

FUNKTECHNISCHE MONATSHEFTE



Monatsausgabe des „Funk-Bastler“

Herausgegeben von Dr. P. Gehne und Prof. G. Leithäuser

HEFT 6

JUNI 1932

Preis für o

Bauanweisung für einen Thereminapparat

Von

W. Saraga und H. Wallor

In früheren Aufsätzen¹⁾ sind die physikalischen und technischen Grundlagen der Ätherwellenmusik untersucht worden. Im folgenden wird die Anleitung zum Bau eines Apparates gegeben. Auf diesem Apparat kann man nicht nur den musikalischen Effekt als solchen demonstrieren, sondern man kann — einen sauberen und sorgfältigen Aufbau vorausgesetzt — tatsächlich Musikstücke auf ihm spielen.

Schaltung. In Anlehnung an Abb. 3 des erwähnten Aufsatzes unterscheiden wir wieder verschiedene Teile, die in der Abbildung durch dicke Striche voneinander abgetrennt sind: den Hochfrequenzgenerator I, den Hochfrequenzgenerator II und den Überlagerer. Niederfrequenzverstärker und Lautsprecher sind in der Schaltung nicht dargestellt, da wohl jeder Bastler einen Niederfrequenzverstärker von 2 bis

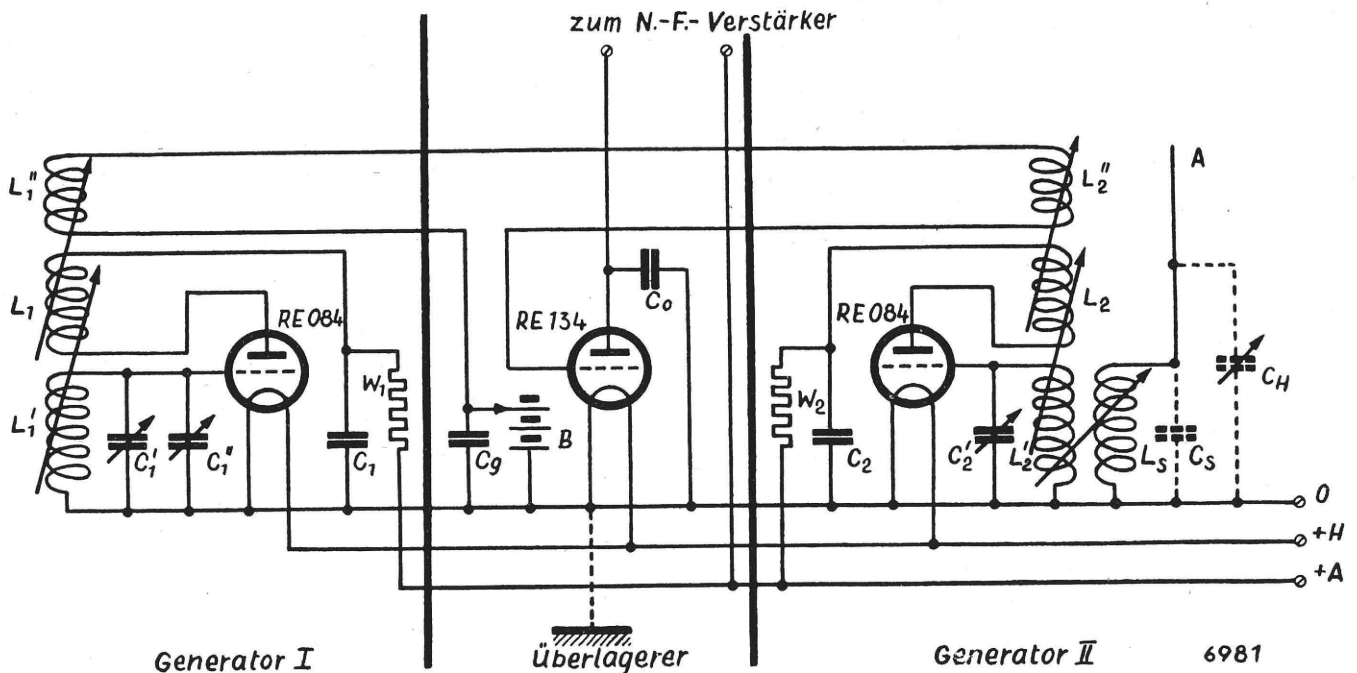


Abb. 1.

Im obengenannten Aufsatz wurde zunächst erläutert, aus welchen Gründen man zur Erreichung der notwendigen Handempfindlichkeit einen Überlagerungsgenerator verwenden muß (vgl. Abb. 3 jenes Aufsatzes). Es wurde dann im weiteren besprochen, wie mit Hilfe eines Sekundärkreises die gewünschte räumliche Tonhöhenverteilung erzielt wird und wie durch die elektrische Trennung der beiden Generatoren verhindert werden kann, daß bei der Überlagerung die tiefen Töne wegfallen.

I. Die Schaltung

1. Der Überlagerungsgenerator

Unter Berücksichtigung der früher gegebenen Überlegungen erhalten wir die in Abb. 1 dargestellte

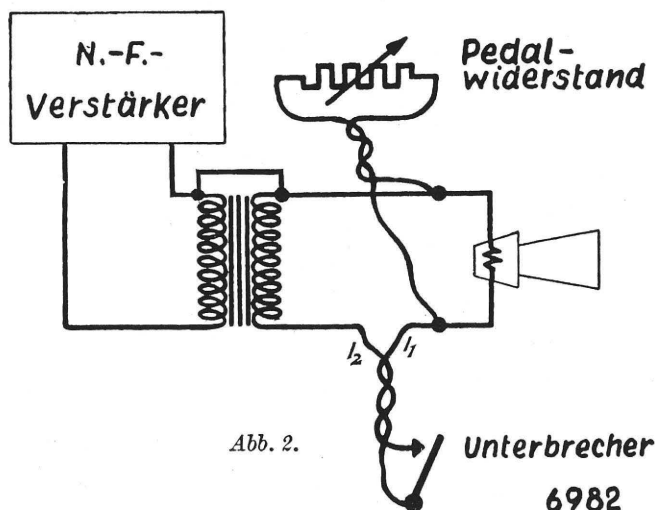
¹⁾ Vgl. „Funktechnische Monatshefte“ 1932, Heft 5, Seite 213 ff.

