

$$C = \frac{\epsilon \cdot F (n - 1)}{4 \pi \cdot a} \quad (6)$$

wobei

- C = Kapazität in cm,
- n = Gesamtzahl der Platten (Stanniolblätter oder dgl.),
- F = Fläche einer Platte in qcm,
- a = Abstand zweier Platten (= Dicke des Dielektrikums) in cm und
- ϵ = Dielektrizitätskonstante des verwendeten Isolators

bedeutet. Letztere ist aus der nachstehenden Zusammenstellung zu entnehmen.

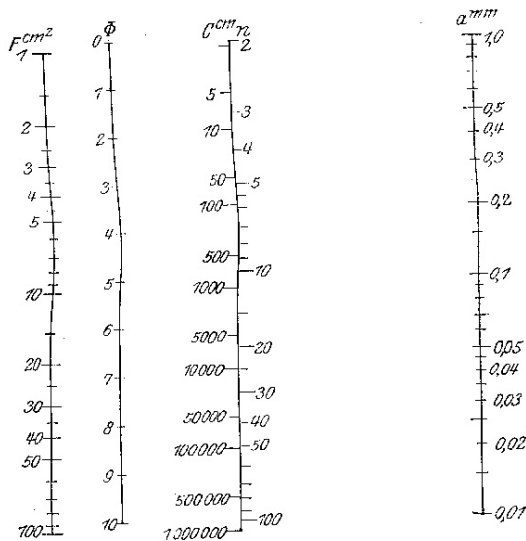


Abb. 4.

Dielektrizitätskonstanten.

Luft	1,0
Glimmer	ca. 8
Glas	ca. 6
Paraffin	2
Hartgummi	2,7
Schellack	3,5

Die wesentlichste Rechenarbeit erspart auch hier wieder ein Nomogramm (Abb. 4), welches für $\epsilon = 1$ aufgestellt wurde; bei anderen Dielektriken als Luft müssen die gefundenen Kapazitäten mit den betr. Dielektrizitätskonstanten multipliziert werden.

Die Benutzung des Nomogramms geht hier in der Weise vor sich, daß man aus beispielsweise F und n erst die Hilfsgröße Φ — deren numerischer Wert ohne Belang ist —, bestimmt, und dann aus Φ und a die gesuchte Kapazität ermittelt. Es gehören also zu dieser Tafel 2×3 Skalen, und

zwar einmal die F -, Φ - und n -Skala und andererseits die Φ -, C - und a -Skala.

4. Beispiel. Gegeben sei $F = 5$ qcm, $n = 33$, $a = 0,03$, $\epsilon = 2$; gesucht wird C .

Lösung: Die Werte für F und n im Nomogramm durch eine Gerade verbunden ergeben $\Phi = 5,5$; Φ mit $a = 0,03$ geradlinig verbunden ergibt $C = 5000$; dieser Wert mit $\epsilon = 2$ multipliziert ergibt endlich die gesuchte Kapazität $C = 10\ 000$ cm.

5. Beispiel. Es soll ein Blockkondensator von $C = 2000$ cm Kapazität gefertigt werden. Wieviel Stanniolblätter im Format von 4 qcm wirksamer Oberfläche sind hierzu erforderlich, wenn als Dielektrikum paraffiniertes Papier von 0,07 mm Dicke verwendet werden soll?

Lösung: Da für paraffiniertes Papier $\epsilon = 2$ gesetzt werden kann, ist mit einer Kapazität von $\frac{2000}{2} = 1000$ cm zu rechnen. Für $C = 1000$ und $a = 0,05$ liefert das Nomogramm $\Phi = 4,5$; dieses endlich gibt in Verbindung mit $F = 4$ die gesuchte Blattzahl $n = 18$.

Der superregenerative Empfänger.

Von Edwin H. Armstrong.

Verkürzte Übersetzung von Prof. Dr. H. Wigge.

(Wireless World Nr. 170, 1922, S. 234.)

Mit 10 Abbildungen.

