

Über niederfrequente Beeinflussung eines Elektronen-Relaisgenerators.

Von E. Mauz und J. Zenneck.

Sowohl in der drahtlosen Telephonie bei Gitterbesprechung als bei Elektronenrelais-Tonsendern ist die grundlegende Frage die, wie sich die Amplitude der Hochfrequenzschwingung des Generators ändert, wenn auf das Gitter eine niederfrequente Spannung wirkt. Einen Beitrag zu dieser Frage sollen folgende Versuche liefern.

I. Anordnung.

Die Anordnung war schematisch diejenige von Fig. 1, in der CL den HF-Kondensatorkreis,¹⁾ S die Rückkoppelungsspule, W eine veränderliche NF-Spannung und V eine regelbare Gittervorspannung be-

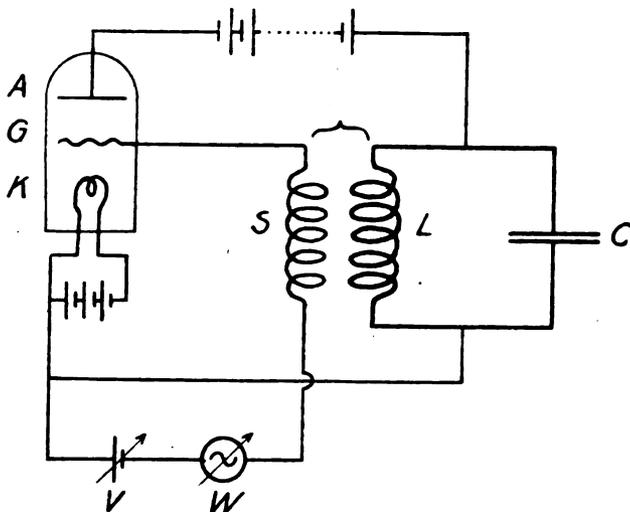


Fig. 1.

deutet. Die tatsächlich gebrauchte Schaltung zeigt Fig. 2. Darin ist C' ein Kondensator von ca. $2 \mu\text{F}$, der die Anodenbatterie für HF-Schwingungen überbrückt. P_1 und P_2 sind Potentiometer, welche die Gleichspannung der Batterie V bzw. die Wechselspannung, die von der Maschine M geliefert wird, zu verändern gestatten.

1) Im folgenden ist für die Hochfrequenz bzw. Niederfrequenz die Abkürzung HF bzw. NF gebraucht.

Zur Untersuchung der Schwingungen diente eine Braunsche Röhre (Br. R.¹) für elektrische und magnetische Ablenkung. Die Ablenkungsplatten P' und P'' waren an den Kondensator C angelegt; die vertikale Ablenkung des Flecks auf dem Schirm der Braunschen Röhre geschah also durch die HF-Schwingungen. Der NF-Strom, der

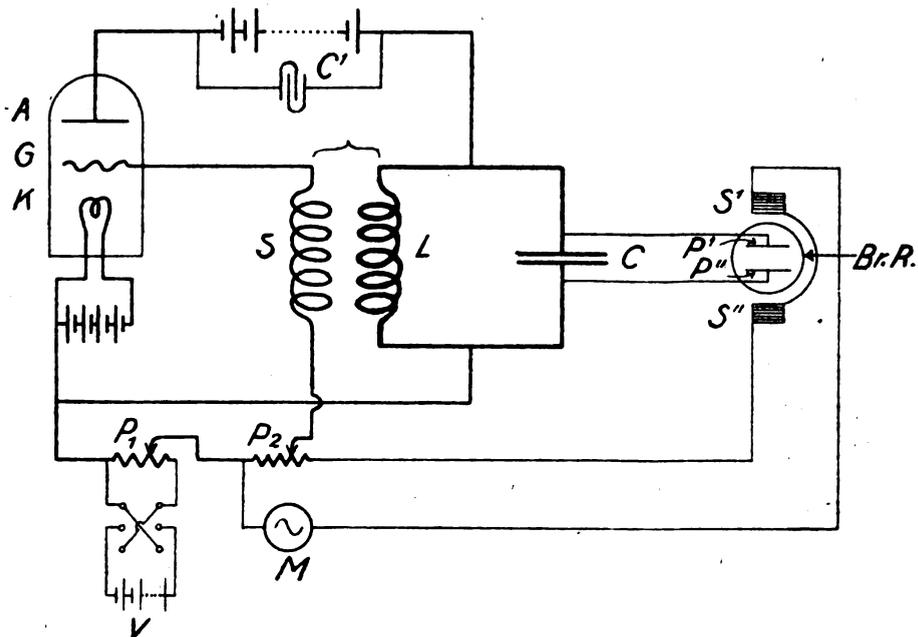


Fig. 2.

das Potentiometer P_2 durchfloß, bewirkte durch die Spulen S' und S'' eine horizontale Ablenkung des Flecks, die mit der NF-Spannung im Gitterkreis gleichphasig war.²⁾

Die Dimensionen waren folgende:

C = Drehkondensator mit Ölfüllung auf ca. $0,0084 \mu\text{F}$ eingestellt.