3 Stufen besitzt oder selbst bauen kann. Es sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, daß fast jeder Industrieempfangsapparat einen Anschluß „Tonabnehmer“ besitzt, also als Niederfrequenzverstärker benutzt werden kann.

Die beiden Generatoren haben im Prinzip dieselbe Schaltung; sie besitzen eine induktive Rückkopplung. Die Rückkopplungsspulen L_1 und L_2 liegen in den Anodenleitungen. Die Schwingungskreise C_1' und L_1' bzw. C_2' und L_2' liegen in den Gitterleitungen. Im Generator I ist zum Kondensator C_1' ein kleiner Kondensator C_1'' parallel geschaltet, der zur Feineinstellung dient. Beim Generator II ist ein Feineinstellungskondensator nicht unbedingt notwendig und daher in der Schaltung nicht angegeben. An den Schwingungskreis des Generators II ist der Sekundärkreis angekopfelt, der aus der Spule L_s und der inneren Spulen-

kapazität C_s besteht. Es ist in dem einleitenden Aufsatz erklärt worden, daß man zur Steigerung der Empfindlichkeit eines Kreises für Änderungen der Handkapazität die Gesamtkapazität möglichst klein machen muß. Man verwendet daher keinen besonderen Kondensator im Sekundärkreis. C_H ist die veränderliche Handkapazität der Antenne A. Der Widerstand W_1 bzw. W_2 und der Kondensator C_1 bzw. C_2 sperren die Hochfrequenz dadurch von der Anodenbatterie ab, daß die Kondensatoren einen kleinen Widerstand, eine große Ableitung zur Kathode bilden, während die hohen Widerstände in den Leitungen zur Batterie liegen. Es ist auf diese Weise möglich, die unerwünschte gegenseitige Beeinflussung der Generatoren, soweit sie auf dem Wege über die Anodenbatterie stattfindet, zu verhindern und dadurch mit einer einzigen Anodenbatterie für die gesamte Apparatur auszukommen²⁾.

Die Spulen L_1'' und L_2'' sind an die beiden Anodenspulen angekoppelt und liegen im Gitterkreis des Überlagerers; sie bringen also die beiden Hochfrequenzen an das Gitter der Röhre. Der Überlagerer ist als Anodengleichrichter geschaltet, d. h. die Gleichrichtung findet an der Krümmung der Anodenstrom-Gitterspannungs-Charakteristik statt. An der Batterie B muß die negative Gittervorspannung so eingestellt werden, daß man tatsächlich auf dem (unteren) Knick arbeitet. Da die Batterie einen Widerstand für die Hochfrequenz darstellt, ist es gut, sie für die Hochfrequenz durch einen Kondensator C_g zu überbrücken. Durch die Gleichrichtung entsteht ein Gemisch verschiedener Hochfrequenzen und Niederfrequenzen. Da wir nur den Niederfrequenzstrom weiter verwenden wollen, um ihn zu verstärken und dann im Lautsprecher zu Gehör zu bringen, ordnen wir durch den Kondensator C_0 gleich hinter der Anode einen Kurzschluß für den Hochfrequenzstrom an. Die Hochfrequenz wird auf diese Weise daran gehindert, in die Anodenleitung zu gelangen, von wo aus sie in unerwünschter Weise auf die Generatoren zurückwirken



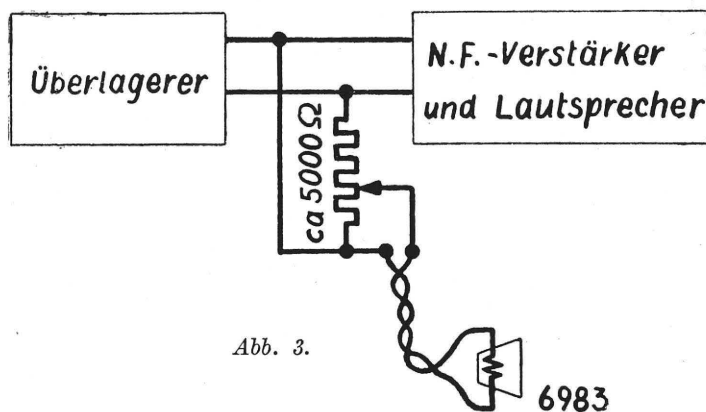
könnte. Der Kondensator C_0 darf aber nicht, wie die entsprechenden Kondensatoren C_1 und C_2 bei den beiden Generatoren beliebig groß sein, da er sonst auch für die Niederfrequenz eine Ableitung darstellt, und zwar eine frequenzabhängige Ableitung, die die hohen Frequenzen in höherem Maße als die tiefen schwächt. Unter Umständen kann man auf diese Weise absichtlich die hohen Frequenzen schwächen,

²⁾ Vgl. demgegenüber die Schaltung in dem Aufsatz von Keßler in „Funk“, 1931, Heft 42, S. 663 ff.

falls diese im Lautsprecher zu laut zu Gehör kommen. Auch die Klangfarbe des Apparates läßt sich auf diese Weise beeinflussen.