Regeneration ist gleichbedeutend mit der Einführung eines negativen Widerstandes, der den positiven aufhebt und dadurch den tatsächlichen Widerstand des Kreises vermindert. Es gibt drei denkbare Beziehungen zwischen den negativen und den positiven Widerständen: nämlich der hinzugefügte negative Widerstand kann kleiner sein als der positive, ihm gleich oder größer.

Wir wollen betrachten, was für jeden der drei Fälle in einem regenerativen Stromkreise, der Induktivität und Kapazität enthält, eintritt, wenn eine elektromotorische Kraft der Resonanzfrequenz plötzlich aufgezwungen wird. In dem ersten Falle, wenn der negative Widerstand kleiner ist als der positive, haben die freie und die erzwungene Schwingung eine Maximalamplitude gleich der über den tatsächlichen Widerstand aufgezwungenen E. M. K., und die freie Schwingung hat eine Dämpfung, die durch diesen tatsächlichen Widerstand bestimmt wird. Der stationäre Zustand wird nach dem Aufhören der freien Schwingung erreicht und dauert an, bis die aufgezwungene

E. M. K. entfernt ist. Die Maximalamplitude des Stromes ist in diesem Falle immer endlich. Wenn die aufgezwungene Kraft entfernt wird, fällt der Strom bis auf 0 ab.

Im zweiten Falle ist der negative Widerstand gleich dem positiven und der resultierende Widerstand daher gleich 0. Wenn in diesem Fall eine E. M. K. aufgezwungen wird, beginnt der Strom sich zu vergrößern und wird schließlich unendlich groß. Wenn die Kraft nur eine endliche Zeit hindurch wirkt, erreicht der Strom einen endlichen Wert. Wird die aufgezwungene Kraft entfernt, dann dauert der Strom mit unveränderter Amplitude als freie Schwingung an.

Es ist wichtig, hier zu bemerken, daß, obwohl der Strom in diesem Fall den Widerstand 0 hat, Schwingungen nicht entstehen, wenn keine E. M. K. auf den Stromkreis wirkt, weiter, daß Schwingungen, einmal ausgelöst, mit unverminderter Amplitude unbegrenzt andauern. Dieser Zustand kann in der Praxis nicht erreicht werden, weil der durch die Röhre gelieferte negative Widerstand von der Stromamplitude abhängig ist und mit wachsender Amplitude abnimmt. Man muß hier zwischen dem rein theoretischen Zustande und dem Zustande, welcher in schwingenden Röhrenstromkreisen wirklich herrscht, unterscheiden. Bei den verschiedenen Formen der Röhrenoszillatoren wird in dem System eine freie Schwingung konstanter Amplitude unterhalten, und der Stromkreis kann so angesehen werden, als ob er den Widerstand Null hat, jedoch nur für diese besondere Stromamplitude. Eine dem Stromkreise aufgezwungene E. M. K. trifft immer einen positiven Widerstand wegen der nichtlinearen Charakteristik der Röhre.

Im dritten Falle ist der negative Widerstand größer als der positive, und der tatsächliche Widerstand des Stromkreises ist daher negativ. Wird einem Stromkreis in diesem Zustande eine E. M. K. aufgezwungen, so werden eine freie und eine erzwungene Schwingung ausgelöst. Die Amplitude der erzwungenen Schwingung wird bestimmt durch den Wert der aufgedrückten E. M. K., dividiert durch den resultierenden Widerstand des Stromkreises. Die freie Schwingung beginnt mit einer Amplitude, die der erzwungenen Schwingung gleich ist, und wächst ins Unendliche.

Obwohl der negative Widerstand des Stromkreises den positiven übersteigt und der tatsächliche Widerstand des Stromkreises negativ ist, treten Schwingungen nicht auf, bis eine

E. M. K. aufgedrückt wird. Ist jedoch einmal eine E. M. K. aufgedrückt, wie gering sie immer sein mag, dann wächst der Strom ins Unendliche, ganz gleich, ob die äußere E. M. K. entfernt wird oder nicht.