L = Litzendrahtspule von ca. $1,95 \cdot 10^6$ cm Induktivität.

S = Spule von $13,8 \cdot 10^6$ cm Induktivität.

1) Bezogen von der Firma E. Gundelach-Gehlberg i. Thür.

2) Diese Gleichphasigkeit wurde sichergestellt dadurch, daß statt des Gitterkreises die Ablenkungsplatten P' und P'' an das Potentiometer P_2 angelegt wurden. Der Fleck auf dem Schirm der Braunschen Röhre beschrieb dann eine schräge Gerade ohne jede Andeutung einer ellipsenförmigen Verbreiterung.

Wellenlänge = ca. 4900 m.

V = zwischen 0 und ± 80 Volt.

Effektive Spannung der Maschine $M = 65$ Volt, Frequenz derselben ≈ 50 /Sek.

Das verwendete Elektronenrelais gehörte zur Type RS 19 der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie. Die Röhre war absichtlich größer

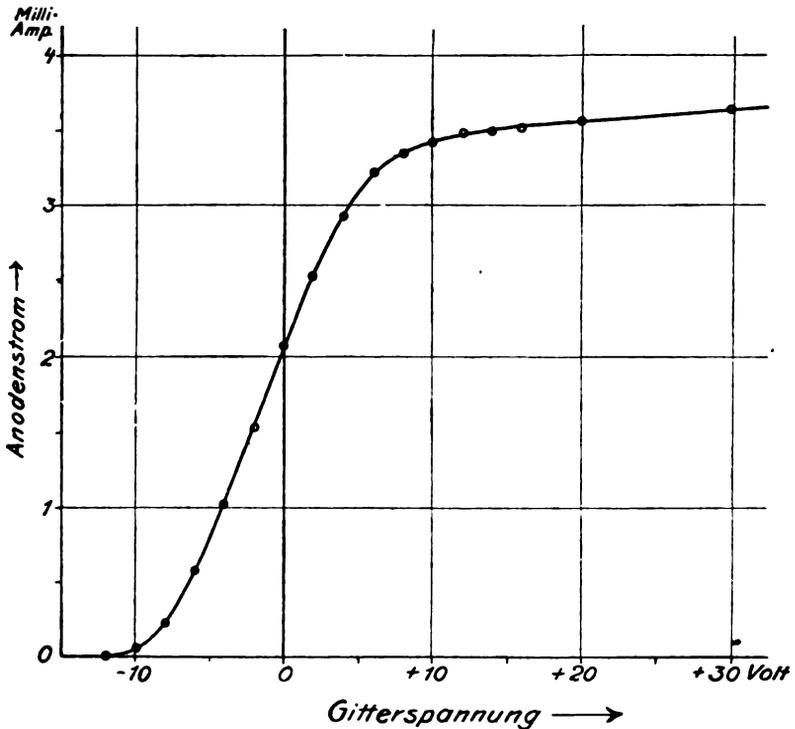


Fig. 3.

gewählt als die Versuche gefordert haben würden. Infolge davon bekam man die durchaus genügende Emission von ca. 4 mA schon bei einem Heizstrom von 3,4 A. statt des normalen von 4,5 A. Bei dieser schwachen Heizung genügten dann 800 Volt Anodenspannung, um den Mittelpunkt der Charakteristik ungefähr auf die Gitterspannung 0 zu legen. Die Charakteristik, die man unter diesen Betriebsbedingungen erhielt, war diejenige von Fig. 3.

Die photographische Aufnahme der auf dem Schirm der Braun-

schen Röhre entstehenden Figuren erfolgte durch ein Buschobjektiv Mod. W, Brennweite = 107 mm, Öffnung $f:2,1$; die Camera stand dabei in der Verlängerung der Achse der Braunschen Röhre. Die benützten Platten waren photomechanische Platten der Firma Kraseder-München (sog. Kranz VIII). Damit die Braunsche Röhre stets auf das günstigste Vakuum eingestellt werden konnte, war sie dauernd an die Pumpe angeschlossen.

