (ein Heizfadenbruch gehört zu den Fehlern, die – wenn überhaupt – im allgemeinen erst am Ende der Lebensdauer auftreten).

Gitteremission kann sowohl zu Anfang wie am Ende der Lebensdauer zum Röhrenausfall führen.

Die Maßnahmen, die zur Verringerung dieser Fehlerquellen bei den Langlebensdauer-Röhren ergriffen werden, kann man eigentlich nicht einzeln betrachten. Die erhöhte Zuverlässigkeit und Lebensdauer dieser Röhren ist vielmehr zu einem großen Teil das Ergebnis eines erhöhten Aufwandes in der gesamten Fertigung. Dieser Aufwand bezieht sich unter anderem auf größte Sauberkeit und Präzision sowie höchste Sorgfalt bei allen Arbeitsgängen und schärfste Kontrolle aller Bauteile.

Vor allem die Sauberkeit in der Fertigung und die Reinheit der Materialien sind ganz entscheidende Faktoren für die Katodenaktivität, die Isolation, die Geräuschfreiheit und das Vakuum. Die angelieferten Materialien einschließlich der Reinigungsmittel und der Brenngase werden deshalb chemischen und spektroskopischen Untersuchungen zur quantitativen Feststellung schädlicher Beimengungen unterworfen, und die Werkstoffe werden außerdem mechanisch-technologisch geprüft. Alle Bauteile werden gründlich mit Perchlor-Äthylen abgewaschen, wobei man zum Waschen immer wieder frisches Kondensat verwendet. Metallteile werden in Wasserstoff geglüht oder im Vakuum durch Hochfrequenz-Erhitzung entgast. Um Verschmutzung durch Lagerung zu vermeiden, werden z. B. die Gitter nicht fortlaufend, sondern nur für die jeweilige Tagesproduktion gewickelt und anschließend in Kästchen abgewaschen, geglüht und zur Montage angeliefert. Auch andere Glühenteile werden nur in der für den

Sauberkeit in der Fertigung

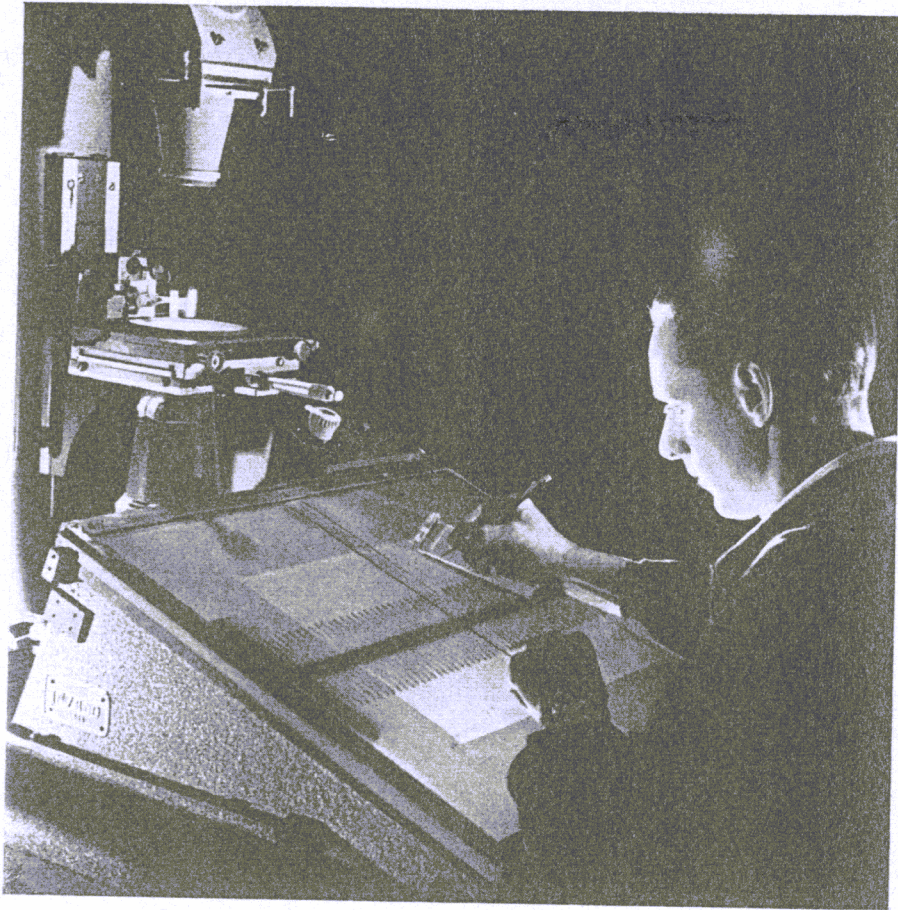


Abb. 50.
Die Einbauteile werden mit Projektionsgeräten bei 25facher Vergrößerung geprüft. Die Abbildung zeigt die Kontrolle einer Gitterwendel.



Abb. 51.
Unmittelbar vor dem Einbau werden die Gitter mit Hilfe eines Vergrößerungsglases kontrolliert. Wenn notwendig, werden sie noch einmal in Alkohol gereinigt und dann in einen staubdichten Behälter gelegt.



Abb. 32.
Die Montage des Elektroden-Aufbaues erfolgt in allseitig geschlossenen staubdichten Kästen, die durch ein Luftzuführungsrohr unter geringem Überdruck gehalten werden. Die Arbeiterin steckt ihre Hände bei der Montage durch einen Plastikvorhang. Links an der Schweißmaschine sind Magnete zum Festhalten kleiner Einzelteile zu erkennen.