Der fundamentale Unterschied zwischen dem Zustand, in welchem der Widerstand des Stromkreises positiv ist und dem, in welchem er negativ ist, kann folgendermaßen ausgedrückt werden: im ersteren Fall enthält die erzwungene Schwingung den größeren Betrag an Energie, und die freie Schwingung ist von sehr geringer Bedeutung, im letzteren Fall kommt der freien Schwingung der größere Energiebetrag zu, während die erzwungene Schwingung von geringer Bedeutung ist.

Es ist natürlich nicht möglich, ein System herzustellen, in welchem der negative Widerstand den positiven übertrifft, ohne daß Schwingungen einsetzen, da irgendeine Unregelmäßigkeit in der Heizfadenemission oder ein durch atmosphärische Störungen erzeugter Impuls genügt, um Schwingungen zu erregen. Trotzdem ist es jedoch an der Hand verschiedener Mittel möglich, ein System zu konstruieren, welches die Erzeugung solcher störender Schwingungen vermeidet und sich dem theoretischen Falle nähert.

Der erste Versuch, freie Schwingungen in einem Regenerativsystem zur Verstärkung von Signalen zu verwenden, scheint von *Turner* mit seinem Ventilrelaissystem gemacht worden zu sein (britisches Patent 130 408). *Turner* verhindert den Regenerationsstromkreis daran, Schwingungen zu erzeugen, wenn keine Signale empfangen werden, indem er an das Gitter ein negatives Potential legt, welches grade das Einsetzen von Schwingungen verhindert. Eine geringe aufgezwungene E. M. K. hebt das Potential des Gitters über den „Schwellenwert“, und eine freie Schwingung steigt an bis zum Sättigungswert der Röhre. Das System wird auf seinen anfänglichen empfindlichen Zustand zurückgeführt mittels eines durch das Anwachsen des Anodenstroms der Röhre betätigten Relais. Dies Relais schließt die Rückkopplung kurz und gestattet so dem Potential des Gitters, unter den Schwellenwert zurückzusinken.

Bolithe (Patent 156 330) fügte eine wichtige Verbesserung hinzu, indem er das mechanische Relais *Turners* durch ein Ventilröhrenrelais ersetzte. Er fügte nämlich zu dem schwingenden Stromkreise der *Turnerschen* Einrichtung eine zweite Röhre mit einer umgekehrten Rückkopplung hinzu und ließ den Anodenstromkreis dieser

zweiten Röhre von einem Wechselstrom durchfließen. Sobald der Schwellenwert des ersten Röhrensystems überwunden ist und eine freie Schwingung einsetzt, tritt die umgekehrte Rückkopplung der zweiten Röhre in Tätigkeit, und im Augenblick, wo deren Anodenspannung positiv ist, klingt die freie Schwingung aus und gestattet dem Gitter der ersten Röhre, unter den Schwellenwert herabzusinken. Dies ist der zweite Schritt in der Nutzbarmachung der freien Schwingung für die Verstärkerwirkung.

Das hier zu beschreibende neue Verfahren beruht auf der Tatsache, daß der Stromkreis von selbst keine Schwingungen ausführen wird, wenn eine periodische Änderung des Verhältnisses zwischen dem negativen und dem positiven Widerstande eines Induktion und Kapazität enthaltenden Stromkreises in der Weise hervorgerufen wird, daß der negative Widerstand abwechselnd größer und kleiner wird als der positive, aber der Durchschnittswert des Widerstandes positiv ist. Während der Zeiten, wo der negative Widerstand größer ist als der positive, tritt dann eine große Verstärkung einer aufgezwungenen E. M. K. ein. Die freien Schwingungen, welche während der Perioden negativen Widerstandes ausgelöst werden, sind in ihrer Amplitude direkt proportional der Amplitude der aufgezwungenen E. M. K.

