HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG
BERLIN-CHARLOTTENBURG

Technischer Bericht Nr. 59

Eine neue elektroakustische Rufeinrichtung für Fernsprech-Teilnehmerapparate

von

cand. ing. J. SOTSCHECK
Dipl.-Ing. R. WEHRMANN

Berlin
1962

Technischer Bericht Nr. 59

Eine neue elektroakustische Rufeinrichtung für Fernsprech-Teilnehmerapparate

Zusammenfassung

Es wird eine elektroakustische Rufeinrichtung zur Erzeugung des akustischen Rufsignals in einem für elektronische Vermittlungssysteme geeigneten Teilnehmerapparat beschrieben. Die Verwendungsmöglichkeit verschiedener Tonfrequenz-Rufsignale für die Rufeinrichtung wird diskutiert und ein geeignetes Signal ausgewählt.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Die Bearbeiter

gez. J. Sotscheck
(cand.ing. J. Sotscheck)

gez. R. Wehrmann
(Dipl.-Ing. R. Wehrmann)

Der Abteilungsleiter

gez. Rothert
(Prof.Dr.-Ing. G. Rothert)

Der Institutsdirektor

gez. Gundlach
(Prof.Dr.-Ing. F.W. Gundlach)

Berlin-Charlottenburg, den 23.Februar 1962

1. Einführung und Aufgabenstellung

Der Wecker eines üblichen Teilnehmerapparates benötigt zu seiner Erregung eine Leistung von etwa 1 W. Da aber über die Koppelpunkte elektronischer Vermittlungssysteme nur relativ kleine Leistungen gesendet werden können, ist dieser Wecker für elektronische Systeme ungeeignet. An seine Stelle muss ein elektroakustischer Wandler treten, der mit möglichst geringer Leistung und einer Frequenz innerhalb des Sprachfrequenzbereiches ein Signal erzeugt, das geeignet ist, den Teilnehmer zu rufen.

Es ist daher zunächst zu untersuchen, welches Signal am geeignetsten erscheint, den Teilnehmer zu rufen. Zum Aufbau eines Versuchsmodells der neuen Rufeinrichtung musste ein leistungsmässig günstigster Wandlertyp gefunden werden, der die bisher von der Bundespost gestellten Forderungen bezüglich der Lautstärke des Rufsignals (75 phon in einem Meter Abstand von der Schallquelle) erfüllt. Beim Aufbau des im Institut entwickelten Modells wird davon ausgegangen, dass am Amtsausgang eine Ruf-Wechselspannung von 0,5 V zur Verfügung steht. Ein Rufverstärker im Teilnehmerapparat, der durch das ankommende Rufsignal selbst ein- und ausgeschaltet werden soll, muss die unter Berücksichtigung der Dämpfung der Anschlussleitung an der Sprechstelle stehende Spannung so weit verstärken, dass das Rufsignal mit der geforderten Lautstärke abgestrahlt wird. Der Verstärker darf auf Nebensprechspannungen nicht ansprechen und im ausgeschalteten Zustand nur einen möglichst kleinen Ruhestrom aufnehmen. Als Versorgungsspannung steht die übliche Speisespannung von 60 $V_{=}$ zur Verfügung.

2. Zum Problem des Rufsignals.

Unabhängig von später erst zu treffenden Entscheidungen über die Art der Ausführung des Schallgebers, der schaltungstechnischen Gestaltung der zugehörigen Verstärkungselemente im Teilnehmerapparat und der zentralen Amtseinrichtung zur Erzeugung der Rufsignalspannung muss zunächst einmal über das Rufsignal selbst entschieden werden.

Beim Ersetzen des bisher üblichen Weckersignals durch ein neues Signal, das über einen elektroakustischen Wandler abgestrahlt werden soll, ist man zunächst in der Auswahl der sich anbietenden Möglichkeiten frei, so dass man sich aus den vielen Möglichkeiten zur Lösung der Aufgabe eine geeignete aussuchen kann. Die Auswahl ist dabei rein subjektiv. Daher ist das im Rahmen dieser Arbeit gefundene Signal als ein möglicher Vorschlag zur Lösung des Problems aufzufassen. Die daneben entwickelten Hilfseinrichtungen zur Leistungsverstärkung in dem Teilnehmerapparat werden auch bei anderen Rufsignalen benötigt und in entsprechend abgewandelter Form verwendet werden können.

Um aus den vielen Rufsignal-Möglichkeiten der Geräusche, Töne, Klänge, Tongemische usw. und deren Kombinationen von vornherein möglichst viele ausscheiden zu können, muss folgende Alternativfrage beantwortet werden: Soll der zukünftige "elektronische Wecker" den angerufenen Teilnehmer durch ein möglichst unangenehmes oder durch ein möglichst angenehmes Signal aufmerksam machen? Beide Möglichkeiten haben ihre Berechtigung. Ein unangenehmes Signal vermag den gerufenen Teilnehmer evtl. zum raschen Abheben des Telefonhörers veranlassen, andererseits ist zu bedenken, dass der Ruf keinen Schreck auslösen soll. Da das Telefon aber zu einer alltäglich und in allen Lebensbereichen eingesetzten Einrichtung geworden ist, muss man darauf achten, dass die Belästigung, die durch diese Einrichtung erfolgt - in diesem Falle die Geräuschbelästigung - , möglichst klein gehalten wird. Dazu gehört selbstverständlich ein möglichst angenehmes Signal. Ausserdem ist zu klären, welche Anforderungen allgemeiner Art an ein Rufsignal zu stellen sind. In erster Linie muss es sich von anderen Tönen und Geräuschen der Umgebung, wie Strassenlärm, Maschinengeräusche usw. unterscheiden; das Rufsignal muss einen bestimmten Klangcharakter erhalten. Es muss die Aufmerksamkeit des gerufenen Teilnehmers erregen, auch wenn dieser, z.B. in einer Wohnung, sich in einem anderen Raum aufhält. Das Rufsignal muss also eine gewisse Lautstärke besitzen, ohne dass man dadurch erschreckt wird, wenn man sich in der Nähe aufhält. Tiefe Signale können, obwohl sie angenehm klingen, leicht durch Umgebungsgeräusche verdeckt werden, hohe Töne werden als zu schrill empfunden.

3. Ermittlung eines geeigneten Rufsignals

Bei der Untersuchung, welches Rufsignal am geeignetsten erscheint, wurde zunächst keine Rücksicht auf den technischen Aufwand genommen, mit dem das Rufsignal erzeugt wird. Da der Rufsignalgenerator zu den zentralen Einrichtungen der Vermittlungsanlage gehört, ist hier ein Aufwand in gewissen Grenzen vertretbar.

