

Ein selbsttätiges Gerät zur Auswahl des jeweils lautereren Übertragungsweges.

(Mitteilung aus dem Laboratorium der C. Lorenz A. G.)

Von Heinz E. Kallmann, Berlin.

DK 621.396.621

I. Aufgabe und Anwendungsgebiete des Gerätes.

Drahtlose Fernübertragungen, wie z. B. Überseetelefonie, leiden erfahrungsgemäß häufig unter Lautstärkeschwankungen durch Fading. Man versucht diese auszugleichen durch automatische Anpassung des Verstärkungsgrades im Empfänger an die jeweilige Übertragungslautstärke. Diese Abhilfe ist jedoch nur wirksam, solange die Signalstärke einen unteren Grenzwert nicht unterschreitet und nicht etwa zeitweise ganz verschwindet. Um wichtige Übertragungen gegen die so entstehenden Lücken zu sichern, pflegt man sie mit mehreren, meist drei Empfangsanlagen, an verschiedenen Antennen gleichzeitig aufzunehmen, denn es ist unwahrscheinlich, daß in allen drei Antennen gleichzeitig ein Fadingminimum eintritt. Damit verringert sich auch die Gefahr, daß die Übertragung mit drei Empfängern noch Lücken aufweist.

Die Ausgänge der drei Empfänger lassen sich nicht einfach summieren; denn die auf verschiedenen Wegen zu den drei Empfängern gelangenden Wellen können nach so verschiedener Laufzeit eintreffen, daß auch für die niederfrequenten Modulationsfrequenzen die Phasendifferenzen bemerkbar werden. Infolgedessen ist bei einfacher Summierung der Empfängerausgänge und gemeinsamer Schwächung der Lautstärke auf den normalen Wert die Übertragung oft durch Interferenzverzerrungen schlechter als mit einem Empfänger allein. Vorzuziehen ist daher eine solche Verbindung der Empfängerausgänge, bei der jeweils nur ein Übertragungsweg mit dem Verbraucher verbunden ist, nämlich der momentan beste, während die anderen Wege solange abgetrennt sind. Die Umschaltungen auf den jeweils besten Weg können von Hand vorgenommen werden, solange sie nicht gar zu häufig werden. Das nachfolgend beschriebene Gerät soll dazu dienen, diese Aufgabe selbsttätig durchzuführen. Als Maßstab für die Güte der Übertragung wird

dabei die Lautstärke der wichtigsten übertragenen Frequenzen gewählt. Entsprechende Anwendungsfälle können vorliegen, wenn mehrere Kabelverbindungen gleichzeitig zur Sicherstellung einer wichtigen Übertragung eingesetzt werden sollen.

Von einem Gerät, das die jeweils lauteste Übertragung als die beste aussucht, die anderen aber solange abschaltet, ist vor allem zu fordern, daß es schnell, pausenlos und geräuschlos schon bei geringen Lautstärkedifferenzen umschaltet. Zudem dürfen keine Schwierigkeiten auftreten, solange etwa bei zwei Übertragungswegen beide gerade gleich laut sind. Ganz besonders diese letzte Forderung zwingt dazu, eine labile Schaltung anzuwenden, da jede andere entweder beide Wege schwächt oder keinen oder überhaupt nicht zur Ruhe kommt. Wünschenswert ist ferner, daß die Schaltung rein niederfrequent arbeitet; dadurch wird sie unabhängig von der Aufstellung und Betriebsart der Empfänger, und die Gefahr wird vermieden, daß von den Leitungen Hochfrequenz ausgestrahlt wird. Vorteilhaft ist es ferner, wenn die zur Umschaltung führende Lautstärkedifferenz willkürlich wählbar ist, und wenn unter Umständen nicht die mittlere allgemeine Lautstärke der übertragenen Frequenzen maßgebend ist, sondern bei der Umsteuerung (nicht bei der Übertragung!) z. B. die für die Verständigung wichtigsten mittleren Frequenzen bevorzugt werden können.