Die periodische Veränderung des Verhältnisses zwischen dem positiven und negativen Widerstand kann durch Veränderung des positiven oder des negativen Widerstandes oder durch gleichzeitige Veränderung beider hergestellt werden. Die Frequenz dieser Veränderung ist gewöhnlich verhältnismäßig niedrig, verglichen mit der Frequenz des zu verstärkenden Stroms.

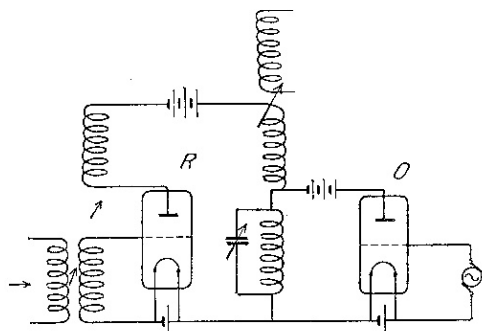


Abb. 1. Änderung des negativen Widerstandes.

Diese drei Methoden der Erzeugung des superregenerativen Zustandes werden durch die Abb. 1, 2 und 3 dargestellt, die das allgemeine Schema des Systems sind. Abb. 1 zeigt eine Methode der Ver-

änderung des durch das Regenerationssystem erzeugten negativen Widerstandes durch Veränderung der Anodenspannung einer Verstärkerröhre mittels einer zweiten Röhre, deren Gitter durch eine E. M. K. von passender Frequenz erregt wird.

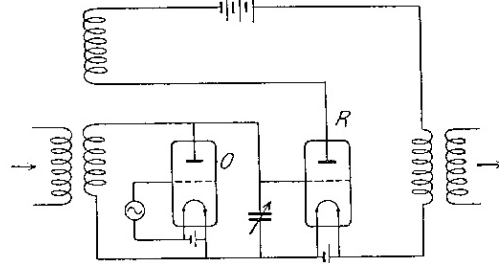


Abb. 2. Änderung des positiven Widerstandes.

Abb. 2 illustriert eine Methode, den positiven Widerstand des Stromkreises zu verändern. Das wird erreicht, indem der Anodenstrom einer Vakuumröhre zu dem Schwingungskreis eines Regenerationssystems, parallel geschaltet, und das Gitter dieser Röhre mit einer E. M. K. von passender Frequenz erregt wird.

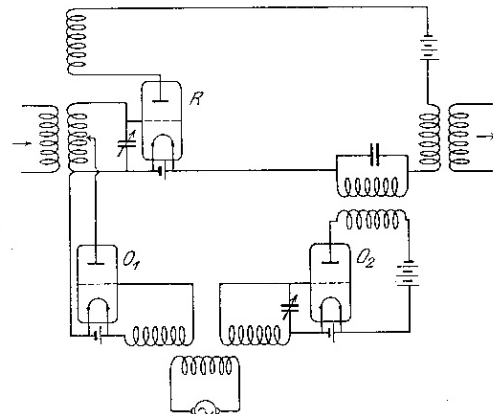


Abb. 3. Gleichzeitige Änderung von positivem und negativem Widerstand.

Abb. 3 stellt eine Kombination dieser beiden Systeme dar, bei welcher gleichzeitig positiver und negativer Widerstand verändert werden. Dabei ist zur Ausgleichung der Phasen dieser beiden Veränderungen Vorsorge getroffen.

Eine allgemeine Vorstellung von den Erscheinungen, die sich in diesen Systemen einstellen, sobald eine E. M. K. auf den Eingangstromkreis wirkt, wird aus dem Diagramm der Abb. 4, das speziell zur Schaltung der Abb. 1 gehört, gewonnen werden. Diese Abbildung illustriert die Hauptbeziehungen, welche in dem System, in welchem der positive Widerstand

konstant ist und der negative geändert wird, bestehen. Man sieht, daß die Frequenz der Veränderung als Modulation des verstärkten Stromes erscheint, so daß der Ausgangsstromkreise Ströme der aufgezwungenen Frequenz erhält plus zwei Oberschwingungen, die um die Frequenz der Veränderung verschieden sind.