Es wurden zunächst eine Reihe von Vorversuchen durchgeführt, indem die Verwendbarkeit von getasteten bzw. modulierten Sinustönen untersucht wurde. Dazu wurden innerhalb des Übertragungsbereiches drei Grundfrequenzen f_o von entweder 1000 Hz, 2200 Hz oder 3000 Hz ausgewählt (noch niedrigere Frequenzen, etwa 500 Hz, wurden nicht untersucht, weil bei ihnen die Gefahr der Verdeckung durch Umgebungsgeräusche zu groß wird), die impulsmässig durch eine Reihe von Tastfrequenzen f_T (entweder 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 50 Hz oder 100 Hz) im Verhältnis 1:1 ausgetastet wurden.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde eine sinusförmige Grundfrequenz von f_o = 2200 Hz mit 4 bzw. 16 Hz moduliert, wobei verschiedene Modulationsarten miteinander verglichen werden konnten: Zunächst wurde wieder die Grundfrequenz rechteckförmig ausgetastet (man kann diese Art der Tastung als eine rechteckförmige Amplitudenmodulation mit dem Modulationsgrad m = 100% ansehen), dann wurde sie sinusförmig und schliesslich rechteckförmig frequenzmoduliert, beide Male mit einem Hub von 200 Hz. Es wurden bei dieser Versuchsreihe keine höheren Modulationsfrequenzen als 16 Hz untersucht, weil das Ohr bei höheren Modulationsfrequenzen nicht mehr zwischen AM und FM unterscheiden kann.

Die so erhaltenen Tonfrequenzsignale wurden im 5 sec-Rhythmus (1,5 sec Signal, 3,5 sec Pause) auf Magnetband aufgenommen und mehreren Versuchspersonen vorgeführt. Bei der Befragung der Versuchspersonen nach dem geeignetsten Rufsignal ist interessant, dass von der Mehrzahl der Befragten die Rufsignale als am günstigsten bezeichnet wurden, die möglichst getreu das Geräusch des alten, mit 25 Hz erregten Wechselstromweckers nachbilden, das sind die Rufsignale aus

f_o = 2200 Hz mit f_T = 20 Hz und f_o = 2200 Hz mit f_T = 16 Hz. Das ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Versuchsperson mehr oder weniger unbewusst das bekannte Weckergeräusch als Norm für ihre Auswahl benutzt haben. Es wäre aber unzweckmässig, wenn man bei der Schaffung eines neuen Signals Analogien zum alten übernehmen würde, die durch den Wecker bedingt sind (der von den Weckerschalen erzeugte Klang ist abhängig von den geometrischen Abmessungen der Schalen, der eigentliche Rufton wird im wesentlichen durch die Umschlagfrequenz des Klöppels des Wechselstromweckers, also 25 Hz, bestimmt). Andererseits wurde allgemein erklärt, dass diese ausgewählten Rufsignale zwar das Optimum der in der Versuchsreihe angebotenen Signale darstellten, aber keinesfalls so angenehm seien, dass sie angewendet werden sollten.

Günstig beurteilt wurden ausserdem noch Rufsignale mit ausserordentlich niedriger Tastfrequenz (f_T = 4...5 Hz), solange die Grundfrequenz des Signals nicht zu hoch lag (f_o = 1000 Hz und f_o = 2200 Hz). Diese Zeichen haben etwa Morsezeichencharakter, und ihre positive Beurteilung liegt vielleicht an dem unkomplizierten akustischen Aufbau der Signale, bei dem das Ohr die einzelnen Impulse und ihre Pausen deutlich wahrnimmt. Eine Verwendung als neues Rufsignal wurde aber auch abgelehnt, weil das Signal durch seinen eintönigen Charakter zu wenig ansprechend erscheint.

Völlig abgelehnt wurden Rufsignale mit der hohen Grundfrequenz von f_o = 3000 Hz und - das gilt für alle untersuchten Grundfrequenzen - Modulationen mit Tastfrequenzen oberhalb 50 Hz, die einen unruhigen, schwirrenden Ton ergaben. Auch die frequenzmodulierten Signale fanden wenig Anklang.

Ein in der Literatur beschriebenes Rufsignal für ein vollelektronisches Vermittlungssystem (1), (2), (3) wurde ebenfalls wegen seines nicht angenehmen Klanges verworfen. Es handelt sich dabei um ein von der Firma LCT (Laboratoire Central de Télécommunications), Paris, für die französische Marine entwickeltes Vermittlungssystem, für dessen Rufsignal eine Grundfrequenz um 1000 Hz verwendet wird, die sägezahnförmig mit einem Frequenzhub von etwa 100 Hz gewobbelt wird.

Anzustreben ist ein Signal, das aus einem Tongemisch aus mehreren Einzeltönen besteht. Durch die Kombination dieser Einzeltöne sollte man dabei einen angenehm erscheinenden Klang bzw. einen harmonisch klingenden Akkord zu erreichen suchen. Gleichzeitig erreicht man damit, daß die Wahl einer bestimmten Tonkombination eine Verwechselung des Ruftons mit anderen Geräuschen verhindern hilft.

Versuche dieser Art werden seit einiger Zeit an mehreren Stellen unternommen. Eine Weiterentwicklung der genannten Marineanlage der LCT durch die International Telephone and Telegraph Corp., USA, benutzt für ihren Tonruf die Frequenzen 1000 Hz und 1600 Hz, die mit 20 Hz umgetastet und in einem Rufrhythmus von 0,5 sec Signal/ 0,5 sec Pause übertragen werden (4), (5). Aber auch dieses Rufsignal wird als noch nicht angenehm genug empfunden, obwohl durch das schnelle Umtasten der beiden Frequenzen ein charakteristischer und gegen andere Geräusche leicht zu unterscheidender Klang entsteht.

