

röhren die richtige Anodenspannung von etwa 170 Volt, die Schirmgitter etwa 60 Volt haben. Die Gittervorspannung beträgt für diese Röhren 1,5 Volt, für die Niederfrequenzröhre etwa 10 Volt. Die Fugen des Schirmkastens müssen dicht sein. Eventuell empfiehlt es sich, den Filterkasten auch oben zu schließen. Kommt man mit der Lautsprechersehneur der Oszillatortspule zu nahe, dann schwingt der Zwischenfrequenzverstärker. Lautsprecher also nicht auf den Apparat stellen. Die Röhren müssen fest in den Sockeln sitzen. Geringe Übergangswiderstände setzen den Heizstrom stark herab. Von dem richtigen Glühen des Fadens kann

man sich aber leicht überzeugen. Falls im Netzanschlußgerät keine Hochvakuumröhre, sondern eine solche, die eine Zündspannung hat, verwendet wird, ist die hohe Transformatorspannung von 200 Volt mit 0,1 μ F zu überbrücken. Andernfalls treten Störgeräusche auf. Schwingen des Zwischenfrequenzverstärkers kann nur durch mangelhafte Abschirmung oder ungeschickte Leistungsverlegung hervorgerufen werden. Bei der hohen Verstärkung der Schirmgitterröhre genügen natürlich nur geringe Rückkopplungen, um Schwingungen entstehen zu lassen. Bei sorgfältiger Ausführung ist der Empfänger vollständig stabil.

Neue Widerstandsverstärker

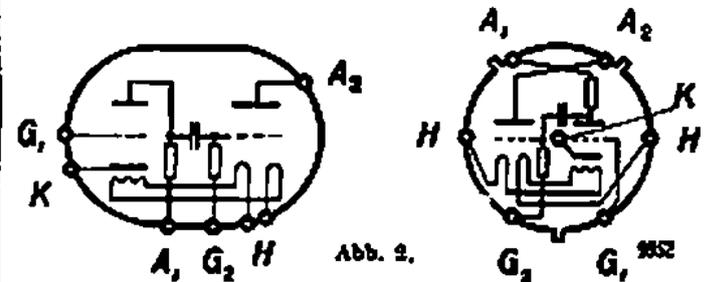
Von
Maurice v. Ardenna.

I. Verstärkungsziffer und Gittervorspannung.

Bekanntlich ist die größte Spannungsverstärkung, V_{max} , die mit einer Röhre mit dem Durchgriff D erreicht werden kann, zahlenmäßig gleich der Verstärkungsziffer $1:D$. Ist E_a die Spannung der Anodenbatterie und $-e_{g0}$ der Wert für die Gittervorspannung, bei der gerade der Anodenstrom einzusetzen beginnt, so ist: $V_{max} = \frac{E_a}{e_{g0}}$. Bei gegebener Anodenbatteriespannung ist daher durch die größte negative Gittervorspannung, bei der der Anodenstrom gerade verschwindet, die Verstärkungsziffer gegeben. Je kleiner sie wird, d. h. je kleiner bei gleichem E_a der Durchgriff gewählt werden kann, desto höhere Verstärkungsziffern können erzielt werden. Der Grund dafür, warum man auf dem angegebenen Wege in der Praxis Durchgriffe von mindestens 1 v. H. nicht unterschreitet, liegt darin, daß man bei Gitterspannungen von weniger als 1 Volt und den üblichen Anoden-

terspannung zu arbeiten, so müßten theoretisch enorme Verstärkungsziffern zu erreichen sein.

In der Tat sind mit den neuesten Typen von Widerstandsverstärkern, die bei extrem kleinem Durchgriff bei null



Volt Gittervorspannung arbeiten, praktisch Verstärkungen von 350 bei 200 Volt Anodenspannung und von 870 bei 1300 Volt Anodenspannung hergestellt werden. Dieser außerordentliche Fortschritt war der Erkenntnis zu verdanken, daß die Nachteile geringeren Eingangswiderstandes,