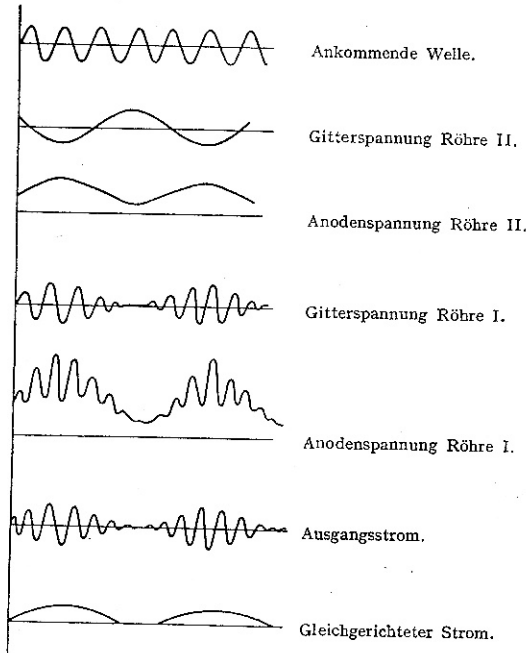


Abb. 4. Die Vorgänge in dem Empfänger der Abb. 1.

Die Frequenz der Veränderung des Verhältnisses zwischen dem positiven und dem negativen Widerstand ist von großer Wichtigkeit. Es kann sich um unterhörbare, hörbare und überhörbare Frequenzen handeln. Die Wahl der Frequenz ist ein Kompromiß, besonders in der Telephonie, da ja offenbar die Verstärkung um so größer ist, je niedriger die Frequenz, und je höher die Frequenz, um so besser die Qualität.

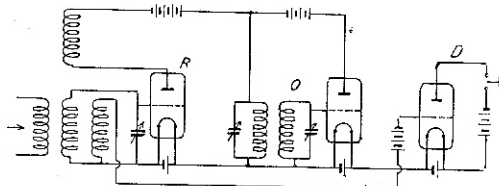


Abb. 5. Praktische Schaltung mit positiver Widerstandsänderung.

Einige praktische Schaltungen werden durch Abb. 5, 6 und 7 dargestellt, die die drei Typen der Veränderung illustrieren. Abb. 5 zeigt eine Methode, die Anodenspannung der verstärkenden Röhre mittels des mit dem Anodenkreis gekoppelten Röhrenoszillators *O* zu verändern. Bei dieser

Anordnung wirkt eine dritte Röhre *D* als Detektor. Das Telephone kann aber auch unter Umständen direkt in den Anodenstromkreis der verstärkenden Röhre gelegt werden.

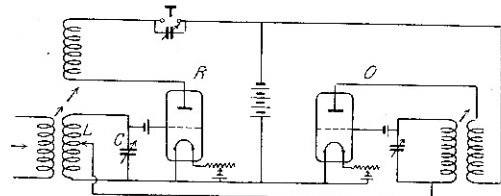


Abb. 6. Praktische Schaltung mit negativer Widerstandsänderung.

Abb. 6 zeigt den zweiten Fall, bei welchem der positive Widerstand des Schwingungskreises verändert wird. Das geschieht mittels einer schwingenden Röhre *O*, deren Gitterstromkreis mit dem Schwingungskreis *LC* der verstärkenden Röhre *R* verbunden ist. Während der Periodenhälfte, während der das Gitter der schwingenden Röhre positiv ist, wird Energie aus dem Schwingungskreis in der Form eines Leitungsstromes vom Gitter zum Heizdraht der schwingenden Röhre abgegeben, wobei der effektive Widerstand des Stromkreises verstärkt wird. Während der anderen Periodenhälfte, während der das Gitter der schwingenden Röhre negativ ist, kann kein Leitungsstrom durch den Gitterstromkreis fließen. Eine Widerstandsänderung tritt nicht ein.