II. Prinzipielle Schaltung und Arbeitsweise.

Wegen ihrer schaltungstechnischen Kompliziertheit scheiden alle diejenigen labilen Schaltungen aus, die mehr als zwei stabile Lagen haben und dementsprechend unter mehr als zwei Übertragungswegen auf einmal wählen. Durch mehrere Schaltgeräte für je zwei Wege lassen sich ebenfalls beliebig viele Übertragungswege zu einem Ausgang zusammenfassen. So kann an eine altbekannte Schaltung angeknüpft werden, die

Turner¹⁾ unter dem Namen Kallirotron angegeben hat. Bei ihm war sie als Verstärker für alle Frequenzen gedacht und sollte wegen ihrer Gleichstromrückkopplung sehr wirksam sein. Entsprechend Abb. 1 sind zwei Verstärkerröhren V_1 und V_2 derart miteinander gekoppelt, daß der Anodenstrom der einen jeweils an einem im Anodenkreis liegenden Widerstand W_2 bzw. W_1 eine zusätzliche negative Gittervorspannung der anderen erzeugt. Es leuchtet ein, daß, wenn etwa der Röhre V_1 eine kleine zusätzliche positive Gitterspannung erteilt wird, dann der Anodenstrom der Röhre V_1 steigt und die Gittervorspannung der Röhre V_2 negativer wird, so daß deren Anoden-

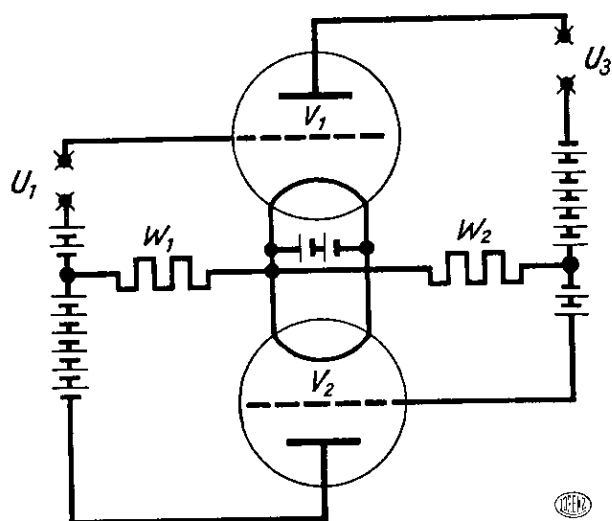


Abb. 1. Kallirotron-Schaltung.

strom absinkt; durch das Absinken des Anodenstroms von Röhre V_2 aber wird die Gittervorspannung der Röhre V_1 weniger negativ, so daß der ursprüngliche Anstoß noch verstärkt wird usw. Die Bedingung dafür, daß diese labile Schaltung als Verstärker brauchbar arbeitet, ist, daß die durch die Widerstände W_1 und W_2 vermittelte Rückkopplung einen Grenzwert nicht überschreitet; andernfalls kommt der geschilderte Vorgang erst dann zur Ruhe, wenn entweder in einer Röhre der Sättigungsstrom oder in der anderen gar kein Anodenstrom mehr fließt. Die zahlenmäßige Bedingung für diese Rückkopplungsgrenze ist von Schierl²⁾ angegeben worden. Sie lautet:

$$S_1 \cdot W_1 \cdot S_2 \cdot W_2 = 1 \quad (S = \text{Steilheit der Röhre}).$$

¹⁾ L. B. Turner, Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie 17, S. 52, 1921.

²⁾ F. Schierl, Arch. für Elektrotechn. 20, S. 346 ff., 1928.

Ohne weiteres gelten diese Betrachtungen auch für die etwas abgeänderte Schaltung nach Abb. 2. Bei dieser sind in beide Gitter- und Anodenleitungen Niederfrequenztransformatoren eingefügt, so daß jetzt beide Röhren als Verstärker betrieben werden können; jedoch sind die Ausgänge miteinander verbunden, so daß beide von den zwei Verstärkern gelieferten Tonfrequenzspannungen einem gemeinsamen nachgeschalteten Verbraucher zugeführt werden. Für den vorliegenden Anwendungsfall der Schaltung soll nun ein Verweilen in der Gleichgewichtslage sicher