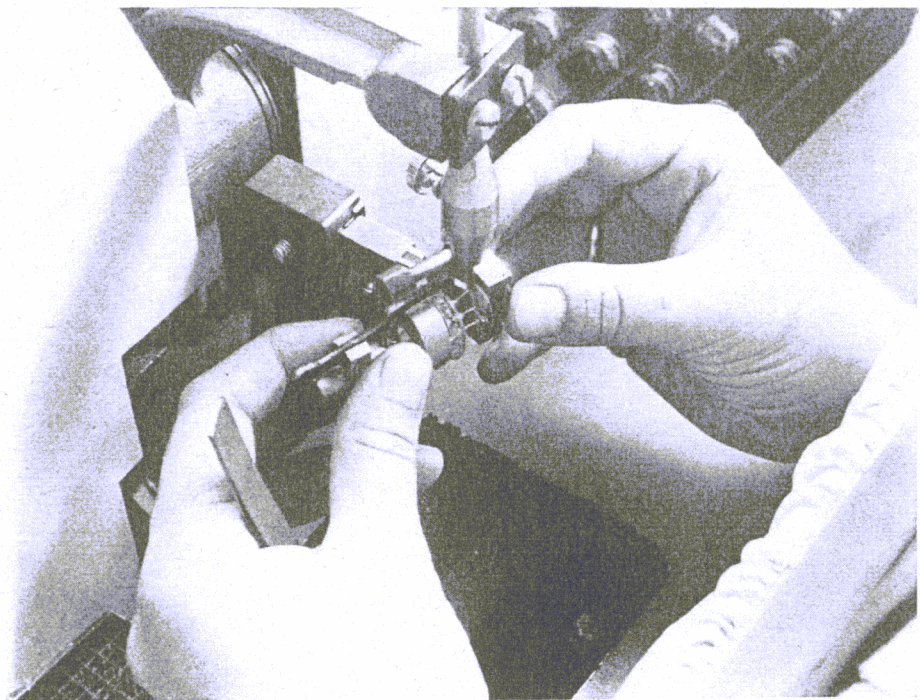


Abb. 33.
Für die Montage des Elektroden-Aufbaues und das Verschweißen mit dem Sockel werden Lehren verwendet. Hier wird das Verschweißen mit dem Sockel gezeigt. Die Schweißelektrode ist von einem Gaszuführungsrohr umgeben, durch welches Schutzgas auf die Schweißstelle geleitet wird, um Oxydation zu verhindern. Auf diese Weise erhält man nicht nur gute Schweißungen, sondern trägt auch zur Erhaltung des Vakuums in der Röhre bei. Die Schweißzeiten werden elektronisch eingestellt.

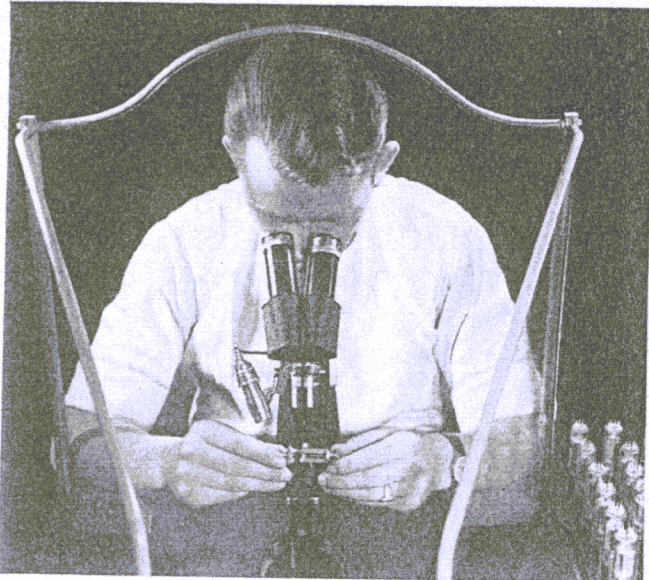


Abb. 54.
Der fertige Elektroden-
Aufbau wird unter dem
Mikroskop kontrolliert.

Abb. 54a.
Elektroden-Aufbau einer E 83 F
unter dem Mikroskop. Man er-
kennt z. B. die tadellos geraden
Heizfadenenden in der Mitte,
die Schweißstellen an den Sok-
kelstiften und die Glimmer-
streifen zur Abdeckung des
Preßtellers.