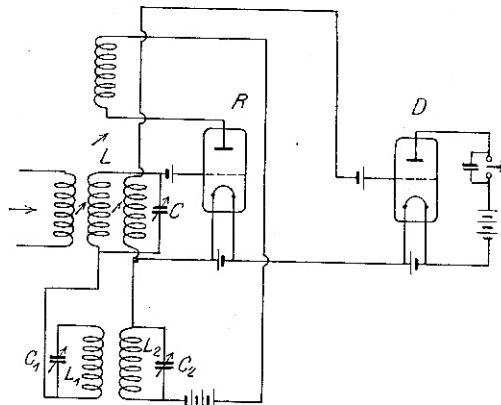


Abb. 7. Praktische Schaltung für gleichzeitige Änderung des positiven und negativen Widerstandes.

Abb. 7 illustriert den Fall einer gleichzeitigen Veränderung sowohl des positiven wie des negativen Widerstandes. Das wird erreicht dadurch, daß die Verstärkerröhre *R* mit einem zweiten Rückkopplungskreis *L₁, C₁* versehen wird und *L₂, C₂* mit etwas niedriger Frequenz schwingt. Dadurch wird das Anodenpotential und gleichzeitig das Gitterpotential des Verstärkers variiert, was einer gleichzeitigen Änderung des positiven und

negativen Widerstandes gleichkommt. Die passenden Phasenverhältnisse zwischen dem positiven und dem negativen Widerstand werden erlangt durch Abstimmung der Kondensatoren C_1 , C_2 und der Kopplung zwischen L_1 und L_2 . Beim Gebrauch ist dieses System sehr kritisch, und es ist außerordentliche Sorgfalt nötig, um super-regenerativen Zustand zu erhalten.

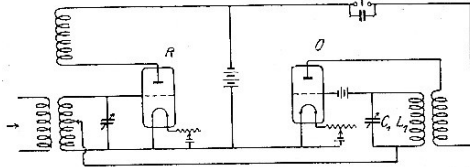


Abb. 8. Die schwingende Röhre gleichzeitig als Detektor geschaltet.

In jedem der vorhergehenden Fälle ist die Detektorwirkung durch eine besondere Röhre oder mittels der Verstärkerröhre erzielt worden. Wenn eine überhörbare Veränderungsfrequenz angewandt wird, ist es manchmal von Vorteil, die schwingende Röhre selbst gleichzeitig als Detektor zu schalten. Eine Anordnung dieser Art ist in der Abb. 8 dargestellt. Die Wirkungsweise dieses Systems ist folgende: Ankommende Signale werden verstärkt infolge der regenerativen Wirkung der Verstärkerröhre R und durch Potentialschwankungen, die durch den abgestimmten Schwingungskreis $L_1 C_2$ erzeugt und auf das Gitter der schwingenden Röhre O übertragen werden. Die Schwingungen werden dann gleichgerichtet. Die mit diesem System erreichbare Verstärkung ist sehr beträchtlich, aber es ist natürlich nicht leicht, mit ihm zu arbeiten.

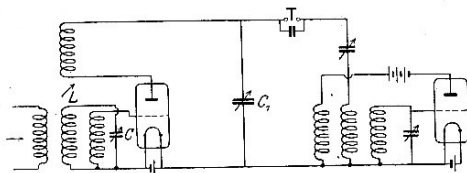


Abb. 9. Induktive Gitterkopplung der ersten Röhre.

Wenn in einem System, wie es in Abb. 1 illustriert ist, eine überhörbare Veränderungsfrequenz angewandt wird, dann ist es nötig, einen gewissen Widerstandsbetrag in den Schwingungskreis einzuführen, um sicherzustellen, daß die freie Schwingung während des Zeitraumes, wo der Widerstand des Stromkreises positiv ist, abklingt. Das wird am wirkungsvollsten ausgeführt durch die in der Abb. 9 wiedergegebene Schaltung, in welcher eine sekundäre Spule von

großer Induktion und hohem Widerstande mit dem Schwingungskreis LC gekoppelt ist, wodurch die aus dem schwingenden Stromkreise entnommene Energie dem Gitter der Röhre zugeführt wird.