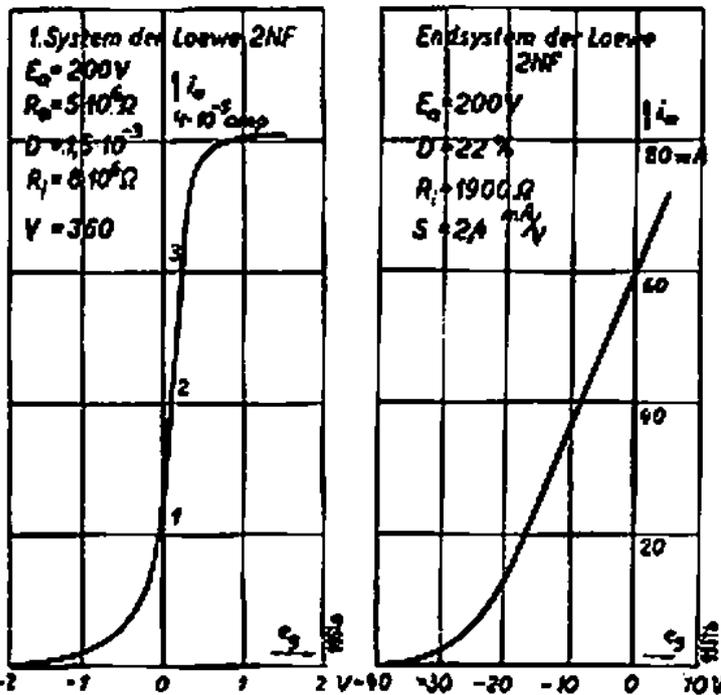


Abb. 1 a.

Abb. 1 b.

spannungen von 100 Volt ein zu starkes Anwachsen der Gitterströme befürchtet. Diese äußern sich in mehrfacher Weise schädlich: der kleine Gitterwiderstand belastet angeschaltete Schwingungskreise, deren Selektivität und Resonanzeffekt verringert wird; es treten gitterseitige Verzerrungen infolge der Krümmung der Gitterkennlinie ein usw. Bei minus 1 Volt Gittervorspannung und 100 Volt Anodenspannung konnte eine Verstärkungsziffer von 100 pro Stufe bisher nicht überschritten werden. Gelingen es, bei 0 Volt Gitter-

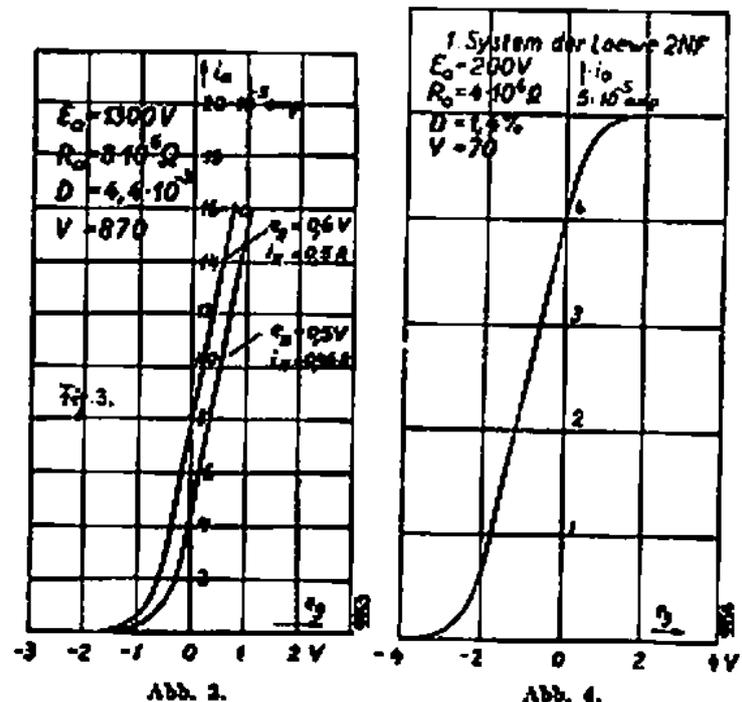


Abb. 3.

Abb. 4.

besonders bei geeigneter Kopplung der Röhre mit der Spannungsquelle, der erreichten Verbesserung gegenüber nicht ins Gewicht fallen. Wie die Röhren im einzelnen ausgeführt wurden und elektrisch zu behandeln sind, wird im folgenden beschrieben.

II. Drei neue Versuchstypen.

Die nach diesen Gesichtspunkten hergestellten Röhren waren einestils als Vorstufe für ein leistungsfähiges Lautsprecherendsystem, mit dem sie in Form einer Zweifachröhre kombiniert werden sollten, andererseits als Vorstufe für besonders hohe Anodenspannungen gedacht.