2. Der Unterbrecher

Wie bereits früher erwähnt, ist es zur Vermeidung gleitender Übergänge zwischen Tönen verschiedener Höhe sowie zur Ermöglichung von Staccatospiel notwendig, einen leicht bedienbaren Unterbrecher vorzusehen. Diesen Unterbrecher muß der Spieler während des Spielens in der Hand halten. Wir verwenden



einen Druckknopfschalter, so wie man ihn in Wohnungen an Zimmerwänden zur Einschaltung der Hausklingel benutzt. Der Schalter ist mit dem Lautsprecher in Serie geschaltet (vgl. Abb. 2). Ein Ton ist also nur zu hören, wenn man auf den Knopf drückt. Schaltet man den Drücker parallel zum Lautsprecher, so wird umgekehrt der Ton beim Drücken ausgeschaltet. Wie die Erfahrung ergeben hat, ist die Hintereinanderschaltung aus spieltechnischen Gründen wesentlich bequemer. Man beobachtet nun, wenn der Lautsprecher direkt im Anodenkreis der letzten Röhre liegt, daß beim Ein- und Ausschalten ein Knacken im Lautsprecher zu hören ist, das durch die plötzliche Unterbrechung bzw. Einschaltung des Anodengleichstromes hervorgerufen wird. Auch wenn man den Lautsprecher über einen Ausgangstransformator an den NF-Verstärker anschließt, den Unterbrecher aber im Anodenkreis läßt, entsteht durch die Stromänderung im Anodenkreis ein Stromstoß im Ausgangskreis und dadurch ein Knacken im Lautsprecher. Schaltet man aber den Unterbrecher zusammen mit dem Lautsprecher in den Ausgangskreis des Transformators, so wird der Anodengleichstrom durch den Unterbrecher nicht beeinflusst: es ist nur ein ganz leises Knacken zu hören. Die entsprechenden Versuche können übrigens von jedem Bastler leicht gemacht werden. In vielen Niederfrequenzverstärkern ist ein Ausgangstransformator eingebaut, so daß die Anschaffung eines besonderen Transformators nicht notwendig ist.

Manchmal hört man auch bei Unterbrechung des Ausgangskreises durch den Unterbrechungsschalter einen leisen Ton im Lautsprecher. Dieser Effekt kommt durch eine kapazitive Übertragung zustande; er kann dadurch beseitigt werden, daß man die Leitungen l_1 und l_2 nicht miteinander verdreht, sondern getrennt zum Schalter führt. Außerdem muß man eine Sekundärklemme des Ausgangstransformators mit derjenigen Primärklemme verbinden, die an der Anodenbatterie liegt, und den Unterbrecher in diejenige Leitung einschalten, die an der anderen Sekundärklemme liegt.

Beim Üben verzichte man zunächst auf den Gebrauch des Unterbrechers und verbinde seine beiden Klemmen durch einen kurzen Draht. Man kann näm-

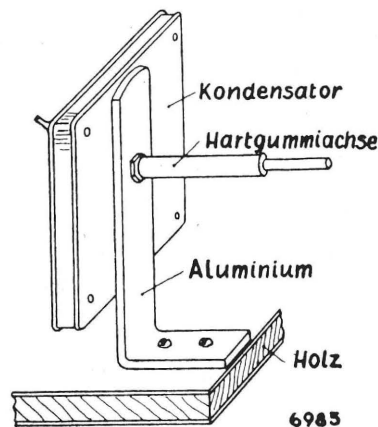
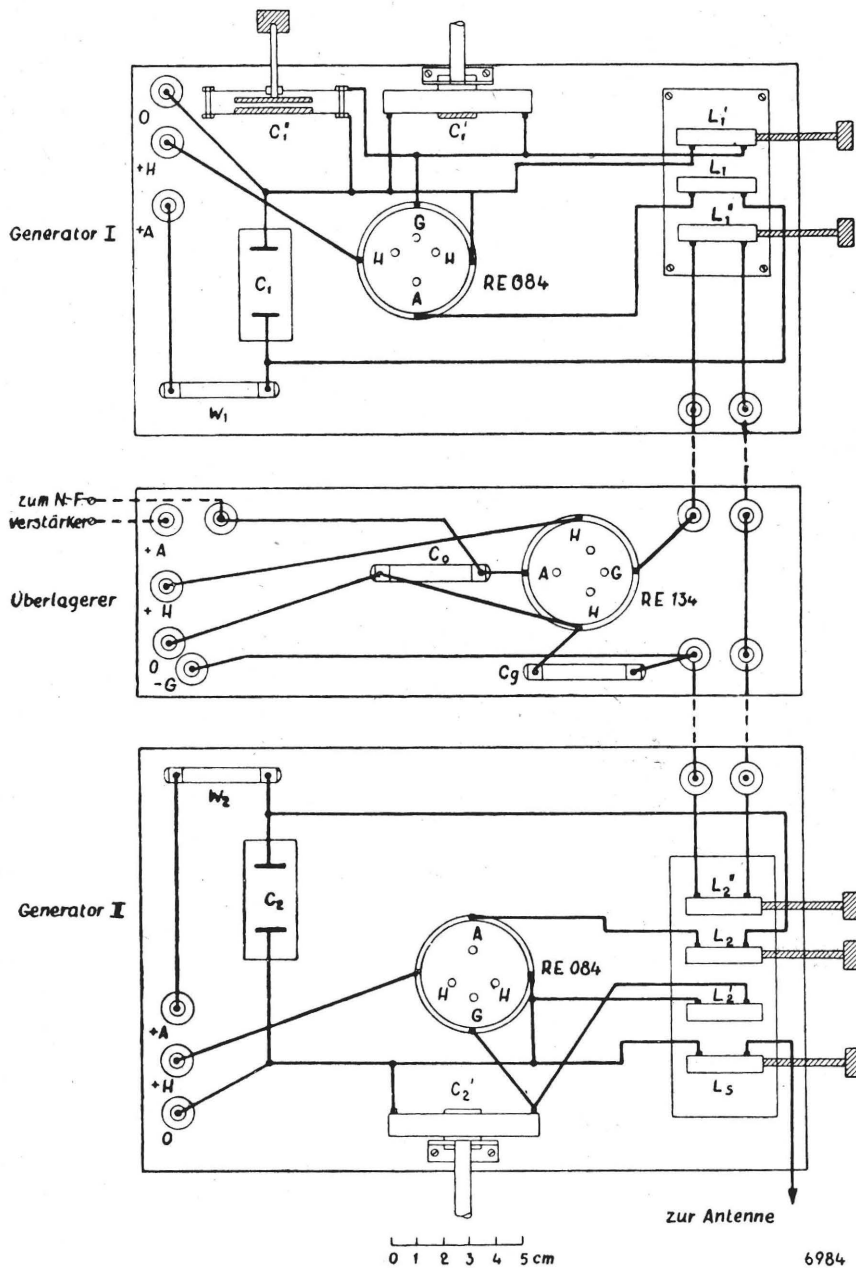
lich bei gleitender Tonhöhenänderung das Treffen der richtigen Tonhöhe viel besser erlernen. Auch beim richtigen Spiel, d. h. bei Bedienung des Unterbrechers, läßt sich das Treffen der richtigen Tonhöhe dadurch erleichtern, daß man an einem Ohr einen Kopfhörer hat, der in einer unteren Verstärkerstufe bzw. vor dem Verstärker eingeschaltet ist, so daß er unabhängig von der Stellung des Unterbrechungsschalters dauernd eingeschaltet ist (vgl. Abb. 3).