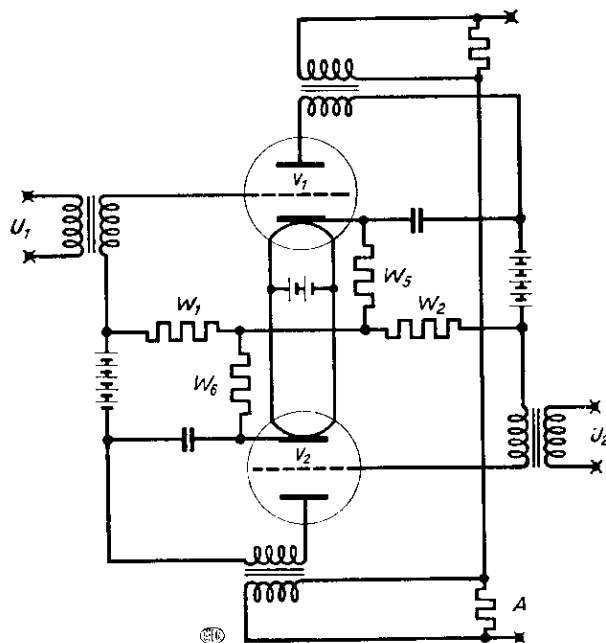


Abb. 2. Zwei durch Kallirotron-Schaltung voneinander abhängige Verstärker.

verhindert werden; folglich ist (für $S_1 = S_2$ und $W_1 = W_2$) $S_1 \cdot W_1 > 1$ zu wählen. Dann können die beiden Röhren nur abwechselnd arbeiten. Werden also den beiden Eingangstransformatoren die Ausgangsspannungen je von einem der beiden auszuwählenden Übertragungswege gleichzeitig zugeführt, so wird doch stets nur die eine von den beiden verstärkt und im Verbraucher hörbar; die andere dagegen wird unterdrückt.

In dieser Form würde die Schaltung zwar arbeiten können, ihren Zweck aber nur mangelhaft erfüllen; denn bei ihr müssen natürlich die Arbeitspunkte der beiden Röhren nahe am unteren Knick der Röhrenkennlinie liegen, also nahe bei D und C in Abb. 3. So wären bei der arbeitenden Röhre Verzerrungen kaum zu vermeiden,

während noch dazu die lautesten Stellen der „ausgeschalteten“ Röhre — auch wenn sie nicht zur Umschaltung ausreichen — mit ihren positiven Scheiteln über den Punkt *D* hinaus in den ansteigenden Teil ihrer Kennlinie etwa bis *C* hineinreichen und damit störend hörbar würden. Um daher für die beiden Verstärker die Bereiche

Übertragungswege angelegt, dieselbe, die den Gittern der abwechselnd arbeitenden Verstärkerröhren V_1 und V_2 zugeführt wird. Die Anodengleichströme der Relaisröhren steigen also an mit wachsenden zugeführten Tonfrequenzspannungen. Solange beide Spannungen gleich groß sind, halten sich auch die von den Anodengleich-

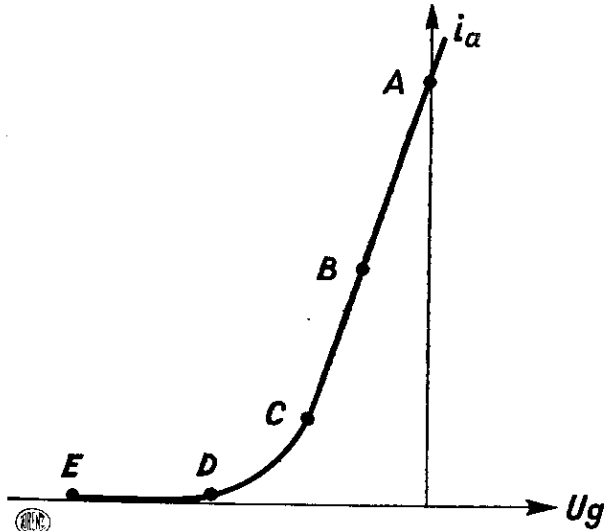


Abb. 3. Arbeitsbereiche auf der Röhrenkennlinie.