Man macht bei diesem System die merkwürdige Beobachtung, daß der Anodenstromkreis der Verstärkerröhre auf die E. M. K. der Hilfsfrequenz wie ein induktiver Widerstand wirkt. Wenn nämlich die Hilfs-E. M. K. der Anode der Verstärkerröhre aufgedrückt wird, wird in dieser Röhre ein Strom erzeugt, der sich in Phase mit der E. M. K. an dieser Röhre befindet. Wenn die Anodenspannung ihre höchsten positiven Werte hat, ist der negative Widerstand ein Maximum. Da die Amplitude der freien Schwingung in dem System zunehmen wird, solange der Widerstand des Stromkreises negativ ist, wird sie ihre Maximalamplitude erreichen, nachdem die Anodenspannung ihr Maximum erreicht hat. Daher bleibt die Komponente des Stromes, welche der Frequenz der im Anodenstromkreis durch die Gleichrichtung der Radiofrequenzschwingungen ausgelösten Veränderung entspricht, in Phase hinter der auf die Anode gedrückten Hilfs-E. M. K. zurück, und der Anodenstromkreis der Röhre zeigt eine induktive Reaktion auf die Hilfs-E. M. K. an. Es wurde gefunden, daß diese induktive Reaktion beseitigt werden konnte durch den Kondensator C_1 , wobei die Stabilität des Systems zunahm und die Lautstärke besser wurde. Der Resonanzpunkt ist scharf und wird, wenn einmal die sonstige Schaltung des Systems korrekt durchgeführt ist, ebenso leicht gefunden wie irgendeine Abstimmungseinrichtung.

Das Problem der Kaskadenverstärkung mit diesem System ist ziemlich verwickelt wegen zahlreicher Wirkungen, welche bei den gewöhnlichen Methoden der Kaskadenverstärkung nicht angetroffen werden. Die Hauptstörung ist die Rückwirkung des zweiten verstärkenden Systems auf das erste und die Schwierigkeit, sie wegen der hohen Verstärkung jeder Stufe auf einfache Weise zu verhindern. Wegen der großen Radiofrequenzenergie in diesen Verstärkungssystemen ist die zweite Harmonische im Anodenstromkreis der verstärkenden Röhre sehr stark und von derselben Größenordnung wie die Grundschwingung, wenn die Röhre mit einer großen negativen Gitterspannung versehen wird. Man richtet nun die zweite Stufe des Kaskadensystems so ein, daß sie mit der doppelten Frequenz arbeitet und die zweite Harmonische verstärkt. Die allgemeine Einrich-

tung eines solchen Systems wird durch Abb. 10 veranschaulicht, in welcher die A positive Widerstände LC und $L_1 C_1$ eines zweistufigen Verstärkers sind und gleichzeitig durch einen einzigen

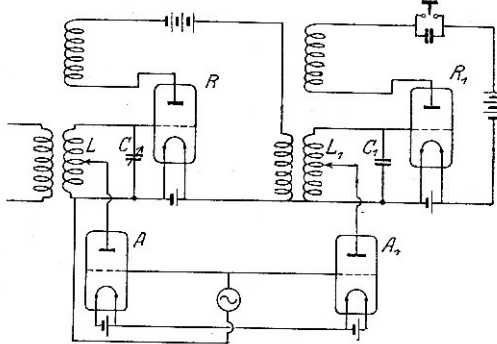


Abb. 10. Kaskadenverstärkung.

Oszillator verändert werden. Der Stromkreis $L_1 C_1$ wird in diesem Falle auf die zweite Harmonische des Stromkreises LC abgestimmt. Die Stromkreis-kombinationen, welche auf diesem Grundgedanken aufgebaut werden können, sind sehr zahlreich.

Die Lautsprecher von G. Seibt.

Von Dr. Eugen Nesper.

Mit 2 Abbildungen.