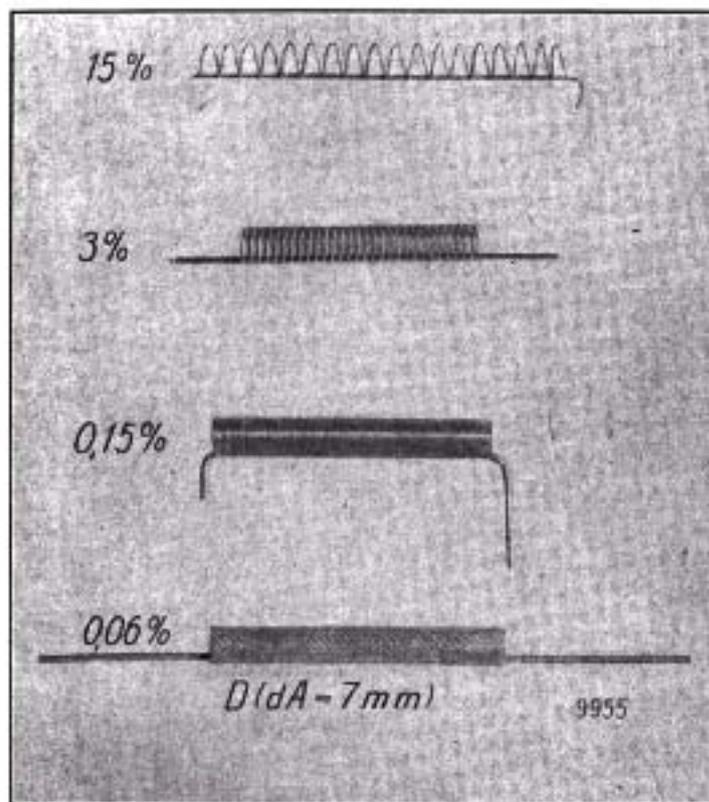


Abb. 5.

1. Die Vorstufe der Zweifachröhre.

Für den Betrieb der Zweifachröhre waren 200 Volt Anodenspannung vorgesehen. Eine Erhöhung der Anodenspannung zum Zwecke weiterer Steigerung der Verstärkung ist möglich. Die Kathode der Vorstufe ist eine indirekt geheizte Spezialkathode mit 0,18 Ampere Heizstrom. Der recht niedrige Heizstrom läßt eine gleichzeitige Benutzung der Röhre für Gleich- und Wechselstromheizung zu. Die Röhrenkonstante ist infolge der guten Kathode verhältnismäßig hoch, nämlich $1,9 \cdot 10^{-4}$. Die Abb. 1 a zeigt die Charakteristik der Vorstufe, die nur 1,5 v. H. Durchgriff hat. Bei dem angegebenen Anodenwiderstand von $5 \cdot 10^6$ Ohm können bei voller Aussteuerung an die nachfolgende Endstufe etwa 15 Volt Scheitelspannung abgegeben werden. Dazu genügen infolge der enormen Verstärkung von 360 an der Eingangsseite bereits 0,04 Volt Niederfrequenzspannung bei der Gittervorspannung Null. Als Anodengleichrichter geschaltet, kann mit der Vorstufe auch Ortsempfang ermöglicht werden, wozu bei voller Aussteuerung und der üblichen 20prozentigen Modulation der Sender etwa 0,8 Volt Hochfrequenzscheitelspannung genügen. Über die geeigneten Schaltungen der Röhre, deren Eingangswiderstand betriebsmäßig nur 75 000 Ohm beträgt, wird im Abschnitt IV gesprochen.

2. Die Kombination mit dem Endsystem.

Abb. 2 zeigt die prinzipielle Schaltung sowie die Sockelschaltung der mit dieser Vorstufe entwickelten Zweifachröhre. Die Kennlinie der benutzten Endstufe ist in Abb. 1b mit der der Vorstufe kombiniert. Die Endstufe ist verhältnismäßig kräftig; bei zwanzig bis dreißig Milliampere Ruhestrom und 200 Volt Anodenspannung kann sie bis zu 1 Watt

unverzerrte Leistung abgeben. Zu ihrer Aussteuerung genügen bei etwa 20 v. H. Durchgriff 15 Volt Scheitelspannung. Die Kathode der Röhre besteht aus zwei mit der Heizspirale der indirekten Kathode der Vorstufe in Reihe liegenden Fäden, die zur Wahrung elektrischer Symmetrie bei Wechselstrombetrieb zu beiden Seiten der Vorstufenkathode angeschlossen sind. Der Gitterableitwiderstand von 8 Megohm ist groß genug, um auch bei sehr tiefen Niederfrequenzen die Gleichmäßigkeit der Verstärkungskurve nicht zu stören.