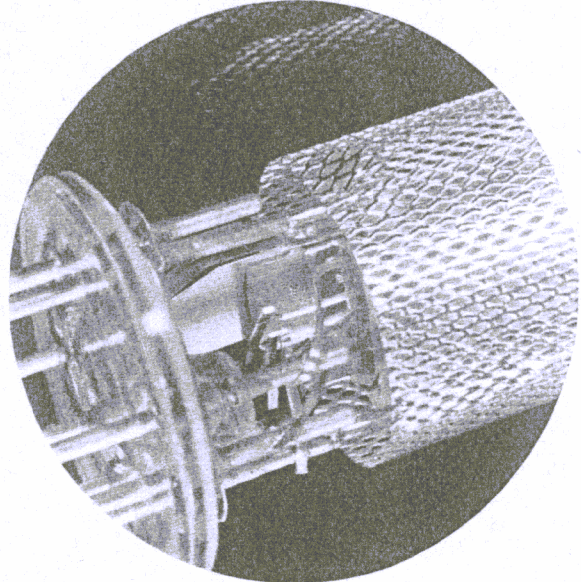
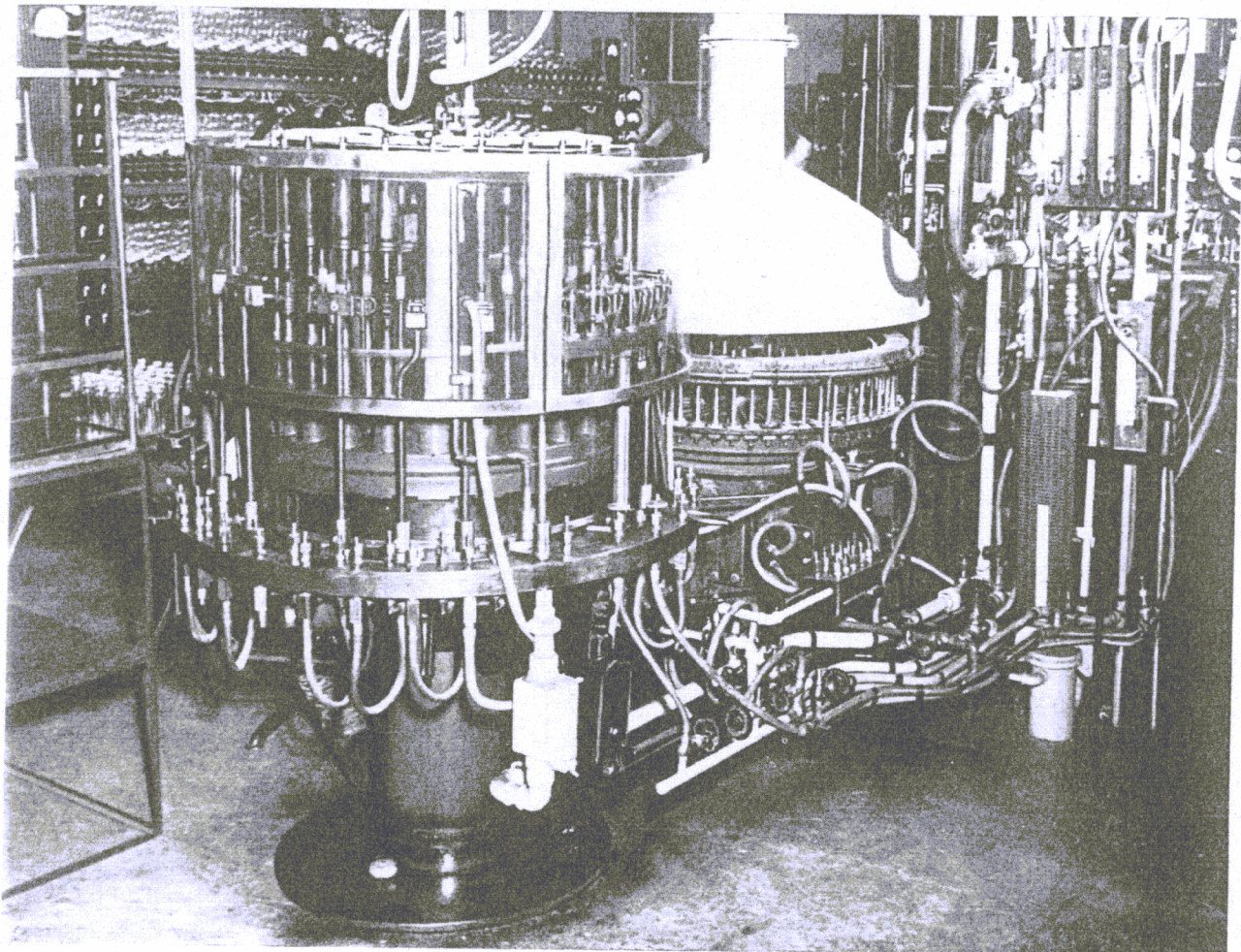


Abb. 55.
Einschmelzmaschine und Temperofen für Langlebensdauer-Röhren. Die
Einschmelzmaschine ist durch einen Schirm gegen Zug und Staub geschützt.
Über dem Temperofen erkennt man eine Abzugshaube zur Abführung von
Gasen. Rechts im Bild: Manometer zur Kontrolle von Brenngas, Schutzgas
und Sauerstoff.