II. Die Versuche.

a) Zum Verständnis der im folgenden besprochenen und auf den Tafeln V und VI reproduzierten Aufnahmen sei folgendes vorausgeschickt:

Wird bei unserer Anordnung der Fleck der Braunschen Röhre nur durch den NF-Strom abgelenkt, so schwingt er längs einer horizontalen Mittellinie. Wird er nur durch die HF-Spannung beeinflusst, so erfolgt seine Schwingung in vertikaler Richtung. In beiden Fällen erscheinen die Umkehrpunkte, die den Amplituden entsprechen, besonders hell. Wirken beide Schwingungen auf den Fleck, so sieht das Auge, da eine Auflösung der HF-Schwingungen infolge der geringen horizontalen Ablenkung nicht erfolgt, eine Fläche, deren obere und untere helle Grenzlinie ein Maß für den zeitlichen Verlauf der Amplitude der HF-Schwingungen gibt.

Da die horizontale Ablenkung durch einen merklich sinusförmigen Strom erfolgt, so entstehen dieselben Bilder, wie wenn man eine Periode der wirklichen Amplitudenkurve (Ordinaten proportional der Amplitude, Abszissen proportional der Zeit) auf einen Kreiszyylinder zusammenbiegen und ihre Parallelprojektion betrachten würde. Es entspricht also das Bild von Versuch 1 einer der Zeit nach konstanten HF-Amplitude, die Bilder von Versuch 2 bzw. 5 bzw. 7 Amplitudenkurven, wie sie Fig. 4 darstellt.¹⁾

Solche Aufnahmen lassen an sich die zeitliche Aufeinanderfolge der Erscheinungen nicht erkennen: das Vorzeichen der Zeit ist unbestimmt. Dieses ist deshalb durch eingezeichnete Pfeile angegeben.

b) Um zunächst einen Überblick darüber zu gewinnen, wie die

1) Bei dieser Methode, welche einer von H. Rukop und J. Zenneck (Ann. Phys. 44, S. 97—111, 1914) verwendeten analog ist, wird der zeitliche Verlauf der Amplitudenkurve in der Nähe der Maximalwerte der Niederfrequenzspannung (Umkehrpunkte) mangelhaft wiedergegeben. Man kann dem abhelfen, indem man dem ablenkenden Niederfrequenzstrom eine Phasenverschiebung gegen die Niederfrequenzgitterspannung erteilt (z. B. 2 Phasen einer Mehrphasenmaschine verwendet).

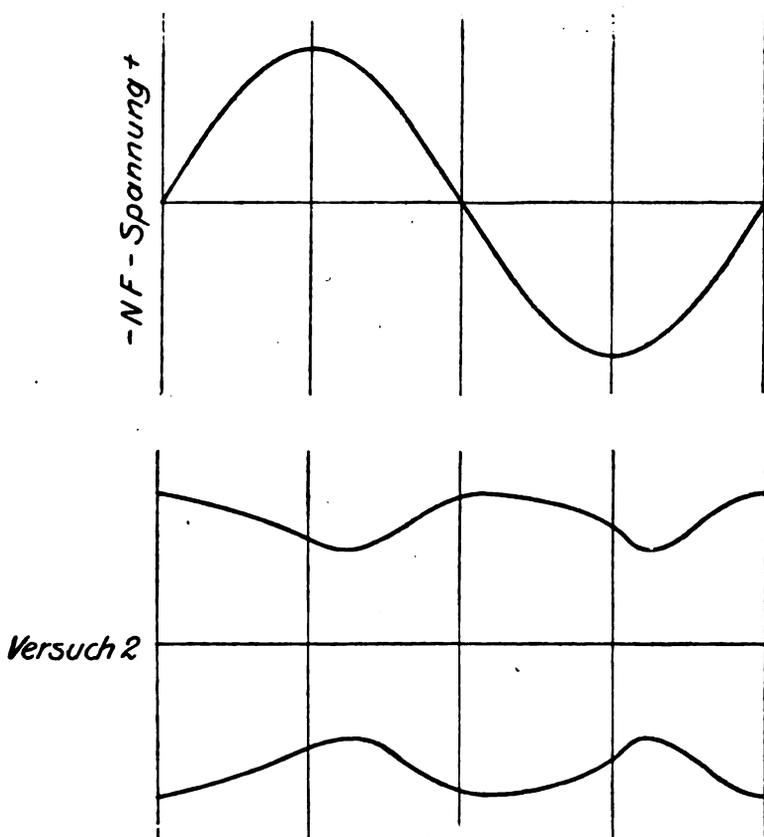


Fig. 4.