zu regeln. In der Schaltung in Abb. 2 ist ein veränderlicher Widerstand zum Lautsprecher parallel geschaltet. Man behält aber bei Verwendung eines Drehwiderstandes keine Hand frei, um den Unterbrecher zu bedienen. Es ist nämlich nicht ratsam, die Hand, mit der man die Tonhöhe durch Bewegung in der Luft regelt, gleichzeitig den Unterbrechungsschalter halten zu lassen. Die Bewegung der Finger beim Niederdrücken des Knopfes ändert in sehr störender Weise die Tonhöhe. Aus diesem Grunde

verwenden wir zur Lautstärkeregelung ein Fußpedal mit einem veränderlichen, druckabhängigen Widerstand. Ein in Graphitpulver getauchtes Wollknäuel dient als Widerstand; die einzelnen Graphitkörnchen bilden den Leiter. Der elektrische Widerstand der Strombahn durch das Knäuel hindurch ist ähnlich wie beim Kohlepulver im Mikrophon vom Druck abhängig. Der Widerstand nimmt bei größerem Druck ab. Das Knäuel befindet sich zwischen der festen und der beweglichen Platte des Pedals. Durch Druck auf das Pedal wird der parallel zum Lautsprecher liegende Widerstand des Knäuels verringert, der Strom im Lautsprecher und damit auch die Lautstärke nehmen ab.

II. Bau- und Verdrahtungsplan

Aus Abb. 4 ist die Anordnung der Einzelteile zu ersehen, außerdem sind die Einzelteile und ihre Größe in der Stückliste angegeben. Die genaue Innehaltung der räumlichen Anordnung ist nicht unbedingt erforderlich; viel wich-



Nebenstehend:
Abb. 4.

Mit Hilfe eines Potentiometers muß man die Lautstärke so einstellen, daß man bequem den Ton vom Lautsprecher, den man mit dem freien Ohr hört, vom Ton im Kopfhörer unterscheidet. Man bewegt dann bei jeder Änderung der Tonhöhe die Hand bei ausgeschaltetem Lautsprecher so weit, bis man im Kopfhörer die richtige Tonhöhe hört, und schaltet dann mit Hilfe des Unterbrechers den Lautsprecher ein.

3. Der Lautstärkereglер

Außer dem Unterbrecher brauchen wir eine Vorrichtung zur stetigen Änderung der Lautstärke. Es ist an sich ohne weiteres möglich, die Lautstärke mit einer Hand durch Drehen an einem Drehwiderstand

tiger ist ein stabiler Aufbau, so daß ein Wackeln der einzelnen Teile vollkommen unmöglich ist, sowie die Verwendung tadelloser Einzelteile. Man erkennt in Abb. 4 wiederum die drei Teile des Apparates: die beiden Generatoren und den Überlagerer. Man baue jeden Teil auf einem besonderen Grundbrett auf und versehe jedes der Grundbretter mit Gummifüßen (kleine Gumminägel genügen nicht), um Erschütterungen zu dämpfen.

Nun noch einige Bemerkungen zur Stückliste: Als Kondensatoren C_0 und C_g sind in Abb. 4 Rollkondensatoren angegeben, die in die für Hochohmwiderstände üblichen Halter hineinpassen. Selbstverständlich können auch gewöhnliche Blockkondensatoren ver-

wendet werden. Der Spulhalter beim Generator I ist ein üblicher Dreifachhalter. Im Generator II muß man neben einem Dreifachhalter noch einen beweglichen Halter anordnen, den man von einem Zweifach- oder Dreifachhalter abmontieren kann. Als Drehkondensatoren C_1' bzw. C_2' sind von den Verfassern Glimmerkondensatoren verwendet worden. Man spart dadurch an Raum. Die Montage der Kondensatoren ist in Abb. 5 dargestellt. Als Feinabstimmungskondensator C_1'' dient ein kleiner Luftkondensator mit

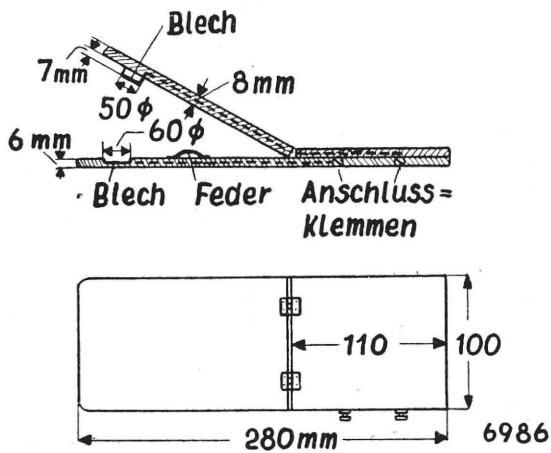


Abb. 6.

einer festen und einer beweglichen Platte. Alle drei Drehkondensatoren muß man so anschließen, daß die Achse mit der Kathode der zugehörigen Röhre verbunden ist. Man halte sich, falls man noch wenig Erfahrung im selbständigen Arbeiten hat, möglichst an die angegebenen Größen der Einzelteile. Unbedingt notwendig ist es, daß die Kondensatoren C_1' und C_2' und die Spulen L_1' , L_2' und L_1 , L_2 einander gleich sind, damit man mit beiden Generatoren im selben Frequenzbereich arbeitet.