stabilen Arbeitens weit fort vom unteren Kennlinienknick verlegen zu können, die arbeitende Röhre in den linearen Bereich zwischen *U* und *A*, die andere in den Bereich zwischen *E* und *D*, wird der Anstoß zum Umklappen der Schaltung einem

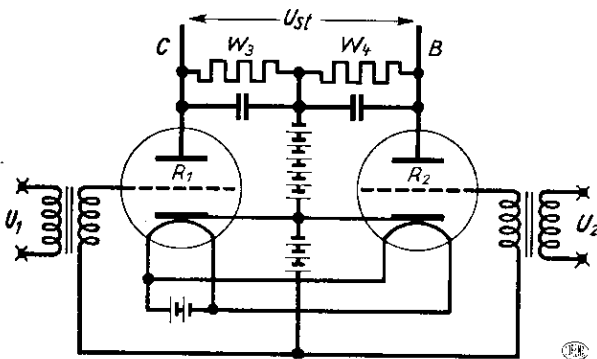


Abb. 4. Differentialrelais.

besonderen Steuerorgan übertragen. Dieses besteht aus zwei Röhrenvoltmetern in Anodengleichrichterschaltung, die als Differentialrelais wirken. Wie Abb. 4 zeigt, wird an das Gitter je einer der beiden Relaisröhren R_1 und R_2 über Transformatoren die tonfrequente Ausgangsspannung U_1 bzw. U_2 der beiden der Auswahl unterworfenen

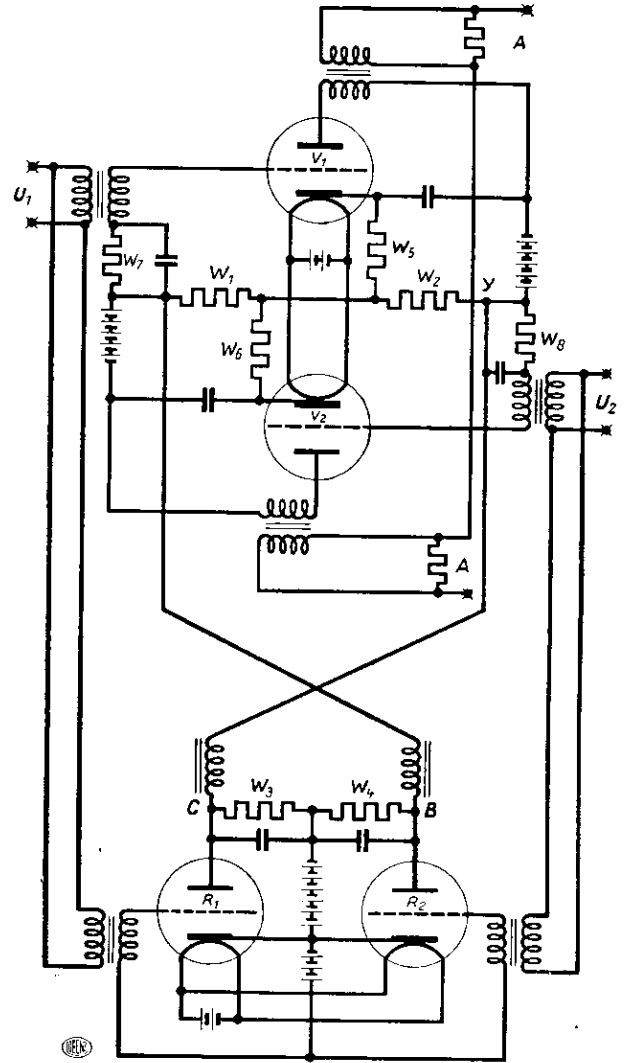


Abb. 5. Gesamtschaltung des Schaltgerätes.