Ein anderer Weg ist von den Bell Telephone Laboratories eingeschlagen worden (6), (7), (8). Hier wird als Rufsignal eine Kombination aus mehreren Tönen benutzt, die harmonisch zueinander liegen. Dieses Tongemisch wird mit 12 Hz getastet, um dem Signal eine besondere Charakteristik zu geben und im 6 sec - Rhythmus (2 sec Signal, 4 sec Pause) ausgesendet. Die Besonderheit dieses Signals ist, dass zentral nur die mit 12 Hz getastete Grundfrequenz erzeugt wird (478 Hz), die noch unterhalb der unteren Grenzfrequenz des im Teilnehmerapparat zur Rufabstrahlung benutzten kleinen Schallgebers liegt (etwa 800 Hz). In der Eingangsschaltung des Teilnehmerapparates liegt eine Transistor-Begrenzerstufe, die das Eingangssignal auf einen festen Pegel verkleinert. Durch diese Beschneidung wird ein reicher Harmonischen-Anteil des Eingangssignals erzeugt, der noch durch die Transistor-Endstufe, die im C - Betrieb arbeitet, vergrößert wird. Der Schallgeber im Teilnehmerapparat strahlt nur die Oberwellen des zentral erzeugten Steuersignals ab. Durch geeignete Ausbildung des Schallgebers (Eigenfrequenz) in Verbindung mit einem vorgesetzten Doppelrohr-Resonator (dadurch ergeben sich zwei weitere Resonanzfrequenzen) (9) werden diese Harmonischen besonders kräftig abgestrahlt. Aufgrund eines ohrphysiologischen Effekts (Residuum) wird der Grundton, der vom Schall-

geber wegen seiner verhältnismäßig hoch liegenden unteren Grenzfrequenz nicht mit abgestrahlt wird, vom menschlichen Ohr bei Vorhandensein von Oberschwingungen des Grundtones nachgebildet. Nach Berichten über die in den Bell Laboratories durchgeführten Untersuchungen mit dem neuen Rufsignal in Verbindung mit dem beschriebenen neuartigen Schallgeber besitzt das neue Signal bessere Eigenschaften hinsichtlich des eigentlichen Aufmerksammachens des Angerufenen als das konventionelle System mit Weckerruf, und die Tonqualität wurde von den meisten Beobachtern als angenehm bezeichnet, von fast allen übrigen als annehmbar (6). Der Verdeckungseffekt des Rufsignals durch Hintergrundgeräusche wurde sowohl für den herkömmlichen Weckerruf wie auch für den neuen Tonruf als etwa gleichartig empfunden. Die Erkennbarkeit des neuen Rufsignals auf weite Entfernungen war besser als die des Weckerrufs (9).

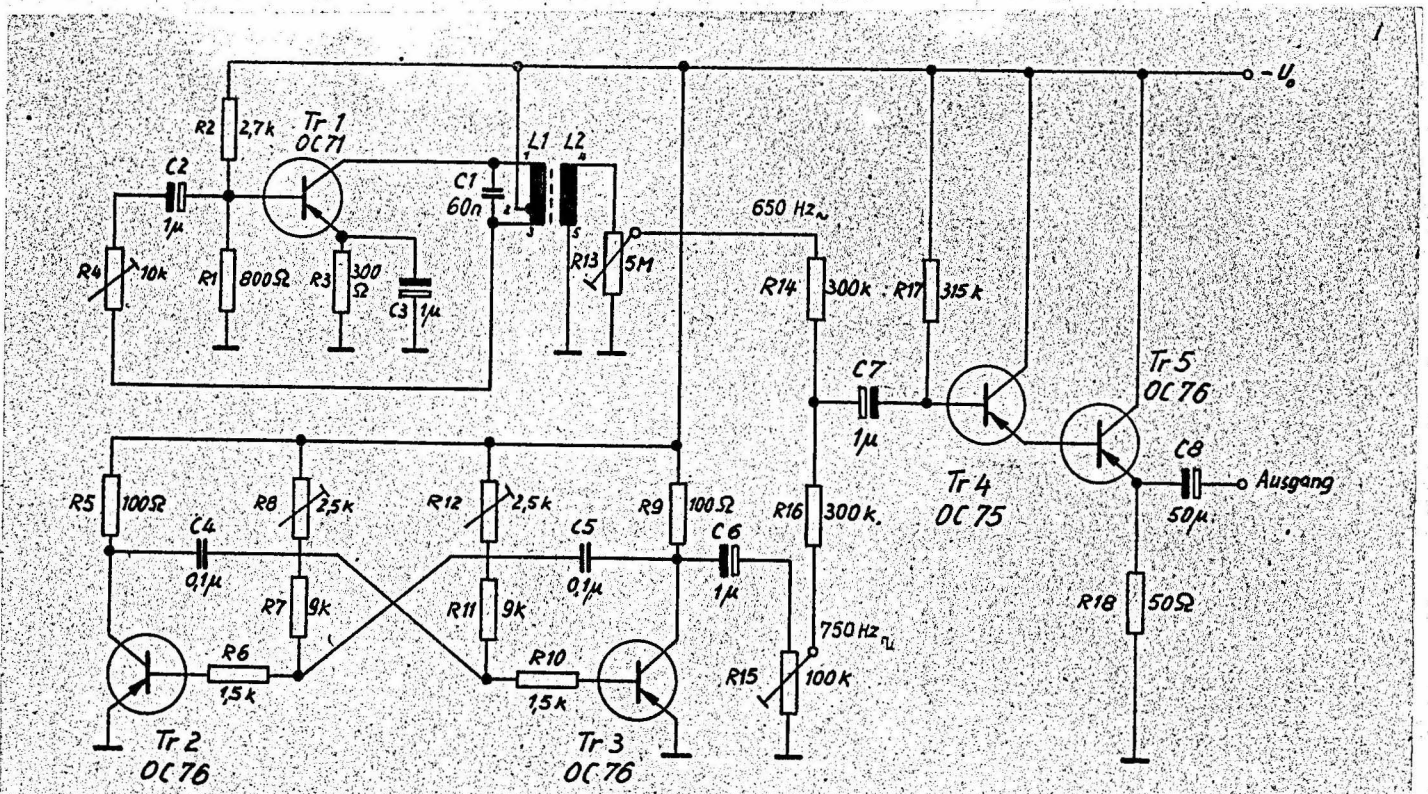
Die Wahl eines aus mehreren Einzeltönen bestehenden Gemisches für die eigene Entwicklung eines Rufsignals wurde durch die Erfolge der amerikanischen Bell-Anlage bestimmt. Es wurde zunächst der von den Bell-Laboratories eingeschlagene Weg untersucht, das Gemisch aus nur einem einzigen Steuersignal durch Verzerrung (Begrenzung des Eingangssignals) zu gewinnen. Die Begrenzung einer sinusförmigen Eingangsspannung führte jedoch zu keinem befriedigenden Ergebnis, da der Gehalt an Harmonischen der so gewonnenen Ausgangsspannung anteilmässig zu der Amplitude der Grundwelle zu klein war, um akustisch ins Gewicht zu fallen. Man müsste daher die Grundwelle unterdrücken und die Oberwellen entsprechend anheben. Da als Schallgeber handelsübliche Hörkapseln oder Kleinlautsprecher verwendet werden sollten, müsste die Unterdrückung der Grundwelle durch Filter und die Anhebung der Oberwellen durch entsprechende Verstärkung erfolgen. Dieses Verfahren erwies sich als zu aufwendig. Dazu kommt, dass der Klangcharakter eines Rechtecksignals trotz der Zusammensetzung aus mehreren Einzeltönen als zu eintönig erscheint, so dass dem Tongemisch eine gewisse Lebendigkeit fehlt.