Über die „Antenne“, die in Wirklichkeit gar keine ist, sondern eher als „Spielmanual“ bezeichnet werden könnte, ist zu sagen, daß es nicht notwendig ist, sich für diese Versuche eine hervorragend ausgeführte Antenne zu bauen. Man kann einen beliebigen Metallstab von etwa 2 bis 15 mm Dicke und 10 bis 50 cm

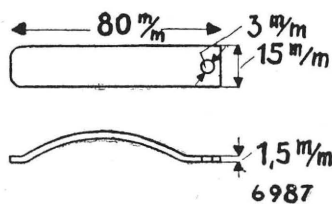


Abb. 7.

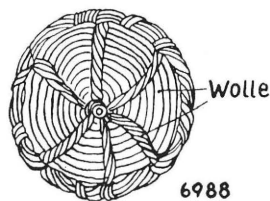


Abb. 8.

Länge provisorisch am Apparat befestigen, ihn z. B. einklemmen und so als Antenne verwenden.

Die Konstruktion des Pedals ist in Abb. 6 gezeigt. Es wird aus Sperrholz hergestellt. Die Feder kann man sich beim Uhrmacher besorgen, ihre Maße sind in Abb. 7 angegeben. An der Stelle, wo das Wollkissen liegt, tragen beide Pedalplatten je ein Blechplättchen als Elektroden. Das Wollkissen zeigt Abb. 8. Man häkelt es (oder läßt es sich häkeln) aus einem dicken Wollfaden ungefähr in der dargestellten Weise in einer Dicke von etwa 2 Fäden. Man wälzt dieses Plättchen dann in feinem Graphitpulver, das man in jeder Drogerie erhält, und legt es in das Pedal ein.

III. Die Inbetriebsetzung des Apparates

1. Prüfung auf Schaltungsfehler

Die beiden Generatoren werden in etwa 1 m Entfernung voneinander aufgestellt, der Überlagerer in ihrer Mitte. Wie setzt man nun den Apparat in Betrieb?

Am besten ist es, sich vorher von dem richtigen Arbeiten der einzelnen Teile zu überzeugen. Man braucht dazu ein Gleichstrominstrument mit einem Meßbereich von etwa 20 mA, um den Anodenstrom der einzelnen Röhren zu messen. Dann kontrolliert man zunächst jeden Generator einzeln auf richtiges Schwingen. Man erkennt bei einem Rückkopplungsgenerator in der gezeichneten Schaltung das Einsetzen der Schwingungen daran, daß der Anodengleichstrom steigt. Man arbeitet nämlich am unteren Knick der Charakteristik, so daß der Generator gleichzeitig als Gleichrichter wirkt. Koppelt man also die Anodenspule L_1 mit der Gitterspule L_1' immer stärker, so muß der Anodenstrom entsprechend der Kopplung zunehmen. Ist das nicht der Fall, so prüfe man, ob die Rückkopplung nicht falsch gepolt ist. Der Anschluß der Anoden- und Gitterspulen muß genau so, wie es im Bauplan dargestellt ist, ausgeführt werden, d. h. die Anode muß an die linke Seite des Anodenspulensockels angeschlossen sein und das Gitter an die rechte Seite des Gitterspulensockels, oder umgekehrt. Hat man falsch gepolt, so genügt keineswegs ein Umstecken der Spule selbst; es ist vielmehr eine Vertauschung der Anschlüsse am Sockel erforderlich.

Wir kommen jetzt zur Prüfung des Überlagerers. Auch hier muß wegen des Gleichrichtereffekts der Anodengleichstrom unter dem Einfluß einer Hochfrequenzspannung am Gitter zunehmen. Man schaltet zunächst einen Generator aus (Ausschaltung der Anoden- oder Heizspannung) und vergrößert die Kopplung zwischen dem Überlagerer und dem anderen Generator durch Annäherung der Spule L_1'' bzw. L_2'' an L_1 bzw. L_2 . Der Anodenstrom muß entsprechend der Kopplung steigen. Dann macht man denselben Versuch mit dem anderen Generator.

2. Spielfertige Einstellung

Hat man festgestellt, daß keine groben Fehler in der Schaltung vorhanden sind, so kann man an die Einstellung des Apparates gehen. Man schließt die Niederfrequenzverstärker und den Lautsprecher an, läßt aber zunächst die Spule L_3 beim Generator II und die Antenne weg. Dann stellt man die Kondensatoren C_1' und C_2' und die Spulenkopplungen bei beiden Generatoren ungefähr gleich ein. Man muß dann beim langsamen Durchdrehen des Kondensators C_1' das jedem Rundfunkhörer bekannte Pfeifen bzw. Heulen hören. Nötigenfalls muß man noch die Gitterspannung des Überlagerers ändern. Nach ungefähre Einstellung auf einen Pfeifbereich kann man mit dem Feinabstimmungskondensator C_1'' den Bereich der hörbaren Töne bequem durchlaufen und jeden gewünschten Ton einstellen. Meistens wird man bemerken, daß die Tonhöhe sich von selbst langsam ändert. Das liegt an der Empfindlichkeit eines Überlagerungsgenerators gegen kleine Änderungen der Betriebsspannungen. Meistens läuft sich der Apparat nach einiger Zeit ein, d. h. es entsteht ein stationärer Zustand, indem die Spannungen der einzelnen Spannungsquellen und die Temperatur der verschiedenen Schaltelemente sich nicht mehr ändern. Eine ganz langsame Änderung der Tonhöhe schadet nicht. Benutzt man aber alte Anodenbatterien oder Akkumulatoren, so ändert sich der Ton so schnell, daß eine

Einstellung überhaupt unmöglich wird. Es empfiehlt sich daher, möglichst frische Anodenbatterien zu verwenden sowie möglichst große Akkumulatoren, die sich nicht so schnell entladen.