strömen in den beiden gleichen Anodenwiderständen W_3 und W_4 erzeugten Gleichspannungen die Waage und heben sich auf. Je nachdem aber die Lautstärke des einen oder anderen Übertragungsweges größer ist, überwiegt der eine oder andere Anodenstrom, so daß zwischen den Punkten *B* und *C* eine Gleichspannungsdifferenz U_{st} im einen oder anderen Vorzeichensinne entsteht. Das Differentialrelais wird nun zur Umsteuerung

des Auswahlgerätes benutzt, indem die Punkte B und C mit den Enden der Widerstände W_1 und W_2 der Verstärkerschaltung verbunden werden. So entsteht durch Zusammensetzen der Abb. 2 und 4 die Schaltung entsprechend Abb. 5. Der Vorgang spielt sich dann so ab, daß, wenn etwa der Übertragungsweg U_2 lauter wird, während V_1 arbeitet, die Gitterwechselspannung an der Relaisröhre R_2 und damit auch der Anodenstrom durch W_4 steigt. Dadurch wird der Punkt C positiv gegenüber Punkt B . Erreicht diese Spannungsdifferenz einen gewissen Wert, so ist der Anstoß gegeben, daß die Auswahlschaltung alsbald selbsttätig umschaltet, d. h. in die andere Ruhelage übergeht, in der nur der Verstärker V_2 arbeitet.

Im Interesse einer möglichst hohen Empfindlichkeit der Relais wird den Transformatoren am Gitter der Relaisröhren R_1 und R_2 ein hohes Übersetzungsverhältnis gegeben; zugleich läßt sich ihre Frequenzkurve so wählen, daß Brumm- und Zischgeräusche durch Benachteiligung der tiefsten und höchsten Töne unwirksam werden. Die Umschaltung reagiert dann vorwiegend auf die meist wichtigeren mittleren Tonfrequenzen. Durch Kurzschlußkondensatoren von den Anoden zu den Kathoden der Relaisröhren und Drosseln in den Leitungen bei B und C wird verhindert, daß von den Relaisröhren her zu den Gittern der Verstärkerröhren störende Wechselspannungen gelangen können. Ferner wird, um mit nur zwei Anodenstromquellen auszukommen, die Schaltung noch etwas modifiziert, ohne daß sich im Prinzip etwas ändert; jedoch wurde die erforderliche Umgruppierung im Anodenkreis der Relaisröhren in der Abb. 5 nicht berücksichtigt, da durch sie das Schema noch weniger übersichtlich geworden wäre. Die indirekt geheizten Röhren können nun auch unbedenklich alle aus der gleichen Stromquelle geheizt werden, da die Kathoden der Verstärkerröhre V_1 und V_2 dann nur noch einige Volt Spannung gegen die der Relaisröhren R_1 und R_2 führen. Eine glückliche Eigenschaft der Schaltung ist es auch, daß keine Stromquelle oder ein ähnliches umfangreiches Schaltelement tonfrequente Wechselspannungen gegen Erde führt; die gegenseitige Kapazität der Stromquellen und ihre Kapazität gegen Erde kann also beliebig groß sein.

Durch geeignete Verzögerungsglieder aus Widerständen (W_7 und W_8 in Abb. 5) und Kapa-

zitäten in den Gitterleitungen der Verstärkerröhren kann der Umschaltvorgang nach Belieben verzögert werden. Maßgebend für die gewählte Geschwindigkeit ist, daß der Vorgang selbst nicht als Knack hörbar sein soll, also mit seinen Frequenzen unterhalb des übertragenen Tonfrequenzbereichs liegen muß; andererseits darf der Übergang nicht so langsam sein, daß er bemerkbar wird. Eine fünfzigstel Sekunde Dauer des Umschaltvorganges erwies sich als günstig, wenn Tonfrequenzen unter 100 Hertz nicht erheblich übertragen werden. Dem Gerät wurde daher zunächst eine Grenzkette nachgeschaltet, die die Reste der durch die Umschaltung entstehenden Geräusche unter 100 Hertz abschneidet.