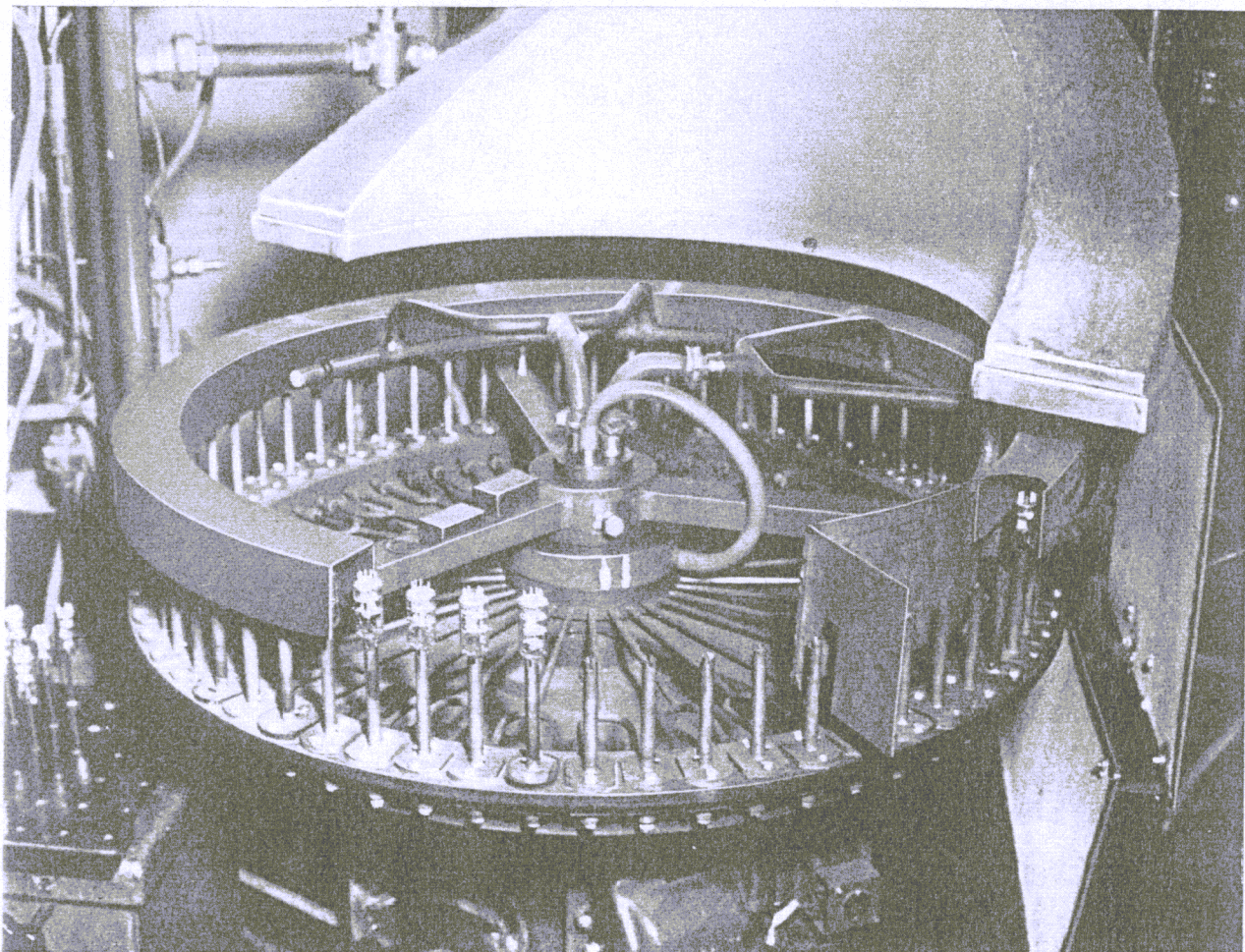


Abb. 56.

Zur gleichmäßigen Abkühlung werden die Röhren nach dem Einschmelzen durch einen Temperofen geführt. Die Röhren werden rechts eingesetzt und durchlaufen dann die drei Temperaturbereiche des Karussell-Ofens. Man erkennt zwei gabelförmige Gaszuführungsrohre, die von der Mitte nach rechts bzw. hinten führen. Das rechte Rohr hat dabei den höheren Gasdruck. Der letzte Sektor des Ofens vorn links wird nicht beheizt. Durch die radialen Rohrleitungen am Boden des Karussells wird Schutzgas in die Röhrenkolben geleitet, um Oxydation der Elektrodensysteme während des Temperprozesses zu verhindern. Die Verbrennungsabgase werden von einem Abzug abgesaugt.

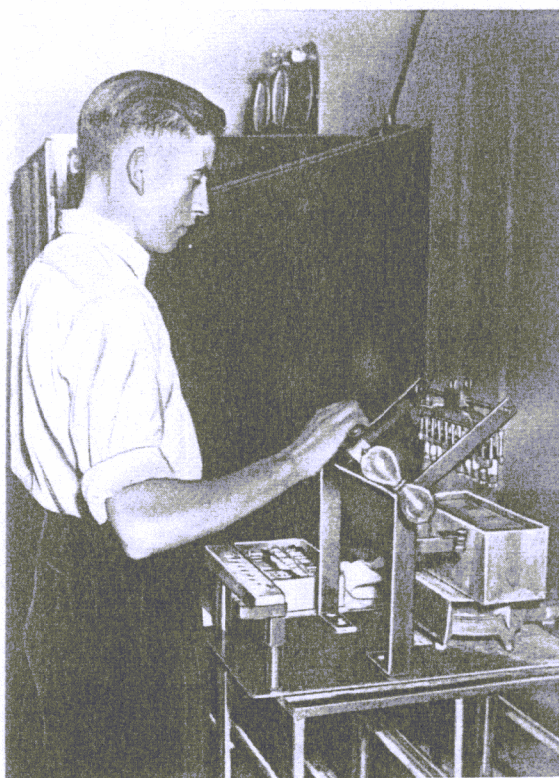


Abb. 57.

Die fertigen Röhren werden durch Eintauchen in kochendes Wasser auf Glasspannungen geprüft. Röhren mit kritischen Spannungen werden bei dieser Prüfung mit Sicherheit zerstört.

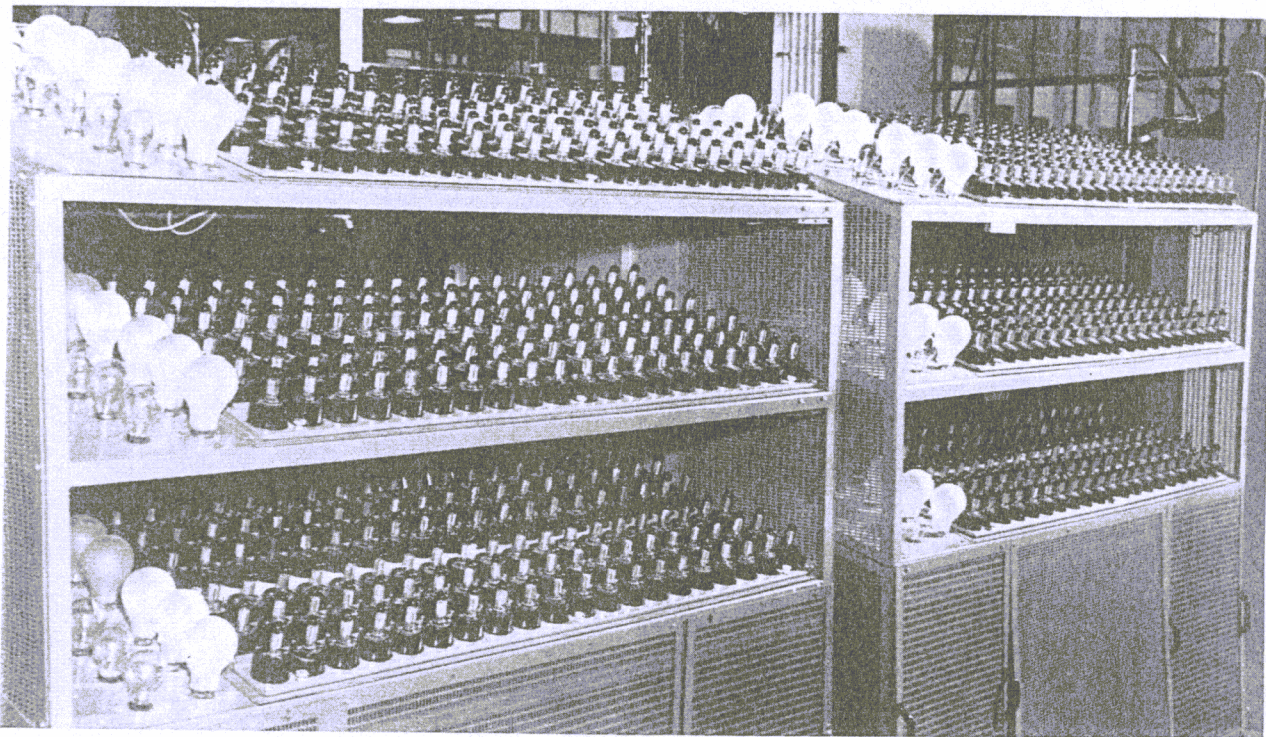


Abb. 58.
Auf diesem Brennrahmen werden die Röhren einem Alterungs-
prozeß von 50 Stunden mit normaler elektrischer Belastung
unterworfen.