Eine andere Störung, die oft auftritt, besteht darin, daß die Tonhöhe zwar im Mittel unverändert bleibt, um diesen Mittelwert aber dauernd schwankt, so daß man einen „gurgelnden“ Ton hört. Diese Störung entsteht dadurch, daß durch kleine, unmerkliche Erschütterungen, die in jedem Wohnhaus immer vorhanden sind, die Entfernung zwischen den Kondensatorplatten, zwischen verschiedenen Spulen und zwischen verschiedenen Teilen ein und derselben Spule dauernd schwankt. Dadurch ändert sich die Hochfrequenz in entsprechender Weise und infolgedessen auch die Höhe des hörbaren Tones. Daß wirklich mechanische Bewegungen die Ursache des Gurgelns sind, erkennt man am besten daran, daß das Gurgeln sehr stark zunimmt, wenn man mit der Hand auf den Tisch schlägt, auf dem der Apparat steht. Man kann das Gurgeln weitgehend beseitigen, wenn man als Unterlage für die Grundbretter Filzkissen oder Gummikissen verwendet, wie man sie bei Schreibmaschinen gebraucht.

Beim Durchdrehen des Kondensators C_1' wird man meistens mehrere Pfeifbereiche finden, die durch Überlagerung der Grundwelle des einen Generators mit einer Oberwelle des anderen bzw. durch Überlagerung zweier Oberwellen entstehen. Die Überlagerung der beiden Grundwellen erkennt man daran, daß der Grundwellenbereich am lautesten ist. Manchmal hört man auch gleichzeitig zwei Töne verschiedener Höhe, die bei Änderung der Kondensatorstellung unabhängig voneinander in verschiedenem Maße ihre Höhe ändern. Dieser Effekt entsteht dadurch, daß zwei der oben erwähnten Oberwellenpfeifbereiche sich überlappen. Um das zu verhindern, ist es am besten, die Rückkopplung bei beiden Generatoren so schwach zu machen, daß keine Oberwellen entstehen.

Bei den Versuchen der Verfasser genügte die Sperrung der Anodenleitungen der beiden Generatoren durch C_1 bzw. C_2 und W_1 bzw. W_2 , um auch im Grundwellenbereich beliebig tiefe Töne zu erzeugen. Gelingt das zunächst nicht, so kann man sich dadurch helfen, daß man sich auf einen Oberwellenbereich beschränkt, in dem man ganz sicher auch die tiefsten hörbaren Töne erhält. Es läßt sich aber immer erreichen, daß eine gegenseitige Beeinflussung der Generatoren nicht stattfindet, so daß auch im Grundwellenbereich gearbeitet werden kann. Man muß dazu nur die Kopplung zwischen den Spulen L_1'' bzw. L_2'' und L_1 bzw. L_2 genügend schwach machen (u. U. muß man kleinere Spulen verwenden) und die beiden Generatoren genügend weit voneinander entfernen.

Hat man die richtige Aufstellung und die richtige Kopplung gefunden, so kann man die Spule L_3 in den Generator II einstecken und mit der Antenne verbinden. In dem mehrfach erwähnten Einleitungsaufsatz ist besprochen worden, in welcher Weise die Frequenz eines Generators von der Kopplung und Abstimmung eines angekoppelten Sekundärkreises abhängt³⁾. Die Ziehkurven zeigen, daß der Sekundärkreis die Kurve der Handabstimmung nur dann in der erwünschten Weise ausgleicht, wenn Generator und Sekundärkreis aufeinander abgestimmt sind. Da wir nun einen Sekundärkreis ohne besondere Kapazität verwenden, können wir ihn nur durch Änderung der Induktivität abstimmen. Tatsächlich nehmen wir die Grobabstimmung mit Hilfe der Spule vor, d. h. wir wählen eine Spule von passender Windungszahl. In der Stückliste ist eine Spule von 200 Windungen an-

gegeben. Sie muß viel größer als die Spule des Schwingungskreises sein, weil sie mit einer viel kleineren Kapazität, der Spulenkapazität, dieselbe Frequenz ergeben soll. Die Feinabstimmung nehmen wir mit Hilfe des Generators selbst vor, den wir auf die Spule L_3 abstimmen. Es ist nun nicht notwendig, den Generator durch eine Wellenlängenmessung so genau abzustimmen, wie es der theoretischen Überlegung entspricht, d. h. auf eine Stelle dicht neben der Resonanz, wo die Ziehkurve gerade denjenigen Verlauf hat, der zum Ausgleich notwendig ist. Eine so genaue Messung der Wellenlänge ist zwar möglich, aber verhältnismäßig schwierig. Für unseren Zweck genügt es vollkommen, zu erkennen, bei welcher Abstimmung des Generators man sich ungefähr im Resonanzbereich befindet. Die genaue Einstellung wird durch Probieren gefunden. Man erkennt die ungefähre Resonanzeinstellung durch Beobachtung des Anodenstroms des Generators. Dieser ändert sich gewöhnlich mit der Frequenz, d. h. mit der Kondensatorstellung des Generators. In der Nähe des Resonanzpunktes findet man nun die in der Kurve in Abb. 9 dargestellte Einsattelung. Dreht man also den Kondensator C_2' dauernd in einer Richtung, so bewegt sich der Zeiger des Anodenstrominstrumentes zunächst auch dauernd in ein und derselben Richtung. In der Nähe des Resonanzpunktes ändert er beinahe ruckartig seinen Ausschlag und kehrt in derselben Weise in die vorhergehende Stellung zurück. Nachher bewegt er sich in der ursprünglichen Richtung weiter. Beim Aufsuchen der richtigen Abstimmung des Generators schaltet man am besten zunächst den anderen Generator ab, um jede zufällige Störung zu verhindern.