Der zweite willkürlich zu wählende Wert ist diejenige Lautstärkedifferenz, bei der das Gerät ansprechen soll. Wählt man die Differenz zu klein, so kommt das Gerät keinen Augenblick zur Ruhe. Ist die Differenz aber zu groß gewählt, so wird der Unterschied der Lautstärke bei der Umschaltung merklich. Die Empfindlichkeit des Gerätes ist sehr bequem zu regeln durch die Widerstände W_5 und W_6 in den Kathodenleitungen der beiden Verstärkerröhren V_1 und V_2 . Die Anodenströme erzeugen in ihnen eine zusätzliche negative Gittervorspannung, so daß durch Vergrößerung der Widerstände der Arbeitspunkt der gerade arbeitenden Röhre — die andere hat keinen Anodenstrom — mehr in die Nähe des unteren Knicks der Kennlinie (z. B. in den Bereich CB in Abb. 2) zu liegen kommt. Je näher aber der Arbeitspunkt am Knick der Kennlinie liegt, desto geringere Spannungen des Differentialrelais genügen dazu, den Umschaltvorgang in Gang zu bringen. Zugleich entstehen aber Verzerrungen durch die Krümmung der Kennlinie, während im normalen Betriebe die Schaltung grundsätzlich keine größeren Verzerrungen bewirkt als jeder andere Niederfrequenzverstärker.

Das Gerät ist ohne weiteres für vollen Wechselstromnetzanschluß ausführbar. Der Netztransformator hat dann zwei Gruppen von Sekundärwicklungen, zu denen zwei Gleichrichterröhren mit Drosselketten gehören. Als Relais- wie als Verstärkerröhren werden mit gutem Erfolg die indirekt geheizten Röhren des Typs REN 904 verwendet; sie haben einen Durchgriff von $3\frac{1}{2}$ vII und eine Steilheit von $3\frac{1}{2}$ mA/V. Die Konstanz der Anoden- und Gitterspannungen

wird durch Verwendung von Glimmstreckenspannungsteilern gesichert.

III. Untersuchung eines ausgeführten Gerätes.

Ein Gerät dieser Art wurde einer genauen Prüfung unterzogen. Der subjektive Eindruck ist zunächst, daß der Umschaltvorgang nur unter besonderen Bedingungen wahrzunehmen ist. Führt man nämlich beiden Eingangsklemmenpaaren des Gerätes über Potentiometer eine sinusförmige Wechselspannung aus einem gemeinsamen Tongenerator zu und veranlaßt dann durch Regeln an einem der beiden Potentiometer Umschaltung durch das Gerät, so ist im Ausgang ein leichter Lautstärkenübergang ohne Knacken und ohne Pause bemerkbar. Bei Sprache oder Musik ist

stärkequotient den Grenzwert überschreitet, bis zu dem der Übergang nicht bemerkt wird.

Der Umschaltvorgang wurde oszillographisch untersucht. Beiden Eingangsklemmenpaaren des Gerätes wurde über je ein Potentiometer eine sinusförmige Spannung von etwa 430 Hertz zugeführt; an den Ausgang wurde über die Grenzkette ein Schleifenoszillograph geschaltet. Der Vorgang wurde photographisch registriert, das Papier lief 2 m je Sekunde. Die zwei möglichen Extremfälle sind die interessantesten. In dem einen Falle werden die Eingänge so gepolt, daß die Generatorschwingungen in beiden Fällen mit der gleichen Phase auf den Ausgang übertragen werden. In dem sehr deutlichen Oszillogramm ist in diesem Falle keine Spur der Umschaltvorgänge