3. Versuche mit hoher Anodenspannung.

Um die Verstärkungsziffern der einzelnen Stufe noch weiter zu steigern, wurde die Anwendung von Anodenspannungen über 1000 Volt erprobt. Theoretisch müßte sich bei gleichen Anodenwiderständen und gegebenem Durchgriff die Spannungsverstärkung mit der Wurzel aus der angewendeten Anodenspannung steigern lassen. Die Verwendung derart hoher Spannungen hat noch den weiteren Vorteil, daß man auch bei den verwendeten sehr kleinen Durchgriffen geringe negative Gittervorspannungen anwenden kann, ohne in Gebiete allzu geringer Steilheit der Kennlinie zu kommen. Man kann dadurch, falls notwendig, hohe Gitter-Eingangswiderstände erzwingen. Abb. 3 zeigt die Kennlinien dieses Versuchstyps, und zwar bei einer Röhre mit direkter Heizung. Trotz des hohen Anodenwiderstandes von 8 Megohm war die Röhre in Oszillatorschaltungen gut verwendbar (s. unter Abschnitt III). Der Durchgriff betrug hier nur noch 0,044 v. H., wobei tatsächliche Spannungsverstärkungen von 870 entstanden. Die Kathode der indirekt geheizten Röhren war die gleiche wie die unter 1 beschriebene.

4. Vorstufe für Rückkopplungsschaltungen.

Während die unter 1 beschriebene Vorstufe in einer Zweifachröhre mit 200 Volt Betriebsspannung für Verstärkerzwecke eine sehr leistungsfähige Lösung darstellt, haftet ihr der Mangel eines allzu hohen inneren Widerstandes an, der mit dem extrem kleinen Durchgriff im ursächlichen Zusammenhang steht. Eine Folge davon ist die Unbrauchbarkeit der Röhre für Überlagererzwecke und Rückkopplungsschaltungen. Während dieses ihrer Eignung für Ortsempfänger keinen Abbruch tut, und andererseits für Fernempfängerschaltungen eine vorzuschaltende Hochfrequenzverstärkung gleichzeitig die Anfachung des Abstimmkreises durch Rückkopplung übernehmen kann, wie es in Abb. 10 (Abschnitt IV) dargestellt wird, ist bei 200 Volt Anodenspannung eine Anfachung des Gitterkreises bei seiner hohen Gitterbelastung durch die Röhre selbst unmöglich.

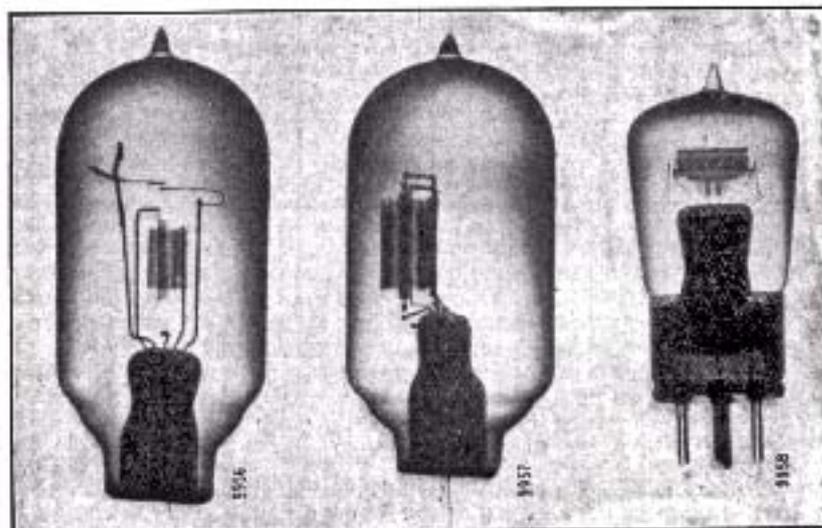


Abb. 6.

Abb. 7.

Abb. 8.

Eine kleine Umformung der Barkhausenschen Selbsterrregungsformel dient zur Verdeutlichung. Auf einen zwischen Anode und Kathode liegenden Schwingungskreis wirkt eine Röhre mit Rückkopplung wie ein Widerstand von der Größe

$$R_1 = \frac{R_1}{1 - \mu}$$

worin β der Rückkopplungsfaktor und R_i der statische innere Röhrenwiderstand ist. Eine Erregung ist nur möglich bei solchen Belastungswiderständen R_L , welche größer als dieser wirksame Widerstand βR_i der Röhre sind. Da man den Rückkopplungsfaktor nur bis zu einer gewissen Grenze treiben kann, ist ersichtlich eine Verkleinerung von β von großer Bedeutung. Die beschriebene Vorstufe hat einen inneren Widerstand von 8 Megohm! Um Resonanzwiderstände von 100 000 Ohm anzufachen, müßte demnach der Rückkopplungsfaktor bereits 80mal so groß sein wie der Durchgriff. Es ist