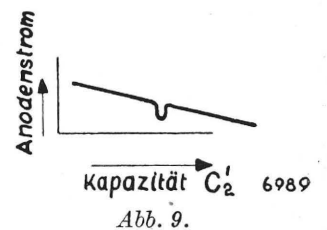


Abb. 9.

Nachdem man den Kondensator C_2' auf diese Weise eingestellt hat, merkt man sich seine ungefähre Stellung, schaltet den ganzen Apparat ein und dreht den Kondensator C_1' so weit, bis man ein Pfeifen hört. Darauf stellt man mit dem Feinabstimmungskondensator C_1'' den Tonbereich so ein, daß der höchste hörbare Ton dann zu hören ist, wenn sich die Hand in unmittelbarer Nähe der Antenne befindet, der tiefste Ton dann, wenn man die Hand aus der Nähe der Antenne entfernt. Meistens hört man, wenn man die Hand noch weiter entfernt, wieder einen Ton aufsteigender Höhe. Diese beiden Tonbereiche entstehen, wie in Heft 5 erklärt worden ist, dadurch, daß die veränderliche Frequenz des Generators II sich einmal oberhalb, das andere Mal unterhalb der festen Frequenz des Generators I befindet. Man muß nun den Kondensator C_1'' so einstellen, daß der zweite aufsteigende Tonbereich nicht zu hören ist, d. h. so, daß im ganzen Spielbereich nur ein einziger Tonbereich mit von der Antenne aus abnehmender Höhe zu hören ist. Warum wir nicht umgekehrt auch den anderen Tonbereich benutzen können, warum dann die räumliche Tonhöhenverteilung grundsätzlich schlechter sein muß, ist ausführlich besprochen⁴⁾ worden.

Nachdem man nun den Kondensator C_1'' so eingestellt hat, daß man den richtigen und ungeteilten Tonbereich hört, kann die räumliche Verteilung der Tonhöhen zunächst noch schlecht sein. Man erkennt die Verteilung am besten, wenn man die Hand ruckweise von Oktave zu Oktave bewegt und sich die Entfernung der einzelnen Oktavenpunkte im Raum ungefähr merkt. Die ideale Verteilung haben wir dann,

³⁾ Vgl. die Ziehkurven, „Funktechnische Monatshefte“ 1932, Heft 5, Seite 219, Abb. 18.

⁴⁾ Vgl. „Funktechnische Monatshefte“ 1932, Heft 5, Seite 216 ff.

wenn die Entfernung zweier Oktavenpunkte in großer Entfernung von der Antenne dieselbe ist wie in ihrer unmittelbaren Nähe. Eine so gute Verteilung läßt sich aber schwer erreichen. Es genügt vom spieltechnischen Standpunkt aus vollkommen, wenn die Verteilung so ist, daß die tiefste Oktave, d. h. die Entfernung zwischen den sie begrenzenden Oktavenpunkten, zwei, höchstens dreimal so lang ist wie die höchste Oktave. Im ganzen kann man im Bereich von 1 m ungefähr 3 bis 4, bestenfalls 5 Oktaven erhalten.

Wie bereits gesagt, braucht nach Einstellung des Feinkondensators C_1'' die richtige Verteilung noch nicht vorhanden zu sein. Man muß dann den Kondensator C_2' ein wenig verstimmen, so wenig, wie es ohne Feineinstellung möglich ist, und dann mit dem Feinkondensator wieder einen ungeteilten Bereich einstellen. Man findet dann, daß die Verteilung sich geändert hat. Ebenso muß man verschiedene Kopplungen zwischen L_2' und L_3 ausprobieren. Auf jeden Fall muß die Kopplung ziemlich fest sein.

Auch die Empfindlichkeit, d. h. die Zahl der Oktaven, die man durch Bewegung der Hand überhaupt durchlaufen kann, sowie die Länge des Spielbereiches, in dem die Bewegung der Hand eine merkbare Änderung der Tonhöhe hervorruft, ändern sich, wenn man die Kopplung und die Abstimmung des Generators II ändert. Man muß nun nacheinander verschiedene Kopplungen und verschiedene Stellungen des Kondensators C_2' (immer in der Nähe des Resonanzpunktes) ausprobieren und findet dann bei einiger Geduld und Geschicklichkeit diejenige Einstellung, bei der die Tonhöhenverteilung annehmbar ist.

Bei der Einstellung des Kondensators C_1'' wird man bemerken, daß die Stellung des Tonbereiches im Raum sich ändert, d. h. daß die Höhe des gerade hörbaren Tones sich ändert, sobald man sich mit der Hand von dem Kondensator entfernt. Das ist auch gar nicht verwunderlich. Während wir aber die Handempfindlichkeit beim Generator II gerade zum Spielen benutzen, stört die Handempfindlichkeit beim Generator I. Trotzdem kann man bei einiger Übung die nachträgliche Tonhöhenänderung durch Entfernen der Hand bei der Einstellung berücksichtigen. Besser ist es natürlich, wenn man die Handempfindlichkeit dadurch beseitigt, daß man auf die Achse des Kondensators eine Hartgummiachse als Verlängerung setzt und den Drehknopf auf die Hartgummiachse. Genügt das nicht, so muß man den Kondensator abschirmen, indem man ein Stück Aluminiumblech vor den Kondensator setzt und nur die Hartgummiachse hindurchführt. Das Abschirmblech muß man mit der Kathode der Röhre, d. h. bei der angegebenen Schaltung mit der Kondensatorachse, verbinden.