Aus diesen Gründen wurde die Erzeugung des Tongemisches im Teilnehmerapparat aus einem sinusförmigen Steuersignal sowie die Verwendung einer reinen Rechteckspannung als Rufsignal ausgeschlossen.

Im Verlaufe der Untersuchungen mit zusammengesetzten Klängen bzw. mit Klängen und nichtharmonischen Teiltönen wurde dann eine Kombination gefunden, die als Rufsignal verwendet werden kann. Es handelt sich um eine Überlagerung aus einem sinusförmigen Ton von 650 Hz und einer Rechteckschwingung (Impulsverhältnis 1 : 1) mit der Grundfrequenz 750 Hz. Wird ausserdem noch die 3. Harmonische (2. Oberwelle) der Rechteckschwingung zugesetzt (2250 Hz, sinusförmig), so verbessert sich weiter der Klangcharakter des Signals, da zu den beiden benachbarten, etwa mit gleicher Lautstärke erscheinenden Tönen 650 und 750 Hz noch ein verhältnismässig hoher Ton ein akustisches Gleichgewicht schafft, indem dieser Ton in seiner Lautstärke merklich über den nur der Klangfarbe dienenden übrigen Harmonischen der Rechteckschwingung liegt. Dieser "Ausgleichston" wurde aber nicht allgemein von den Befragten als notwendig empfunden.

4. Rufsignalgenerator

Der Rufsignalgenerator besteht aus einem Sinusgenerator in Hartley-Schaltung zur Erzeugung der 650 Hz-Frequenz, aus einem Rechteckgenerator zur Erzeugung der 750 Hz-Rechteckspannung und dem nachgeschalteten Leistungsverstärker (Bild 1). Diese Laborausführung des Rufsignalgenerators gibt eine Ausgangsspannung von 0,5 V ± 0,05 V ab und kann gleichzeitig mit bis zu



35 Teilnehmerapparaten belastet werden, ohne dass die Ausgangsspannung die angegebenen Grenzen überschreitet. Um den dazu erforderlichen niedrigen Innenwiderstand der Endstufe von insgesamt (an den Ausgangsklemmen gemessen) 20 Ω zu erreichen, und um gleichzeitig die Generatorausgänge durch die nachgeschaltete Endstufe möglichst wenig zu bedämpfen, wird in der als Darlington-Schaltung ausgebildeten Endstufe eine zweifache Impedanzwandlung durchgeführt.

5. Zum Problem der Rufeinrichtung und des Schallgebers

Bevor über den Aufbau der Rufeinrichtung entschieden werden kann, muss ein geeigneter Schallgeber gefunden werden. Die an diesen elektroakustischen Wandler gestellten Forderungen sind:

1. Verzerrungsfreie Abstrahlung eines Tongemisches zwischen etwa 600 und 3000 Hz zur Erzeugung einer Lautstärke von 75 phon in 1 m Abstand vom Schallgeber
2. Guter Wirkungsgrad
3. Möglichst kleine Abmessungen
4. Niedriger Preis

Nach einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Hörkapseln, die zum Teil für besonders hohe Lautstärke ausgelegt waren (Klasse III), fiel die Wahl auf einen ovalen Kleinlautsprecher (Fabrikat Standard Elektrik Lorenz, Bestellnummer LP 0310/12/80) mit den Korbabmessungen 102 x 37 mm. Die Hörkapseln erwiesen sich als untauglich, weil sie bei den verlangten Lautstärken schon starke Verzerrungen verursachten. Man muss zu der Auswahl dieses Lautsprechers aber bemerken, dass er zwar das Optimum der zur Zeit angebotenen und erhältlichen Schallgeber für diesen bestimmten Zweck darstellt, dass es aber durchaus wahrscheinlich ist, dass sich ein für diesen Verwendungszweck noch besserer Schallgeber entwickeln ließe.

Für den Entwurf der Rufeinrichtung wurden zunächst die in der Literatur beschriebenen Entwicklungen studiert. Es handelt sich dabei hauptsächlich um die Rufeinrichtung der Bell-Laboratorien (6), (7) und deren ältere Ausführung (9). Diese Schaltung besteht jeweils aus einer Begrenzerstufe (in der älteren Ausführung durch zwei vorgespannte Dioden, in der neueren durch einen Transistor

mit entsprechender Arbeitspunkteinstellung ausgeführt), die trotz verschieden langer Anschlußleitungen jeweils ein konstantes Signal am Endverstärkereingang erzeugt. An die Begrenzerstufe schliesst sich ein frequenzselektives Netzwerk an, das auf den Rufton abgestimmt ist und direkt die Endstufe speist, die gleichzeitig durch die Ruffrequenz eingeschaltet wird. Die hohe Versorgungsspannung wird für den Endtransistor durch eine in die Kollektorleitung geschaltete Zenerdiode herabgesetzt, eine sehr elegante, aber teuere Maßnahme. Da der Endtransistor mit Wechselspannung angesteuert und in seinen Verstärker-Arbeitspunkt geschaltet wird, und ausserdem ein entsprechender Arbeitspunkt mit teilweiser Amplitudenbegrenzung gewählt wurde, erhält die Ausgangsspannung einen hohen Anteil von Harmonischen, der zum Teil durch die Resonanz des gewählten Schallgebers und mit Hilfe eines vorgeschalteten Doppelrohr-Resonators verstärkt wiedergegeben wird.

In dieser Form kann der Bell-Verstärker nicht für den gewünschten Zweck der Verstärkung des ausgewählten Tongemisches verwendet werden, da er von ganz anderen Voraussetzungen her geplant wurde, die angegebenen Schaltbilder vermitteln jedoch Anregungen für die Ausführung der eigenen Anlage.

Da das ausgewählte Rufsignal nicht mehr im Teilnehmer-Verstärker abgewandelt wird, wie im Bell-Verstärker (Verzerrung, Eigenresonanzausnutzung), sondern als Tongemisch am Eingang des Teilnehmerapparates erscheint, kann man mit diesem Gemisch auch nicht mehr wechselspannungsmäßig den Endtransistor aufsteuern und diese Steuerspannung gleichzeitig verstärken - eine sehr einfache und wenig aufwendige Schaltmöglichkeit - , weil sich sonst die Modulationsfrequenzen zwischen den einzelnen Steuertönen ergeben würden. Das Steuersignal muß daher zunächst gleichgerichtet werden. Auf eine Begrenzung des Eingangssignals wurde verzichtet und dafür der Verstärker so aufgebaut, dass er bei einem maximalen Gleichstromwiderstand der Anschlussleitung von 1000 Ω seine Nennleistung abgibt und man bei kürzeren Anschlußleitungen im Teilnehmerapparat einen entsprechenden Vorwiderstand in die a-Ader einfügen kann. Es ergab sich somit eine vollkommen neue Schaltung, die im folgenden beschrieben wird.