Von Dr. G. Seibt in Berlin-Schöneberg werden zwei Lautsprechertypen hergestellt, welche prinzipiell voneinander verschieden sind. Bei der ersten Form wird in bekannter Weise ein Horn verwendet, welches die lautverstärkten Schwingungen dem Zuhörer übermittelt, während bei der zweiten Type jede derartige Schallwiedergabevorrichtung vermieden ist und direkt von der Membrane aus die Schallabgabestattfindet.

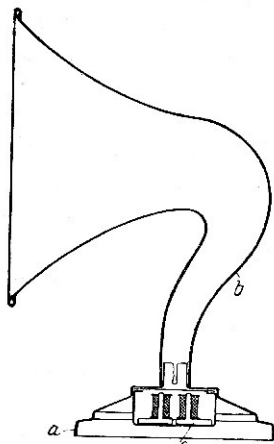


Abb. 1. Seibtscher Lautsprecher mit Horn.

Bei der Horn-type, von welcher Abb. 1 einen im wesentlichen schematischen Schnitt darstellt, ist ein Sockel a aus kräftigem Blech oder Preßmaterial benutzt, welcher durch ein das Horn b ausbalancierendes Gegengewicht (in der Abb. nicht wiedergegeben) noch besonders beschwert ist. Mit diesem Sockel ist ein normales, hochempfindliches Seibt-Telephon c fest verbunden; an Stelle der Hörermuschel tritt der

Sockel und das Horn für die objektive Schallwiedergabe. Durch eine besondere Dämpfungsvorrichtung im Innern der Telephonmuschel ist dafür gesorgt, daß ein störendes Mitschwirren der Membrane vermieden wird. Tatsächlich zeigt ein derartiger Lautsprecher eine recht gute Wiedergabe, welche ziemlich frei von allen Nebengeräuschen ist. Der evtl. sich bemerkbar machende Nachteil dieses Lautsprechers besteht darin, daß die Luftmasse im Trichter evtl. auch dieser selbst ins Mitschwingen kommt und daß hierdurch eine gewisse Tonlage besonders verstärkt wiedergegeben werden kann.

Die zweite Type ist mindestens für Musik der ersteren zweifelsohne überlegen. Da hierbei ein Horn überhaupt nicht verwendet wird, können auch alle hierdurch bewirkten Störungen nicht stattfinden, sondern es könnte als Störungsquelle im Lautsprecher lediglich die Membrane in Betracht kommen.

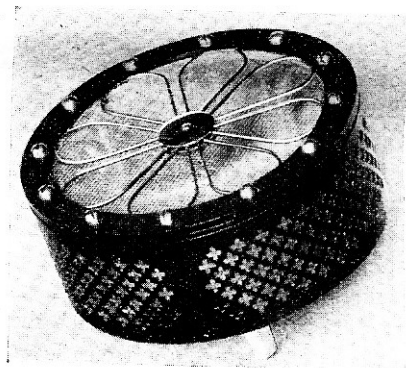


Abb. 2. Der hornlose Lautsprecher von G. Seibt.

In großen Zügen ist dieser Lautsprecher gemäß Abb. 2 etwa folgendermaßen aufgebaut:

Mehrere übereinanderliegende magnetische Magazine laufen in zwei geschlitzte Polschuhe aus, auf welche die Telephonspulen aufgeschoben sind. Das gesamte System ist auf einer Metallplatte aufgebaut, welche durch ein feines Gewinde von sehr großem Durchmesser vollkommen gleichmäßig gehoben und gesenkt werden kann. Die hierdurch bewirkte Feineinstellung ist nahezu ideal. Das Magnetsystem arbeitet auf einen kleinen Anker aus Eisen, welcher in besonders sinnreicher Weise mit der Aluminiummembrane verbunden ist, deren Durchmesser 100 mm beträgt. Diese Aluminiummembrane von 0,03 mm Stärke ist unter Benutzung besonderer Vorsichtsmaßregeln absolut homogen, teils kugelkalottförmig, teils konisch gedrückt, so daß ein vollkommen gleichmäßig schwingendes Gebilde mit kolben-