über die des Anodenzylinders hinaus. Abb. 5 und 6 zeigen Röntgenaufnahmen von Röhren mit Durchgriffen von 1 v. H. mit direkter bzw. indirekter Heizung. Die Zuleitungsdrähte zu Anode und Faden sind benachbart geführt und tragen durch ihre Kapazität zur Verringerung der Anodenrückwirkung bei. Zum Vergleich ist in Abb. 7 eine ältere Röhre von Loewe mit etwa 3 v. H. Durchgriff abgebildet. Noch deutlicher wird die Konstruktion der Gitter durch die Photographie Abb. 8. Da die Herstellung der Gitter als

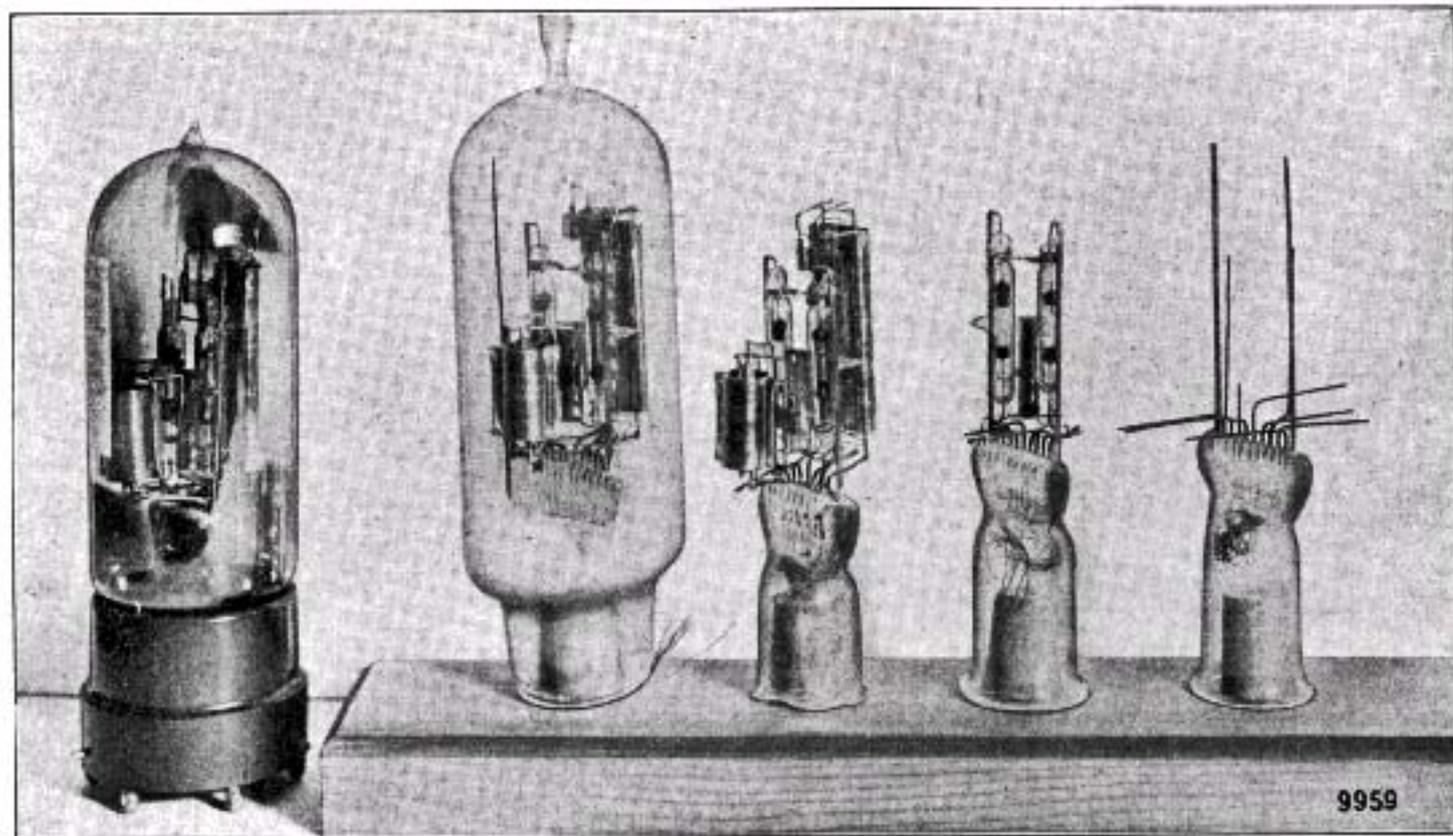


Abb. 9.

nicht immer möglich, entsprechende Rückkopplungen von 20 v. H. und mehr praktisch herzustellen, wenn erhebliche Gitterstrombelastungen vorliegen.