6. Ausführung der Rufeinrichtung

6.1 Grundsätzliches zum Schaltungsaufbau

Um das auf der a-b-Ader ankommende Rufsignal beim Teilnehmer in dem zur Teilnehmerstation gehörenden Kleinlautsprecher hörbar zu machen, muss der Teilnehmerapparat mit einem entsprechenden Verstärker ausgerüstet sein. Berücksichtigt man einen maximalen Schleifenwiderstand der Anschlußleitung von 1000 Ω und legt man für dieses Labormodell die übliche Gleichstromeinspeisung über die Wicklungen des A-Relais zugrunde, so würde die am Teilnehmerapparat zur Verfügung stehende Wechselspannung des Rufsignals bei weitem nicht ausreichen, um am Lautsprecher eine Leistung gemäss der nach Postvorschrift verlangten Lautstärke von 75 phon in 1 m Abstand zu erzeugen. Nach Messungen im schalltoten Raum muß der ausgewählte Kleinlautsprecher mit einer Rufspannung von 0,64 V erregt werden, um die geforderte Lautstärke zu erzeugen. Bei einer Generatorspannung von 0,5 V ist also schon ohne Berücksichtigung von Leitungsverlusten eine Verstärkung des Rufsignals im Teilnehmerapparat erforderlich.

Der benötigte Verstärker soll aus Gründen der Leistungsrentabilität mit Transistoren aufgebaut werden. Ausserdem ist die Forderung gestellt, dass er, um möglichst wenig Strom zu verbrauchen, vom Rufsignal selbst erst eingeschaltet werden soll. Hierin liegt eine gewisse Schwierigkeit der Aufgabe. Ist die Verstärkerstufe nämlich gesperrt, so liegt zwischen Emitter und Kollektor die volle Versorgungsspannung der a-b-Ader von 60 $V_{=}$, da kein nennenswerter Strom fließt und deshalb an der Anschlußleitung kein Spannungsabfall entsteht. Die normalen Transistoren haben aber eine maximal zulässige Kollektor-Emitter-Spannung von höchstens 30...32 V. Es wurde deshalb für diesen Zweck eine Transistor-Neuentwicklung eingesetzt, die ausreichende Grenzwerte aufweist, nämlich der Intermetall-Transistor-ASY 13 mit $-U_{CE_{max}} = 60$ V und $N_{V_{max}} = 330$ mW. Die Verwendung einer Zenerdiode zur Herabsetzung der Kollektor-Emitter-Spannung, wie sie von den Bell-Laboratorien vorgeschlagen wurde, wurde wegen des im Vergleich zu dem gewählten Transistor zu hohen Preises der Zenerdiode (Zenerspannung mindestens 35 V) verworfen.

Die Grundkonzeption der Rufeinrichtung sei zunächst am Blockschaltbild (Bild 2) erläutert:

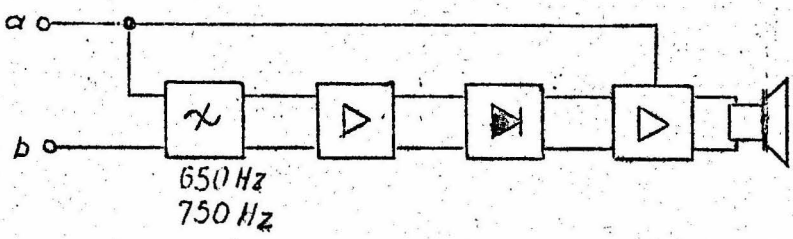


Bild 2

Das ankommende Rufsignal (am Teilnehmer-Eingang etwa 0,2 V) gelangt über ein Filter, das auf die in der Amplitude am stärksten vertretenen Rufton-Teilfrequenzen 650 Hz und 750 Hz abgestimmt ist, zu einem Verstärker und wird dann gleichgerichtet, um als Gleichspannung den Transistor des Leistungsverstärkers von seinem Ruhezustand (als Kollektorstrom fließt nur der Ruhestrom I_{C_o}) in den Arbeitszustand umzuschalten. Die eigentliche Wechsel-Eingangsspannung gelangt direkt von der Eingangsklemme a zur Endstufe. Die Filteranordnung im Verlauf der Steuerspannungsschaltung hat die Aufgabe, die Endstufe des Rufspannungsverstärkers nur dann anzuschalten, wenn ein echtes Rufsignal am a-b-Eingang der Schaltung ansteht und so zu verhindern, daß bei Störspannungsamplituden, die durch starkes Nebensprechen oder durch Schaltknacke entstehen können, der Endverstärker ebenfalls eingeschaltet wird und diese Störspannung hörbar macht.

6.2 Ausführung der Schaltung

Bei der Festlegung der Schaltung wurde davon ausgegangen, dass in jedem Falle der maximale Leitungswiderstand von 1000 Ω und der Widerstand der Speisebrücke (zwei Wicklungen des A-Relais zu je 500 Ω und der Widerstand E, 40 Ω) im Zuge der a-b-Leitung liegen. Es wurde deshalb gemäß diesen Angaben eine künstliche Leitung aufgebaut (Bild 3), an der der Rufverstärker betrieben werden soll und die allen folgenden Meßergebnissen zugrunde liegt. Der Schleifenwiderstand der Anschlußleitung einschließlich des Widerstandes der Speisebrücke, gemessen vom Teilnehmerende aus, beträgt also maximal

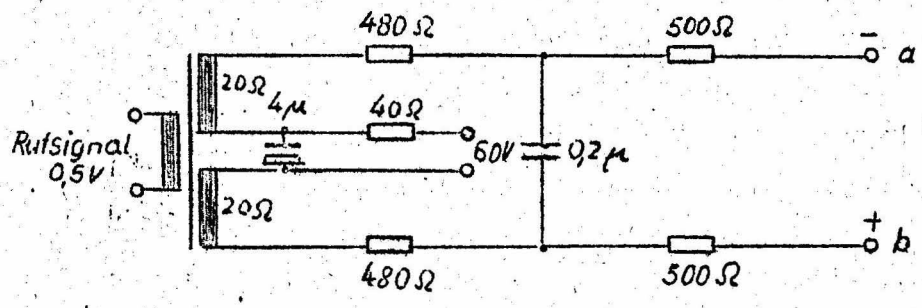


Bild 3

2040 Ω . Der Verstärker ist für diesen Maximalwiderstand ausgelegt und liefert so die Nennspannung von 0,64 V an den Lautsprecher. Bei kürzeren Anschlußleitungen werden sich die Transistor-Arbeitspunkte, vor allem der der Endstufe, leicht verschieben, und der Verstärker wird eine etwas grössere Rufleistung abgeben. Falls das unerwünscht ist, muss innerhalb des Teilnehmerapparates in der Rufeinrichtung ein entsprechend grosser Leitungs-Ersatzwiderstand in die a-Ader geschaltet werden.