Damit kommen wir zur Frage der Abschirmung überhaupt. Selbstverständlich ist ein abgeschirmter Apparat im Betrieb bequemer als ein nicht-abgeschirmter, weil seine Empfindlichkeit gegen Änderungen in seiner Umgebung viel geringer ist. Trotzdem haben die Verfasser absichtlich in dieser Bauanweisung einen nichtabgeschirmten Apparat beschrieben, weil sich bei ihren Versuchen zeigte, daß man die Ausgaben für das Aluminiumblech und die Arbeit sparen kann, wenn man in der angegebenen Weise die Anodenleitungen sperrt und die beiden Generatoren in genügender Entfernung voneinander aufstellt. Will man aber einen transportablen Apparat haben, so ist dieser weitläufige Aufbau natürlich nicht möglich, und dann ist eine Abschirmung unbedingt notwendig, und zwar vor allem eine Abschirmung der einzelnen Teile gegeneinander. Auf diese Weise muß verhindert werden, daß außer über die Spulen L_1'' bzw. L_2'' irgendwelche Hochfrequenzübertragungen

zwischen den beiden Generatoren und zwischen den Generatoren und dem Überlagerer stattfinden.

Bei der Abschirmung ist zunächst konstruktiv zu beachten, daß man zu den einzelnen Teilen des Apparates größere Grundbretter braucht, da z. B. die Hebel oder Achsen der Spulenkoppler über die Grundbretter hinausragen. Weiter ist zu beachten, daß die Abschirmung des Generators II nicht ganz einfach ist. Wir haben, um die gewünschte Empfindlichkeit und Verteilung zu erreichen, den Sekundärkreis absichtlich nur aus einer Spule mit ihrer Spulenkapazität gebildet. Baut man nun um den Generator II einen Abschirmkasten, so wird meistens die Kapazität zwischen den Abschirmplatten und der Spule L_3 sowie zwischen den Abschirmplatten und der Antenne so groß sein, daß eine Bewegung der Hand in der Umgebung der Antenne eine zu kleine relative Kapazitätsänderung hervorruft⁵⁾. Es ist aus diesem Grunde notwendig, zunächst nur den Generator I und den Überlagerer abzuschirmen und den Generator II zwar auf dem gemeinsamen Grundbrett, aber in einiger Entfernung von der Abschirmplatte, die zwischen ihm und dem Überlagerer verläuft, aufzubauen. Dann kann man nacheinander die anderen Abschirmplatten am Grundbrett anbringen, indem man jedesmal vorher prüft, ob bei der gewählten Entfernung der Platte von der Spule L_3 eine ausreichende Empfindlichkeit und eine gute Verteilung noch erzielbar ist. Auf jeden Fall muß man im Abschirmkasten des Generators II eine größere Aussparung für die Durchführung der Antennenleitung freilassen, die auf keinen Fall in unmittelbarer Nähe der Abschirmplatte geführt werden darf.

Stückliste zu Abb. 4

- 1 Niederfrequenzverstärker.
 - 1 Lautsprecher.
 - 1 Anodenbatterie, 100 bis 150 Volt.
 - 1 Akkumulator, 4 Volt, mit möglichst großer Kapazität.
 - 1 Gitterbatterie.
 - 1 Pedal aus Sperrholz (vgl. Abb. 6) mit veränderlichem Wolle-Graphit-Widerstand (vgl. Abb. 8).
 - 1 Unterbrecher (Klingelknopf) (vgl. Abb. 2).
 - 1 Ledionspule, 200 Wdg.: L_3 .
 - 2 Ledionspulen, 75 Wdg.: L_1 und L_2 .
 - 2 Ledionspulen, 50 Wdg.: L_1' und L_2' .
 - 2 Ledionspulen, 25 Wdg.: L_1'' und L_2'' .
 - 2 Blockkondensatoren, 0,1 μ F: C_1 und C_2 .
 - 2 Blockkondensatoren, 1000 bis 5000 cm: C_g u. C_0 .
 - 2 Glimmerdrehkondensatoren, 500 cm: C_1' und C_2' .
 - 1 Zweiplattenluftdrehkondensator, etwa 10 cm: C_1'' .
 - 2 Hochohmwiderstände, 5000 Ω : W_1 und W_2 .
 - 1 Spulenkoppler, dreifach.
 - 1 Spulenkoppler, vierfach.
 - 3 Röhrensockel.
 - 2 Röhren RE 084.
 - 1 Röhre RE 134.
- Außerdem zum bequemeren Spielen (vgl. Abb. 3):
- 1 Kopfhörer.
 - 1 Potentiometer.

Zum Schluß noch einige Bemerkungen zu der Frage, ob und wie der beschriebene Apparat noch verbessert werden könnte. Alle im Einleitungsaufsatz angeordneten grundsätzlichen Überlegungen sind beim Bau des vorliegenden Apparates berücksichtigt worden. Schaltungsmäßig ist also der Apparat wohl zufriedenstellend. Konstruktiv dagegen sind noch verschiedene Verbesserungen möglich. Die Aufgaben, die beim Zu-

⁵⁾ Vgl. „Funktechnische Monatshefte“ 1932, Heft 5, S. 217

sammenbau und bei der Abschirmung entstehen, sind bereits besprochen worden. Man könnte außerdem die mechanische Stabilität des Apparates dadurch erhöhen, daß man an Stelle der erschütterungsempfindlichen, körperlosen Ledionspulen selbstgewickelte Zy-

linderkörperspulen verwendet. Auch das Pedal hat noch nicht seine endgültige Form gefunden. Man sieht also, daß es für den selbständigen Bästler noch viele Möglichkeiten gibt, den Ätherwellenapparat zu verbessern und weiterzuentwickeln.