Für Rückkopplungsschaltungen mit einer Röhre (bzw. in Form der Zweifachröhre mit nachgeschaltetem Endsystem) wurde daher ein Spezialtyp mit kleinerem inneren Widerstand entwickelt. Die Kennlinien dieses Typs zeigt Abb. 4. Der Durchgriff war naturgemäß wesentlich heraufzusetzen (1 v. H.). Durch die Möglichkeit kleiner negativer Vorspannungen werden Gitterbelastungen durch Gitterströme vermieden. Die Verstärkungen betragen bei 4 Megohm immer noch 70, bei einer Gittervorspannung von etwa 1,5 Volt. Mit dieser Röhre war es nun in der Tat möglich, trotz des Anodenwiderstandes von 4 Megohm bei 200 Volt Anodenspannung Anodengleichrichtung mit Rückkopplung zu vereinigen. Der hohe Anodenwiderstand wirkt bei dieser Schaltung besonders günstig auf den Schwingungseinsatz ein: Trotz des Arbeitens auf dem unteren Knick der Kennlinie, d. h. bei optimaler Gleichrichtung, müssen die Schwingungen, wie die Theorie zeigt, stets weich und stabil der Rückkopplung folgen. Der Verlust an Verstärkung gegenüber dem Typ 1 läßt sich durch die Rückkopplungsfähigkeit sehr gut wieder ausgleichen, so daß auch an sehr kleinen Außenantennen am Tage Fernempfang mit diesem Typ möglich wurde (s. Abschn. IV).

III. Technische Ausführung der Röhren.

Die Konstruktion von Röhren mit extrem kleinen Durchgriffen stellte zum Teil neue konstruktive Probleme. Eine hier auftretende Störung war der sogenannte Umgriff der Röhre, d. h. ein Reststrom, der unbeeinflusst von der Gitterspannung direkt zwischen Anode und Faden übergeht. Man verkleinerte ihn durch Vergrößerung der Länge des Gitters

spiralisches Schraubengitter bei dem sehr kleinen Durchgriff Ungenauigkeiten in der Fabrikation mit sich bringt, so wurde z. T. dazu übergegangen, die Gitter aus Drahtgaze herzustellen. In Abb. 9 ist der Entwicklungsgang der neuen Loewe-Zweifachröhre 2NF wiedergegeben. Es sei bemerkt,

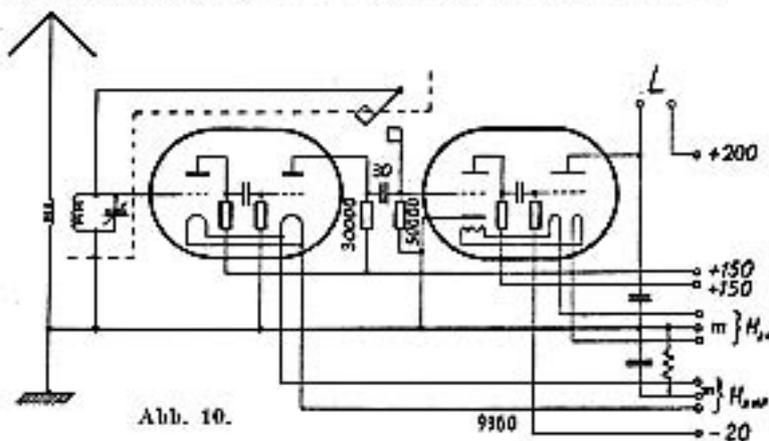


Abb. 10.

daß dank der mechanischen Stabilität der indirekten Kathode im ersten System trotz der hohen Spannungsverstärkung der Mikrophoneffekt sich in sehr niedrigen Grenzen hält.