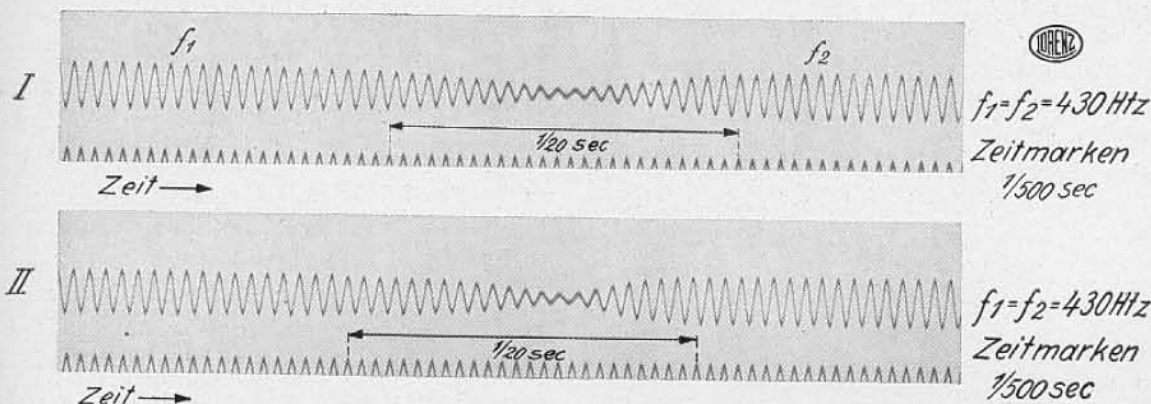


Abb. 6. Zwei Oszillogramme des Umschaltvorganges bei 180° Phasendifferenz der Eingangsspannungen.

dieser Übergang aber nicht mehr wahrzunehmen, auch nicht mitten im Geigenstrich und auch nicht, wenn die Umschaltung mehrmals in der Sekunde wiederholt wird.

Diese Beobachtung wird durch Meßergebnisse verständlich gemacht. Zur Umschaltung genügt eine Differenz der Eingangsspannungen von 0,02 Volt, wenn die Eingangsspannungen selbst 0,6 Volt betragen. Der Sprung in der Lautstärke beträgt also nur etwa 3 vH. Das untersuchte Gerät arbeitete gut für mittlere Eingangsspannungen zwischen 0,2 und 1,2 Volt, wobei die zur Umschaltung erforderliche Spannungsdifferenz an den Grenzen dieses Bereichs etwa 0,03 Volt groß sein mußte. Bei der oberen Grenze sind die Verstärkerröhren übersteuert; die untere Grenze ist dadurch gegeben, daß das Differentialrelais auf eine bestimmte Spannungsdifferenz anspricht; so daß für kleine Eingangsspannungen der Laut-

zu finden; der Amplitudensprung beträgt ja nur etwa 3 vH. Dagegen muß im praktischen Gebrauch gerade mit den Fällen gerechnet werden, daß die niederfrequenten Vorgänge den beiden Eingängen des Gerätes nicht mit gleicher Phase zugeführt werden. Am ungünstigsten für den Fall einer Sinusschwingung ist offenbar eine Phasenverschiebung von 180° . Weitere Aufnahmen wurden dementsprechend gemacht, nachdem die Zuleitungen zu dem einen Eingangsklemmenpaar des Auswahlgerätes umgepolt waren, so daß die beiden Verstärkerröhren nunmehr gegenphasig gesteuert wurden. In diesem Fall mußten die Umschaltvorgänge gefunden werden. Abb. 6 zeigt zwei Ausschnitte aus dem Registrierstreifen, der eine zeigt die Umschaltung vom Weg U_1 auf Weg U_2 , der andere zeigt den entgegengesetzten Fall. Beide Vorgänge spielen sich, wie das Oszillogramm zeigt, innerhalb $1/20$ Sekunde ab. Durch

bloßen Augenschein ist dabei nicht zu entscheiden, wie im einzelnen die Umschaltung sich abgespielt hat. Denkbar ist, daß entweder die Lautstärke der einen Verstärkerröhre abnimmt, da der Arbeitspunkt in flachere Teile der Charakteristik verschoben wird und dann der andere Verstärker allmählich lauter wird; oder, daß beide Verstärker eine kurze Zeit gleichzeitig mit merklicher Lautstärke arbeiten, und durch Interferenz die Summe den Wert Null ergibt für den Augenblick, wo beide gerade gleich laut sind; oder, daß ein Mittelgang zwischen beiden eintritt. Die Entscheidung bringt die genaue Ausmessung der Oszillogramme. Der Phasensprung beim Übergang von der einen Übertragung zur anderen in der Phase um 180° verschobenen muß sich ja in den Zeitabständen wiederfinden, in denen die Kurve die Nullachse schneidet. Innerhalb des Zeitraumes von etwa 50 ms von der ersten Amplitudenabnahme bis zur Wiedererreichung des vollen Wertes ist in den ersten 17 und den letzten 17 ms keinerlei Abweichung von der normalen Länge der Sinusperiode zu finden; hier liegt also reine Schwächung vor. Nur in dem mittelsten Bereich während etwa $\frac{1}{60}$ s sind beide Verstärker gleichzeitig wirksam, hier superponieren sich die Sinusschwingungen, wie aus den anormalen Abständen der Nulldurchgänge an der Kurve abgelesen werden kann.