Die ausführliche Schaltung der gesamten Rufeinrichtung ist in Bild 4 dargestellt und wird anschliessend erläutert.

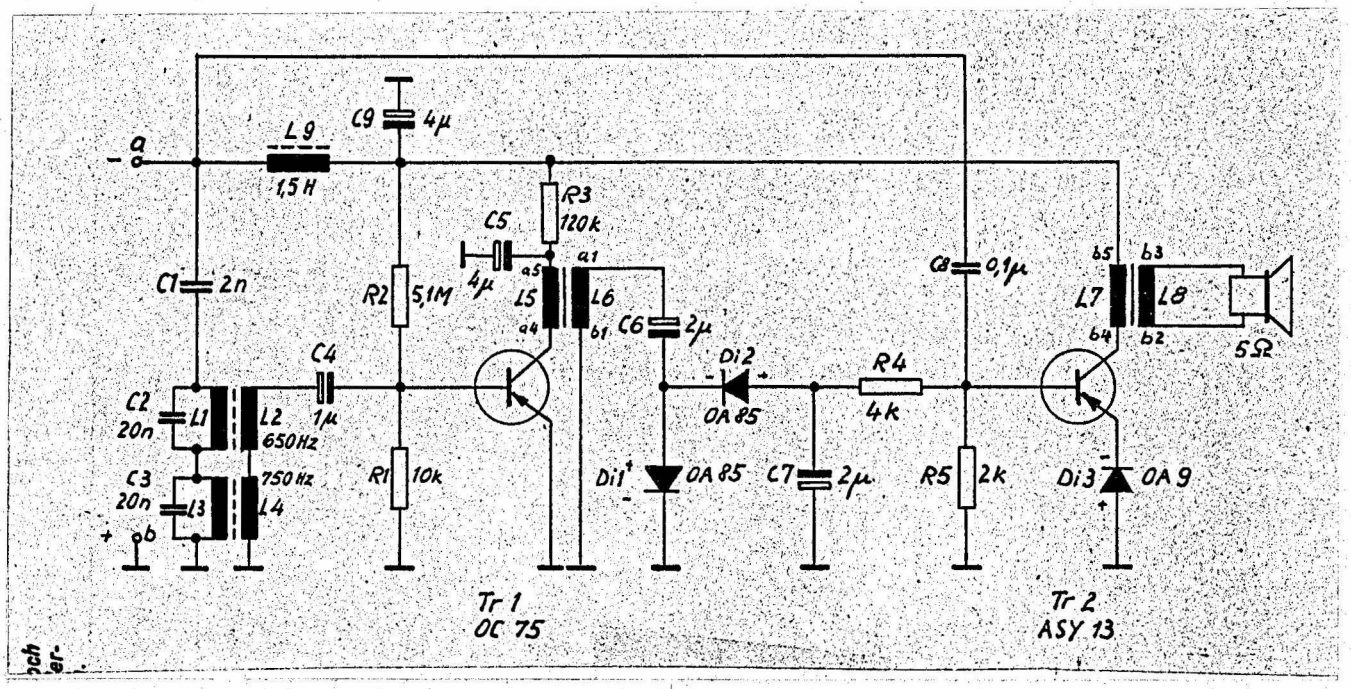


Bild 4

5.21 Eingangsschaltung

Das Wechselspannungs-Eingangssignal gelangt über den Koppelkondensator C1 zu den beiden auf die Frequenzen des Rufsignals abgestimmten Parallelschwingkreisen. Der Koppelkondensator C1

ist notwendig, um die Rufwechselspannung, die der Gleichspannung von 60 V überlagert ist, von dieser Spannung zu trennen. Er hat den Wert 2 nF und besitzt damit für das Rufsignal etwa einen Widerstand von 115 k . Dieser hohe Wechselstromwiderstand verhindert, dass die Schwingkreise durch den im Verhältnis dazu kleinen Schleifenwiderstand der Leitung kurzgeschlossen werden. Beide Schwingkreise sind in Reihe geschaltet, so dass alle Frequenzen, die nicht den Resonanzfrequenzen entsprechen und somit ruffremde Frequenzen sind, praktisch zur b-Ader (also nach Erde) kurzgeschlossen werden. Beide Schwingkreisspulen besitzen niederohmige Sekundärwicklungen, die ebenfalls hintereinandergeschaltet sind, durch die der hohe Resonanzwiderstand des Filters auf den verhältnismässig niedrigen Widerstand der Basis-Emitter-Strecke des folgenden Transistorverstärkers Tr1 angepaßt wird. Diese Verstärkerstufe erwies sich als notwendig, weil durch den Spannungsteiler R4-R5 am Ausgang des Gleichrichterteils nur ein Teil der erzeugten Gleichspannung ausgenutzt werden kann und somit die Eingangsspannung möglichst hoch sein muss.

Das bei der Leistungsendstufe aufgetretene Problem einer hohen zulässigen Kollektor-Emitter-Spannung des Transistors tritt bei der Vorstufe nicht auf, weil der Transistorverstärker Tr1 ständig eingeschaltet ist und am Ausgangstransformator L5, am Vorwiderstand R3 sowie am Widerstand der Anschlüssleitung und der Speisebrücke durch den Kollektorstrom ständig ein ausreichender Spannungsabfall erzeugt wird. An der Kollektor-Emitter-Strecke kann also nie die hohe Gleichspannung von 60 V auftreten, und im Einschaltmoment verhindert die Drossel L9 durch die sich an ihr aufbauende Gegenspannung einen unzulässig hohen Spannungsanstieg am Transistor.

6.22 Steuerspannungsverstärker Tr1

Der Steuerspannungsverstärker ist in herkömmlicher Emitterschaltung ausgeführt. Als Transistor wurde eine Type mit möglichst kleinem Kollektorstrom gewählt (Valvo OC 75). Aus dem gleichen Grunde wurde der Gleichstrom-Arbeitswiderstand dieser Stufe möglichst groß gemacht. Im Arbeits-

punkt fließt ein Kollektorstrom von $-I_C$ = 0,38 mA, der zusammen mit dem Arbeitswiderstand eine Kollektor-Emitter-Spannung von $-U_{CE}$ = 12,5 V ergibt. Sie ist damit auch bei einer Durchsteuerung von 100% des Transistors kleiner als der zulässige Grenzwert von 30 V. Der Basisspannungsteiler R1-R2 ist sehr hochohmig ausgeführt, um den Ruhestrom des Verstärkers möglichst niedrig zu halten. Durch den Übertrager L5-L6 wird der verhältnismässig hohe Innenwiderstand des Verstärkers auf den niedrigen Eingangswiderstand der folgenden Gleichrichter- und Endverstärkerstufe transformiert.