IV. Schaltungen.

1. Die Zweifachröhre in der Schaltung.

Die Versuchszweifachröhre (nach 1) eignet sich bei der Gittervorspannung Null in gleicher Weise für Verstärkung

kleiner Niederfrequenzen sowie zum Empfang modulierter Hochfrequenz. Es sei zunächst die Empfangsschaltung besprochen. Da die Spannungsempfindlichkeit nicht allzu hoch ist (die Röhre ist erst mit 0,8 Volt übersteuert), so wird die Zweifachröhre allein hauptsächlich für den Ortsempfang in Frage kommen. Obwohl die maximale Steilheit nach Abb. 1a nicht direkt bei $E_z = 0$ liegt, wird in der Tat eine optimale Verstärkung erreicht. Infolge der Anodengleichrichtung hebt sich der Anodenstromwert bei voller Aussteuerung bis auf etwa $2,5 \cdot 10^{-3}$ Ampere. Durch die starken Gitterströme wird die Selektivität des Empfängers verringert, was aber bei reinem Ortsempfang ohne Bedeutung ist.

Wesentlich günstigere Arbeitsbedingungen lassen sich erreichen, wenn vor die Zweifachröhre Hochfrequenzverstärkung geschaltet wird. Die inneren Widerstände der Hochfrequenzröhren liegen in der Größenordnung von 20 000 bis 30 000 Ohm. Sie sind bei Benutzung der Widerstandskopplung bereits durch den Anodenwiderstand gleicher Größenordnung, durch die innere Anode-Faden-Kapazität und die Kapazitäten des Aufbaues sowie endlich durch die Gitterableitung der nachfolgenden Stufe belastet. Im Rundfunkbereich wird diese Belastung im Durchschnitt etwa 15 000 Ohm betragen. Wird daher an eine derartige Stufe die betrachtete

Vorstufe der Zweifachröhre direkt aperiodisch gekoppelt, so ist die Mehrbelastung durch die 75 000 Ohm der schon vorhandenen Belastung gegenüber verschwindend. Ein Vorzug dieser Kopplung zwischen Hoch- und Niederfrequenzteil ist das Fehlen eines besonderen Abstimmkreises, der sonst stets an dieser Stelle angewandt wird. Man wird die erforderliche Abstimmung vor der Gesamtapparatur vorzunehmen haben. Zur Erhöhung der Selektivität, die durch einen einzigen Kreis erreicht wird, kann dann in bekannter Weise die Rückkopplung des Hochfrequenzverstärkers, eine Sperrkreisordnung für starke Störer oder auch beides zugleich, dienen. Benutzt man zwei Stufen Hochfrequenzverstärkung, so hat man den Vorteil, eine sehr gut einstellbare kapazitive Rückkopplung nach Helltag anbringen zu können. Abb. 10 zeigt eine derartige Schaltung, bei der zur Hochfrequenzverstärkung eine Loewe-Zweifachröhre benutzt wurde. Der Empfänger erhält dadurch Einknopfbedienung und eine recht gute Gesamtempfindlichkeit, die es z. B. gestattet, am Tage Sender wie Prag, Stuttgart, Leipzig im Lautsprecher aufzunehmen. Die Kapazität des Rückkopplungskondensators C_r beträgt maximal 10 cm. Es empfiehlt sich bei so kleinen Kapazitätswerten, eine Abschirmung der beweglichen Belegung anzubringen, aus der diese sich durch einen Schlitz der außen angebrachten festen Belegung nähern kann.

Die 2 NF-Röhre eignet sich zur Niederfrequenzverstärkung, wenn die Spannungsquelle keinen allzu großen inneren Widerstand hat. Die obere Grenze für diesen wird etwa bei 30 000 Ohm liegen. Will man Schalldosen-Verstärkung vornehmen, so ist diese Bedingung für die gebräuchlichen Typen von Tonabnehmern meist von selbst erfüllt. Im Gegensatz zu Verstärkern mit hohem Eingangswiderstand kann man hier optimale Wirkungen erzielen, ohne daß ein besonderer Eingangsübertrager gebraucht wird. Mit diesem werden gleichzeitig zusätzliche Verluste und Eisenverzerrungen vermieden. Man kann einen solchen Schaltungsfall, bei dem der Eingangswiderstand der Röhre mit dem des Ge-

nerators in gleiche Größenordnung fällt, geradezu als eine „Röhrenanpassung“ bezeichnen. Wird die Verstärkung der Schalldosenanspannung mit demselben Gerät vorgenommen, so muß durch eine Umschaltung dafür gesorgt werden, daß die Schalldose allein an das Gitter gelegt wird, ohne durch die Hochfrequenzröhre und den Gitterableitungswiderstand unnötig belastet zu werden.