Eine Umschaltung kann nur durch die zugeführten Niederfrequenzspannungen selbst ausgelöst werden; wird z. B. die eine von zwei Sprachübertragungen in der Pause zwischen zwei Worten geschwächt, so tritt Umschaltung erst zu Beginn des nächsten Wortes ein. Die Verständlichkeit dieses Wortes wird aber nicht beeinträchtigt. Man kann dies durch folgendes Experiment demonstrieren: Normalerweise sind beide Ruhelagen des Gerätes stabil, so daß, wenn beide Übertragungswege schweigen, der Verstärker V_1 oder V_2 eingeschaltet bleibt, je nachdem der eine oder andere Weg zuletzt der lautere war. Erteilt man nun der einen Relaisröhre eine andere Gittervorspannung als der anderen, so wird der eine Verstärker bevorzugt. Angenommen es sei der Verstärker V_1 ; wird nun dem Verstärker V_2 eine Spannung U_2 zugeführt, so schaltet das Gerät zu Beginn jedes Wortes von V_1 nach V_2 , fällt aber am Ende des Wortes wieder in die Ruhelage nach V_1 . Bei dieser Übertragung wird also der Anfang eines jeden Wortes abgeschnitten: auch

dieser Effekt ist nur für den aufmerksamen Beobachter bemerkbar.

Die Einregulierung der Gittervorspannung der Relaisröhren ist die einzige zu bedienende Einstellung; sie muß für jede Röhre einmal vorgenommen werden. Kriterium ist dabei einfach, daß das Gerät in den Pausen in beiden Lagen stabil bleibt und nicht, wie oben beschrieben, die eine Ruhelage spontan bevorzugt.

Die für das Gerät erforderliche Eingangsleistung ist sehr gering. Das Modell war an den inneren Widerstand einer Verstärkerröhre mit 10000 Ohm angepaßt und arbeitete normal mit etwa 0,6 Volt effektiver mittlerer Eingangsspannung, was einem Wert von etwa 0,04 mW entspricht. Es hat normalerweise den Verstärkungsgrad 1 ($= 0$ Neper). Auf diese Weise kann ohne weiteres, wenn drei Übertragungswege zusammengefaßt werden sollen, der dritte Weg mit dem Ausgang des einen Auswahlgerätes einem zweiten Auswahlgerät zugeführt werden. Für Auswahl zwischen vier Wegen werden entsprechend die Ausgänge zweier Auswahlgeräte in einen dritten zusammengefaßt.

Außer den geschilderten normalen Anwendungen des Gerätes lassen sich auch andere interessante Möglichkeiten denken. Sollen etwa zwischen einer Musikübertragung einige — z. B. erklärende — Worte gesprochen werden, ohne daß die Musik geschwächt werden soll, und ohne daß dabei die Musik die Verständlichkeit der Worte beeinträchtigen soll, so können Musik und Worte leicht in einem Auswahlgerät gemischt werden.

Zusammenfassung.

Schaltung und Eigenschaften eines Gerätes werden mitgeteilt, das ohne Verwendung mechanisch bewegter Teile zwischen zwei niederfrequenten Übertragungswegen selbsttätig den jeweils lauterer auswählt und an den Verbraucher schaltet. Es enthält zwei gleichstrommäßig derart miteinander verkoppelte Röhren in Verstärkerschaltung, daß das Arbeiten des einen Verstärkers den anderen außer Wirkung setzt; dabei sind die Übergangslagen labil. Den Anstoß zur Umschaltung übernimmt ein Differentialrelais aus zwei Verstärkerröhren, das auf die Lautstärkeunterschiede der dem Gerät zugeführten niederfrequenten Eingangsspannungen anspricht.

(Eingegangen am 1. November 1931.)