6.23 Leistungsverstärker Tr2

Die aus dem Verstärker Tr1 gewonnene Wechselspannung, die nur dann an L6 auftritt, wenn das an der Leitung a,b erscheinende Eingangssignal die Frequenzen 650 Hz und 750 Hz enthält, wird anschliessend gleichgerichtet und als Schalt- oder Steuerspannung der Basis-Emitter-Strecke der Leistungsverstärkerstufe zugeführt. Es wird dabei von einer Schaltung Gebrauch gemacht, die gleichzeitig mit dem Vorteil der Doppelweggleichrichtung durch besondere Schaltung der Dioden und Ladekondensatoren eine Spannungsverdopplung ergibt. Das ist sehr erwünscht, weil die zum Betrieb der Endstufe notwendige negative Basis-Vorspannung von etwa 0,3 V an R5 abfallen muss, andererseits aber der andere Spannungsteilerwiderstand R4 möglichst gross gemacht werden soll, um die über C8 von der a-Leitung kommende Signal-Wechselspannung nicht über den Ladekondensator C7 nach Erde hin kurzzuschliessen. Der Basiswiderstand R5 ist in seiner Grösse nach oben begrenzt, weil die Transistorstufe, wird er zu gross gewählt, bei fehlender Vorspannung Eigenschwingungen erzeugt. Der Wert R5 = 2 kΩ liegt an der zulässigen oberen Grenze.

Die Schaltung der Leistungsverstärkerstufe (Emitterschaltung des Transistors ASY 13) weicht durch die Art der Erzeugung der Basisvorspannung etwas von den allgemein bekannten Schaltungen ab. Wie schon erwähnt, wird durch die an R5 abfallende Gleichspannung der Transistor Tr2 von seinem ausgeschalteten Zustand in den eingeschalteten

Zustand mit seinem Verstärkerarbeitspunkt ($-I_C$ = 10,8 mA; $-U_{CE}$ = 37 V)gesteuert. Die Rufwechselspannung gelangt von der a-Leitung über den Koppelkondensator C8 zur Basis des Leistungsverstärkers und wird so weit verstärkt, dass die Sekundärseite L8 des Ausgangsübertragers ein Rufsignal von 0,68 V an den Lautsprecher abgibt, der somit den Ruf mit der geforderten Lautstärke abstrahlt. Die Gleichstromspeisung der beiden Transistorstufen erfolgt über den Tiefpaß L9-C9, der verhindert, dass sich die Rufwechselspannung der Betriebsspannung der Transistoren überlagert.

Wichtig ist die Aufgabe der in die Emitterleitung geschalteten Diode Di3. Die Diode arbeitet in Durchlaßrichtung in und in der Umgebung der unteren Kennlinienkrümmung. Die Diodentype wurde so ausgewählt, dass innerhalb des Emitterstrombereiches zwischen ein- und ausgeschaltetem Zustand der Endstufe (etwa 10 mA bzw. < 50 uA) der Spannungsabfall U_D an der Diode sich möglichst wenig ändert. Das ist in besonders starkem Masse bei der Germanium-Golddrahtdiode Valvo OA 9 der Fall:

U_D (I_D = 0,1 mA) = 0,15 V; U_D (I_D = 10 mA) = 0,31 V

sowie bei den Silizium-Flächendioden Valvo OA 200 und OA 202:

U_D (I_D = 0,1 mA) = 0,53 V; U_D (I_D = 10 mA) = 0,8 V

und bei der Germanium-Miniatur-Flächendiode Intermetall FD 3:

U_D (I_D = 0,1 mA) = 0,13 V; U_D (I_D = 10 mA) = 0,23 V

Dieser Effekt bewirkt nun, dass im ausgeschalteten Zustand des Transistors, d.h. bei fehlender Eingangs-Wechselspannung, und daher auch fehlendem Spannungsabfall an R5, der auftretende Kollektorstrom durch die Diode fliesst und an ihr einen Spannungsabfall von etwa 0,1 V (bei der Siliziumdiode entsprechend noch höher) erzeugt, der so gerichtet ist, dass die Basis (über R5) gegenüber dem Emitter ein kleines positives Potential bekommt. Das bedeutet aber, dass dadurch der Transistor noch weiter in das Sperrgebiet gesteuert wird und der Ruhestrom der Schaltung sich weiter verkleinert. Zum anderen bewirkt aber dieser Effekt eine zusätzliche Verminderung des Nebensprechens. Die gleichgerichtete Steuerspannung zum Ein-

schalten des Endverstärkers muss nämlich erst einen bestimmten Schwellwert erreichen - abhängig von der Auswahl der Diode, etwa 0,1 V -, bis im Endtransistor ein grösserer Kollektorstrom als der Ruhestrom zu fliessen beginnt. Erst dann beginnt der Transistor leitend zu werden, und das Rufsignal wird wirksam. Das bedeutet, dass bei kleinen Eingangswechselspannungen, die die Ruffrequenzen 650 Hz und 750 Hz enthalten und so das Eingangsfilter passieren können - z.B. Sprachfrequenzen von Nachbarleitungen - , bis zu diesem bestimmten Amplitudenwert überhaupt nicht in der Endstufe verstärkt werden und deshalb nicht den Lautsprecher betätigen können. Da die Nebensprechspannungen aber beträchtlich unter der Signalspannung für den Ruf (am Eingang der Schaltung etwa 0,2 V) liegen, mithin unter der Schwellspannung zum Ansprechen der Endstufe liegen, wird das Nebensprechen wirkungsvoll unterdrückt. Bei der Typenauswahl dieser Diode musste die Siliziumdiode verworfen werden, obwohl der stromabhängige Bereich des Spannungsabfalls an der Diode, bezogen auf den absoluten Wert des Spannungsabfalls, bei dieser Type am kleinsten ist. Sie würde aber eine hohe vom Rufsignal herrührende Steuer-Gleichspannung erfordern, die nicht zur Verfügung steht. Dagegen sind die anderen beiden Dioden geeignet, es wurde die OA 9 gewählt.

Der Ausgangstransformator der Endstufe wurde in seiner Primärwicklung so ausgelegt, dass der Transistor dicht an der zulässigen Leistungsgrenze von 330 mW arbeitet.