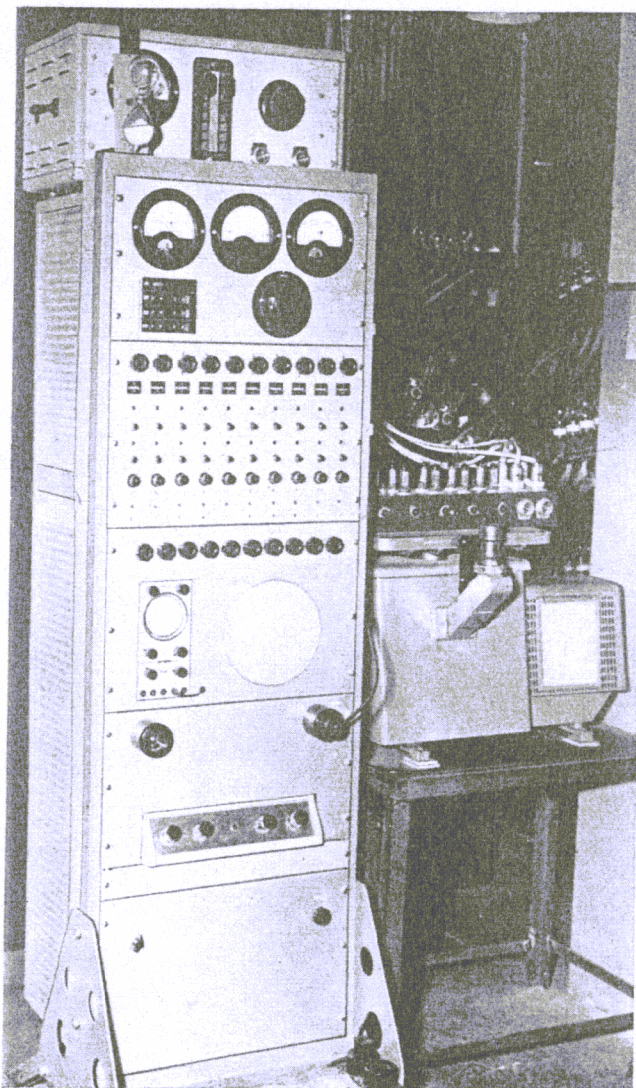


Abb. 59.
Rütteltisch zur Prüfung der Vibrationsfestigkeit
der Röhren. Die Prüfung findet mit angelegten
Betriebsspannungen statt. Rechts der eigentliche
Rütteltisch, links das Stromversorgungsgerät für
die Röhren. Bei dieser Prüfung treten alle losen
Kontakte und Staubeinschlüsse zu Tage. Man hat
die Fertigung der Röhren jedoch so gut in der
Hand, daß nur selten eine Röhre bei dieser Prü-
fung ausfällt.

täglichen Verbrauch erforderlichen Menge aufbereitet, während Teile, die auf Vorrat hergestellt werden, in evakuierten Behältern aufbewahrt werden.

Staub-
freiheit

Die allergrößte Sorgfalt gilt auch der Staubfreiheit der Systeme bei der Montage, weil durch Staubteilchen Elektrodenschlüsse, vor allem aber unangenehme Geräuschstörungen verursacht werden können. Alle für die Montage benötigten Teile werden in geschlossenen Behältern aufbewahrt, in die sie zurückkommen, sobald sie bei der Verarbeitung abgelegt werden. Die Montage des Elektroden-Aufbaus erfolgt in einem staubfreien Schrank. Die Abb. 32 auf S. 165 zeigt eine Arbeiterin an einem solchen allseitig geschlossenen Schrank, bei dem sie die Hände durch einen Plastikvorhang steckt. Der gesamte Montagebereich wird staubfrei belüftet und unter geringem Überdruck gehalten, um das Eindringen von Staub beim Öffnen der Türen zu verhindern. Jeder fertige Elektroden-Aufbau wird noch einmal unter dem Mikroskop geprüft und dann sofort – auf jeden Fall aber noch am gleichen Tag – eingeschmolzen, damit er über Nacht keinen Staub annimmt.

Aus-
pumpen

Ein Beispiel für die erhöhte Sorgfalt bei der Fertigung der Langlebensdauer-Röhren ist auch das Auspumpen. Durchschnittlich hängt eine Langlebensdauer-Röhre 12 Minuten an der Pumpe. Bei normalen Rundfunkröhren dagegen ist die Pumpzeit auf 5 Minuten oder sogar auf 2 Minuten abgekürzt. Entsprechend wird auch die Glasausheizung auf der Pumpe und die Entgasung des Systems mit größerem Zeitaufwand und vermehrter Sorgfalt durchgeführt, und für die Getter verwendet man ein besonders hochwertiges Material. Um den Niederschlag des Gettermaterials am oberen Kolbenteil zu lokalisieren, wird beim Gettern ein Kühlluftstrom über den oberen Teil der Röhre geleitet.