2. Spezialschaltungen für hohe Anodenspannungen.

Während bei Verwendung hoher Anodenwiderstände von mehreren Megohm bei kleinen Anodenspannungen der innere Röhrenwiderstand zu groß wird, um dauernde Schwingungen im Gitterkreis durch Rückkopplung aufrecht zu erhalten, besteht bei einer Steigerung der Anodenspannung auf mehrere hundert Volt die Möglichkeit, hochwertige Oszillatorschaltungen für großen Wellenbereich aufzubauen. Bedingung ist dabei, daß durch Einführung einer gewissen geringen negativen Vorspannung, die bei derart hohen Anodenspannungen ohne weiteres anwendbar ist, die Gitterstrombelastung des Schwingungskreises genügend verringert wird. Steigert man die Gittervorspannung so lange, bis das Gebiet der Kennlinienkrümmung erreicht wird, so ist eine Schwingaudioschaltung, die mit Anodengleichrichtung

arbeitet, herzustellen. Der hohe Anodenwiderstand ermöglicht dabei eine wirkungsvolle Spannungsverstärkung in einer nachzuschaltenden Stufe. Versuche mit derartigen Schaltungen ergaben Schwebungsempfang bis zu 10 m Wellenlänge.

Über die Herstellung der hohen Anodenspan-

nung ist noch einiges zu sagen. Da der Stromverbrauch der Hochvoltstufe außerordentlich gering ist, macht die Vorschaltung von 1 bis 2 Megohm vor die Hochvoltklemme des Netzanschlußgerätes elektrisch nichts aus. Die Anlage wird dadurch aber berührungssicher, da bereits ein Strom von etwa 1 Milliampere die gesamte Klemmenspannung zu Null macht. Werden noch mehrere Spannungsverstärker bzw. Endstufen angeschlossen, die mit niederen Spannungen arbeiten, so wird man sämtliche Spannungen demselben Netzanschlußgerät zu entnehmen wünschen. Eine hierzu geeignete Schaltung, bei der eine hohe Spannung (500 Volt) und eine halb so große, erstere in Einweg-, letztere in Vollweg-Gleichrichtung, gleichzeitig entnommen werden können, zeigt Abb. 11. Will man die gesamte Sekundärwicklung des Transformators für beide Zwecke ausnutzen, so sind, da die Minusleitungen 250 Volt Spannungsdifferenz gegeneinander haben, zwei getrennte Heizwicklungen aufzuwickeln. Zweckmäßig ist es, zur Gleichrichtung der Hochspannung eine Ventilröhre an Stelle eines Glühkathodengleichrichters zu verwenden, da es sich ja um die Gleichrichtung von Bruchteilen eines Milliampere handelt. Röhren dieser Art sind neuerdings im Handel erschienen.

3. Rückkopplungsschaltung der Zweifachröhre.

Über die Verwendbarkeit der Zweifachröhre mit 1 v. H. Durchgriff zu Überlagererzwecken ist in Abschnitt II.4 gesprochen worden. Die entsprechende Schaltung, bei welcher ebenfalls eine Gitterspule mit Gitteranzapfung nötig wird, ist bis auf die Vermeidung der hohen Anodenspannungen und des dementsprechenden Spezialnetzanschlußgerätes der Schaltung Abb. 11 des Hochvolttyps analog.

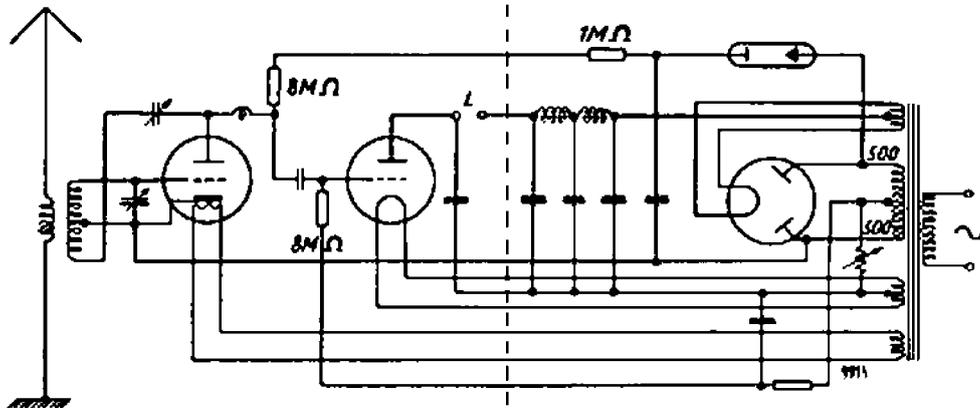


Abb. 11.