6.3 Mechanischer Aufbau

Beim Aufbau des Rufverstärkers wurde von der Technik der "gedruckten" Schaltung Gebrauch gemacht. Hier zeigte sich der Vorteil des raumsparenden Aufbaues der gesamten Schaltung. Eine gemeinsame Grundplatte trägt sämtliche Bauelemente. Diese Platte wurde mit dem Lautsprecher zu einer Baueinheit zusammengefasst, wobei die verbindenden Abstandbleche zwischen Schaltungsplatte und Lautsprecher zum Teil als Kühlbleche für den Leistungstransistor mitbenutzt wurden. Bild 5 zeigt die gesamte Rufeinrichtung.

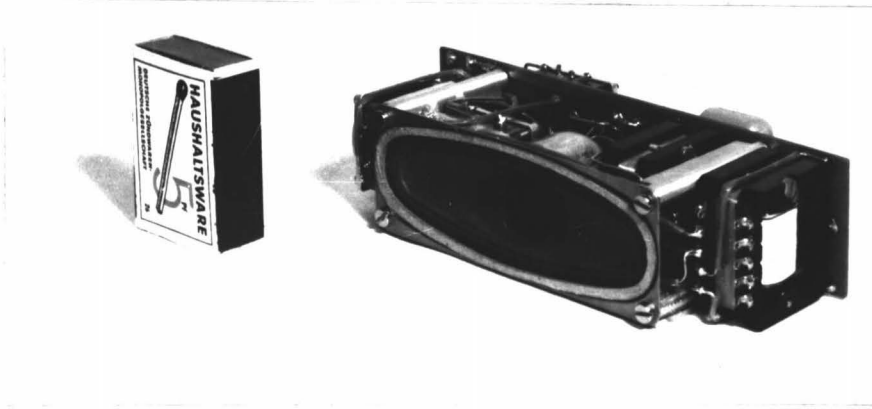


Bild 5

Die Rufeinrichtung wurde in einen Tischapparat eingebaut (die Bauhöhe der Einheit beträgt 38 mm), wobei an der Frontseite des Gehäuses zur Schallabgabe entsprechende Schlitze angebracht wurden. Um einen Größenvergleich zu ermöglichen, wurde der alte Wechselstromwecker zusätzlich zu der neuen Rufeinrichtung im Gehäuse belassen (Bild 6).

Bild 6

Es muss an dieser Stelle bemerkt werden, dass es sich bei der vorliegenden Rufeinrichtung um ein optimal aufgebautes Labormodell handelt, dass aber bei Vorhandensein entsprechender besserer und kleinerer Bauelemente günstigere Ergebnisse zu erzielen wären. Das gilt insbesondere für die geometrischen Abmessungen der Spulen und Übertrager, die sich sicherlich kleiner herstellen liessen und damit die Baugrösse der gesamten Einheit noch erheblich herabsetzen könnten.

7. Meßergebnisse

Am fertigen Apparat wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

Rufsignalgenerator:

Stromversorgung 6 $V_{=}$; 0,145 A
Ausgangsspannung 0,55 V (1 Teilnehmer angeschaltet)
0,45 V (35 Teilnehmer angeschaltet)

Rufeinrichtung:

Versorgungsspannung 60 $V_{=}$
Stromaufnahme 0,45 mA ohne Eingangssignal (Ruhestrom)
11,0 mA mit Eingangssignal
Rufspannung 0,68 V an 5[illegible] ($U_{Gen.}$ = 0,5 V)
0,77 V an 5[illegible] ($U_{Gen.}$ = 0,55 V)

Rufverstärker wird eingeschaltet bei einer Schwellspannung von

90 mV bei 650 Hz
130 mV bei 750 Hz

Frequenzgang der Rufeinrichtung bei einer Generatorspannung von 0,5 V, gemessen am Eingang des Lautsprechers (Bild 7)

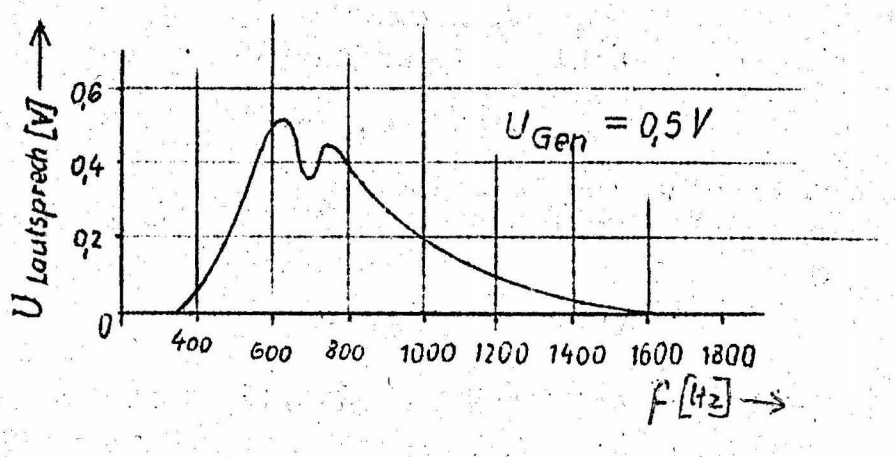


Bild 7

8. Literatur

(1) C. Dumousseau: Description d'un Autocommutateur Téléphonique à 220 lignes entièrement électronique, L'Onde électr.37 (1957), S. 220-230

(2) H. Reiner: Eine vollelektronische Vermittlung für 20 Teilnehmer, SEG-Nachr. 5 (1957), S. 76-78

(3) R. Metzger: Die erste vollelektronische Telephonzentrale Europas, Techn. Mitt. PTT 35 (1957), S. 239-243

(4) G. Goudet: 240-Line Fully Electronic Telephone Switchboard, Amer. I.E.E.Trans.60 (1960), S. 233

(5) Mosch: Eine vollelektronische Fernsprech-Vermittlungseinrichtung für 240 Teilnehmer, NTZ 13 (1960), S. 479-482

(6) L.A. Meacham, J.R. Power und F. West: Tone Ringing and Pushbotton Calling, Bell S.T.J. 37 (1958), S. 339-360

(7) H. McKay: Telephone of the Future, Radio and TV News 60 (Dec.1958), S.44-45
Referat in FUNK-TECHNIK 14 (1959), S. 365-366

(8) W.A. Depp und L.A. Meacham: The Transistor 1948-1959, Station Apparatus, Power and Special Systems, Bell Lab. Rec. 36 (1958), S. 216

(9) F.L.Crutchfield und J.R. Power: The Tone Ringer, Bell Lab. Rec. 35 (1957), S. 48-52