Lehren
und Meß-
geräte

Die angestrebte Zuverlässigkeit und die geringen Röhrenstreuungen erfordern verschärfte Fertigungskontrollen und einen erhöhten Aufwand an Lehren und Meßgeräten: z. B. erfolgt die Montage der Systeme und das Verschweißen mit dem Röhrensockel grundsätzlich mit Hilfe von Montage-Lehren (siehe Abb. 35). Für die sehr zahlreichen Prüfungen werden vielfach optische Geräte angewendet. Die Abb. 30 zeigt z. B. die Kontrolle eines fertig gewickelten Gitters in einem Projektionsgerät mit 25facher Vergrößerung. Um einen Eindruck von den engen Fertigungstoleranzen zu geben, seien hier nur die Abstände der Löcher in den Glimmer-Isolatoren, die auf 6 bis 8 μ eingehalten werden, und die Gitterstege der E 180 F erwähnt, die eine Toleranz von $\pm 5 \mu$ haben. Die Fertigung der Katoden erfordert ebenfalls eine hohe mechanische Präzision, die der Prä-

zision bei der Gitterherstellung entsprechen muß, z. B. wird die Dicke der kastenförmigen Katode der E 180 F, die einschließlich Schicht 0,795 mm beträgt, auf $\pm 7,5 \mu$ eingehalten. Dazu wird diese Dicke an neun Stellen der nur $3,8 \cdot 5,2 \text{ mm}^2$ großen Emissionsfläche kontrolliert, und zwar sowohl vor dem Auftragen der Schicht wie auch nach dem Auftragen.

Kontrolle
in der
Fertigung

Maßhaltigkeits-Prüfungen in der eben beschriebenen Art und Fertigungskontrollen auf schlechte Schweißstellen, Staubeinschlüsse und mechanische Fehler werden nicht nur stichprobenweise, sondern an jedem einzelnen Arbeitsstück durchgeführt. Genaue optische Prüfungen mit Hilfe von Lupen und Mikroskopen sind immer wieder zwischen die einzelnen Fertigungsgänge eingeschaltet. So wird z. B. jeder einzelne Heizfaden auf Unterbrechungen in seiner Aluminiumoxyd-Isolation und auf Sauberkeit der abgeflachten Anschlußstellen an seinen Enden geprüft, und die Oberflächen der Katoden werden mikroskopisch auf ihre Struktur untersucht. Die bereits erwähnte, abschließende optische Kontrolle nach Fertigstellung des Elektroden-Aufbaus wird an jedem einzelnen Stück mit Hilfe eines binokularen Mikroskopes vorgenommen (siehe Abb. 34). Das Ergebnis des gesamten Aufwandes zeigt sich dann nicht nur in der erhöhten Zuverlässigkeit der Röhren, sondern auch in geringen Kennlinien-Streuungen, wie bereits auf S. 159 angegeben.

Katode
und Tem-
peratur

Neben der Sauberkeit des Röhrensystems ist für die Lebensdauer der Röhre die Temperatur, besonders die Katodentemperatur, von großem Einfluß. Überheizung führt zu verstärkter Abdampfung von Barium und anderen Katodensubstanzen. Die Dämpfe schlagen sich auf dem Gitter, den Glimmerisolatoren und dem Preßteller nieder, was zu Gitteremission und Isolationsfehlern führt. Außerdem wird durch Überheizung die schädliche Zwischenschicht-Bildung gefördert und das Katodengleichgewicht gestört, weil die Nachlieferung von Barium an die Katodenoberfläche nicht mit der Abdampfung Schritt hält.

Bei zu starker Unterheizung tritt ebenfalls eine Störung des Gleichgewichtes an der Katode ein, weil die Nachlieferung von Barium dann so langsam vor sich geht, daß kein Ausgleich für die Vergiftung der Katodenoberfläche mehr erfolgt, die durch Reaktion mit den Restgasen in der Röhre verursacht wird.

Geringe Unterheizung kann dagegen vorteilhaft sein, weil niedrige Röhrentemperaturen die Lebensdauer verbessern, jedoch verträgt die Katode bei niedriger Temperatur nur geringere Heizspannungsschwankungen. Unterheizbarkeit und Röhrentemperatur stehen in einer wechselseitigen Abhängigkeit voneinander. Je niedriger die Röh-

rentemperatur ist, um so leichter kann man das Röhrensystem frei von Restgasen halten. Je reiner aber das Röhrensystem ist, um so geringer ist die Vergiftungsgefahr für die Katode, und um so niedriger kann man die Katodentemperatur wählen. Die Katoden der Langlebensdauer-Röhren sind so entworfen, daß sie bei der Normalheizung die üblichen Heizspannungs-Schwankungen vertragen. Die garantierte Lebensdauer von 10 000 Stunden bezieht sich auf Normalheizung mit Heizspannungs-Schwankungen innerhalb $\pm 5\%$. Es ist grundsätzlich durchaus möglich, die hier zur Besprechung stehenden Röhren auch mit einer Heiztoleranz von $\pm 10\%$ zu betreiben. Jedoch sind bei längerem Betrieb außerhalb der 5% Grenzen die Voraussetzungen für die Einhaltung der garantierten Kenndaten bis zu 10 000 Stunden nicht mehr gegeben. Die beste Lebensdauer erhält man bei den Langlebensdauer-Röhren mit möglichst hoher Heizungskonstanz (z. B. 1%) bei Unterheizung im Bereich zwischen 3 und 5% . Die optimale Heizspannung ist dabei von der Katodenbelastung und vom Röhrentyp, d. h. z. B. von der Größe des Kolbens, von den System-Abmessungen, von der Getter-Aktivität und dem Grad der Entgasung abhängig. Eine untere Grenze für die Unterheizung ist in jedem Fall dadurch gegeben, daß der Sättigungsstrom immer groß gegen den Betriebsstrom bleiben, bzw. daß die Röhre im Raumladungsgebiet betrieben werden muß.

Bei neueren Röhren wie z. B. bei der E 180 F liegt die Katodentemperatur für Normalheizung bei 680 bis 690°C (schwarze Temperatur). Sie liegt also etwa um 50° niedriger als bei älteren Röhren. Früher konnte man jedoch die normalen Heiztoleranzen mit einer so niedrigen Temperatur nicht beherrschen.

Unter Umständen sind bei der Festlegung der Heizspannung im Gerät noch besondere, durch den speziellen Verwendungszweck gegebene Verhältnisse zu berücksichtigen. So wird z. B. für Röhren im Fernsprech-Weitverkehr verlangt, daß sie die Umschaltung von der normalen Stromversorgung auf ein Hilfsaggregat ohne merkliche Emissionsabsenkung vertragen. Die Heizung darf deswegen nicht niedriger gewählt werden als für eine 15 s lange Heizstrom-Unterbrechung ohne wesentliche Emissionsminderung zulässig ist.

Ebenso wie für die Grenze der Unterheizbarkeit bei gegebenem Katodenstrom ist das Raumladungsgebiet auch im umgekehrten Fall für die obere Grenze der zulässigen Katodenbelastung bei gegebener Heizung maßgebend. Der Katodenstrom darf ein durch die Eigenschaften des gesamten Röhrensystems bestimmtes Verhältnis zum Sättigungsstrom nicht überschreiten. Andererseits kann auch bei zu geringem Katodenstrom das Kato-

dengleichgewicht nicht aufrechterhalten werden, und die schädliche Zwischenschicht-Bildung wird begünstigt. Verringerung der Katodenbelastung wirkt sich deshalb nur bis zu einer gewissen Grenze günstig auf die Lebensdauer aus, wobei diese Grenze auch wieder von der Gesamt-Konstitution der Röhre abhängt. Mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Röhren sollte man deshalb allzu starke Abweichungen von den im „VALVO Elektronenröhren-Handbuch“ empfohlenen Betriebsdaten vermeiden. Für Röhren, die vorwiegend ohne Anodenstrom betrieben werden, kann man die für Langlebensdauer-Röhren geforderten Eigenschaften nur bei Verwendung von Spezialkatoden garantieren. Man verwendet für die Katoden der meisten Langlebensdauer-Röhren ausgesuchtes aktives Nickel mit wenig Silizium und Magnesium, um die Neigung zur Zwischenschicht-Bildung gering zu halten. Für die E 90 CC und E 92 CC, die durch ihre Schaltungstechnik in dieser Hinsicht besonders gefährdet sind, wird ein speziell passives Nickel verwendet, das praktisch frei von Magnesium- und Silizium-Beimengungen ist.

Isolationsströme können in der Röhre durch fehlerhaften Glimmer oder durch Metallniederschläge verursacht werden, die aus der Katode oder anderen Elektroden, bzw. aus dem Getter stammen und auf den Glimmerplättchen oder auf dem Preßsteller entstehen. Man verhindert solche Isolationsströme durch sorgfältige Auswahl des Isolationsglimmers und durch möglichst lange Isolationsstrecken, die durch Aufspritzen von Magnesiumoxyd noch verlängert werden, wobei allerdings auf besonders gute Entgasung dieser aufgespritzten Schichten geachtet werden muß, da sie hygroskopisch sind. Vergrößerte Glaskegel an den Durchführungen im Preßsteller geben besonders lange Kriechwege im Röhrenfuß. Als Abschirmung gegen Metallniederschläge für besonders empfindliche Isolationsstrecken verwendet man außerdem gelegentlich Glimmerstreifen. Auch auf der Außenseite des Röhrenfußes muß man auf einwandfreie Isolation achten. Bei versilberten Röhrenstiften reicht deswegen die Versilberung nicht ganz bis an den Röhrenboden heran, damit keine Silberschicht durch Elektrolyse auf dem Glas entsteht. Bei vergoldeten Stiften kommt man auch ohne einen solchen Sicherheitsabstand aus. Fast alle genannten Sicherheits-Maßnahmen sind auch in der Fertigung der Empfängerröhren gebräuchlich. Für gute Isolation während der Lebensdauer sind darüber hinaus jedoch vor allem die vielseitigen Maßnahmen zur Verbesserung der allgemeinen Röhrenqualität und die Röhrentemperaturen entscheidend.

Die Gitteremission wird hauptsächlich durch Niederschlag von verdampftem Katodenmaterial

Isolation

Gitteremission

auf dem Gitter hervorgerufen. Sie wird bei der E 180 F und ebenso bei der 18046 und E 81 L durch Vergoldung der Gitter niedrig gehalten. Mit Rücksicht auf das Kontaktpotential kann man diese Methode jedoch nicht immer anwenden. Andere Mittel, die z. B. bei der 18042 und E 83 F zur Anwendung kommen, sind intensive Kühlung der Gitter durch Einbau von dicken Kupferstegen, sowie Ableitung der Wärme über die Sockelstifte.

Glasspannungen

Um Röhrenausfall durch Glassprünge zu vermeiden, muß man sorgfältig auf kritische Glasspannungen achten. Besonders nach dem Einschmelzen müssen die Röhrenkolben ganz gleichmäßig abkühlen. Sie werden dazu durch einen Temperofen mit drei Temperaturbereichen geführt (Abb. 36). Um die Elektrodensysteme dabei gegen Oxydation zu schützen, werden die Röhrenkolben beim Durchgang durch den Ofen ebenso wie vorher auf der Einschmelzmaschine ständig mit frischem Schutzgas gefüllt. Zur Prüfung auf schädliche Spannungen stellt man beim täglichen Anlauf der Fertigung auf den Einschmelzmaschinen eine Anzahl Blindröhren her und schneidet sie zwecks genauer Untersuchung der Einschmelzung wieder auf. Außerdem werden stündlich 10 Proben aus der normalen Fertigung auf die gleiche Weise untersucht. Schließlich kommen die Röhren nach dem Abschmelzen für eine Minute in kochendes Wasser (Abb. 37). Dabei würden Röhren mit kritischen Spannungen im Glas auf jeden Fall zerstört werden. Im Zusammenhang mit Glasrissen ist ein Beispiel interessant, das zeigt, welche Kleinigkeiten unter Umständen von Einfluß auf die Zuverlässigkeit der Röhren sein können. Die Abb. 40a und b zeigen zwei Preßteller in verschie-

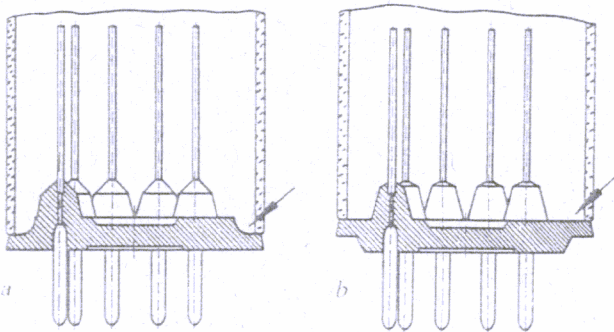


Abb. 40. Verringerung der Kerbwirkung im Röhrenfuß durch Konstruktions-Änderung

dener Ausführung. Bei der Ausführung 40a ergeben sich gelegentlich Glassprünge durch die Kerbwirkung an der mit dem Pfeil bezeichneten Stelle. Durch einfaches Umdrehen des Tellers entsteht die Ausführung 40b, bei der diese Kerbwirkung vermieden wird.

Undichtigkeiten an den Durchführungen vermeidet man durch sorgfältige Auswahl der Materialien

für die Durchführungen und für den Preßteller, die in ihren Ausdehnungs-Koeffizienten aufeinander abgestimmt sein müssen. Haarrisse, die trotzdem auftreten könnten, sind nicht immer im Glas zu suchen, sondern können auch in den Einschmelzdrähten selbst vorkommen. Hiergegen kann man sich durch spezielle Prüfverfahren, z. B. mit dem magnetischen Rißdetektor schützen.

Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß die Röhrenqualität zu einem guten Teil auch von der Einarbeitung und der Sorgfalt der Arbeiter abhängt. Für die Montage der Langlebensdauer-Röhren werden daher nur ausgesuchte Kräfte eingesetzt, und man ist ständig bemüht, durch eine entsprechende Lohnpolitik Anreiz zu höchster Sorgfalt und Aufmerksamkeit zu geben.

Auswahl der Arbeitskräfte

Um einen stabilen Arbeitspunkt zu erhalten, und gleichzeitig, um eine eventuell zu Beginn der Lebensdauer vorhandene Abweichung der Lebenskurve vom angestrebten Verlauf auszugleichen, werden alle Röhren 50 Stunden lang auf Brennräumen mit normaler elektrischer Belastung gealtert (siehe Abb. 38).

Alterung und Prüfung

Die Endprüfung der Röhren beginnt damit, daß die Röhren in einer Meßschaltung auf einen Rütteltisch (Abb. 39) gesetzt und bei 50 Hz Beschleunigungen von 2,5 g^{*}) im Dauerbetrieb oder bis zu 5 g für kurze Zeit unterworfen werden. Bei dieser Prüfung treten alle losen Kontakte oder auch Staubeinschlüsse zu Tage. Man beherrscht die Fertigung jedoch so weit, daß nur selten eine Röhre bei dieser Prüfung ausfällt. Außerdem unterzieht man die Röhren noch einer Stoßprüfung, die ebenfalls mit angelegten Spannungen erfolgt. Die Röhre wird auf einem beweglichen Tisch festgeklemmt, der von einem Hammer Stöße erhält. Dabei treten an der Röhre Beschleunigungen von etwa 500 g während 1 ms auf. Die Röhre erhält auf diese Weise je fünf Stöße in vier verschiedenen Richtungen, nämlich von unten von oben, senkrecht auf die Ebene der Gitterholme und in der Ebene der Gitterholme senkrecht auf die Holme. Die Spannungen, die dabei am Anodenwiderstand gemessen werden, geben Aufschluß über die Stabilität des System-Aufbaues.

Bei der elektrischen Prüfung werden die wichtigsten Daten der Röhre an jedem Exemplar gemessen. Außerdem wird noch eine Vielzahl von Stichproben-Prüfungen durchgeführt, wobei statistische Methoden die Zahl der Stichproben bestimmen. Sollte die Prüfung unbefriedigende Ergebnisse bringen, so wird die ganze Fertigungspartie vernichtet.

Nach der Endprüfung werden die fertigen Röhren zunächst einen Monat gelagert. Erst danach nimmt man die endgültigen Messungen zur Prü-

^{*}) g = Erdbeschleunigung

fung des Vakuums vor. Während dieser Zeit läuft an Musterröhren eine Betriebsprüfung über 500 Stunden unter verschärften elektrischen Bedingungen, wobei ein Teil der Röhren mit Unterheizung und der andere Teil mit Überheizung betrieben wird. Durch die erhöhte Beanspruchung treten möglicherweise vorhandene Fehler dabei

früher in Erscheinung als bei normaler Belastung. Aus dieser Prüfung kann man Rückschlüsse auf das Verhalten der Röhren während der Lebensdauer ziehen. Das Ergebnis dieser Lebensdauerprüfung entscheidet darüber, ob die gesamte Fertigungspartie ausgeliefert oder ausgeschieden wird.

V. Schlußbemerkung

Auch wenn grundsätzlich ein ähnlicher Fertigungsgang bei Langlebensdauer-Röhren und bei Empfängerröhren vorliegt, so sind die wesentlichen Unterschiede, die zu der erhöhten Zuverlässigkeit führen, darin zu suchen, daß man bei Langlebensdauer-Röhren ohne Rücksicht auf Kosten alles erdenkliche tut, um die Qualität der Röhren vollständig in die Hand zu bekommen. Während normale Empfängerröhren ein ökonomisches Opti-

mum in der Fertigung darstellen, bei dem man mit Rücksicht auf den Preis gewisse Zugeständnisse in Hinsicht auf die Größe des P -Faktors macht, hat man mit den Langlebensdauer-Röhren außerordentlich zuverlässige Bauelemente zur Verfügung, die den Einsatz elektronischer Geräte bei richtiger Röhrenwahl auch unter sehr scharfen Anforderungen möglich machen.