Amplitude der HF-Schwingungen durch eine der Zeit nach konstante Gitterspannung und durch die Stärke der Rückkoppelung beeinflusst wird, wurden beide geändert und jeweils die Amplitude der HF-Spannung am Kondensator C mit einem dafür eingerichteten Quadrantenelektrometer gemessen. Den Einfluß der Rückkoppelung bei der Gitterspannung Null (Ruhepunkt annähernd = Mittelpunkt der Charakteristik, vgl. Fig. 3) zeigt Fig. 5. Abszissen dieser Figur sind die Werte von M/L , worin M den wechselseitigen Induktionskoeffizienten der Spulen L und S (Fig. 2) und L die Induktivität der Spule L von Fig. 2 bedeutet. Die Ordinaten geben die HF-Amplitude in Prozenten ihres Maximalwertes bei $M/L = 0,235$.

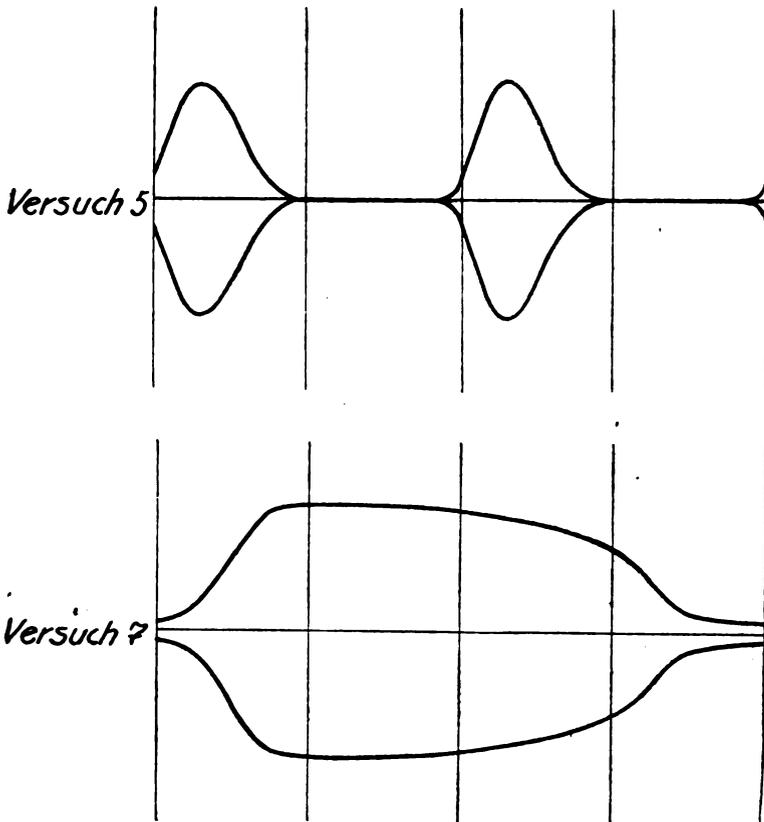


Fig. 4.

Die Fig. 6, 7 und 8 stellen die Abhängigkeit der HF-Amplitude von der Gitterspannung dar und zwar Fig. 6 bei der verhältnismäßig festen Rückkoppelung $M/L = 0,315$, Fig. 7 Kurve *a* bei einer mittleren Rückkoppelung $M/L = 0,175$ und Fig. 8 bei der verhältnismäßig losen Rückkoppelung $M/L = 0,100$. Die Kurve *b* von Fig. 7 entspricht derselben Rückkoppelung wie die Kurve *a*, aber einem um 10 % größeren Widerstand des Schwingungskreises. Weitere Versuche über den Einfluß des Widerstandes bei dieser Rückkoppelung zeigten, daß die Amplitude der HF-Schwingungen unter diesen Bedingungen ziemlich genau $\sim 1/\sqrt{R}$ wird, wenn R der gesamte Widerstand des Schwingungskreises ist. Aus den Fig. 6 und 8 folgt, daß

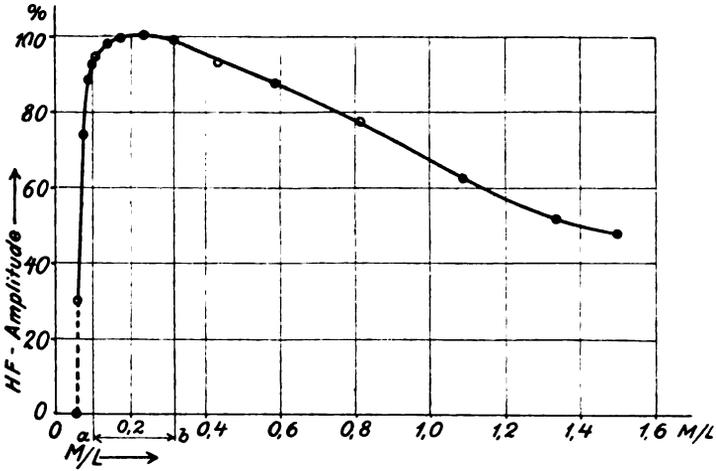


Fig. 5.

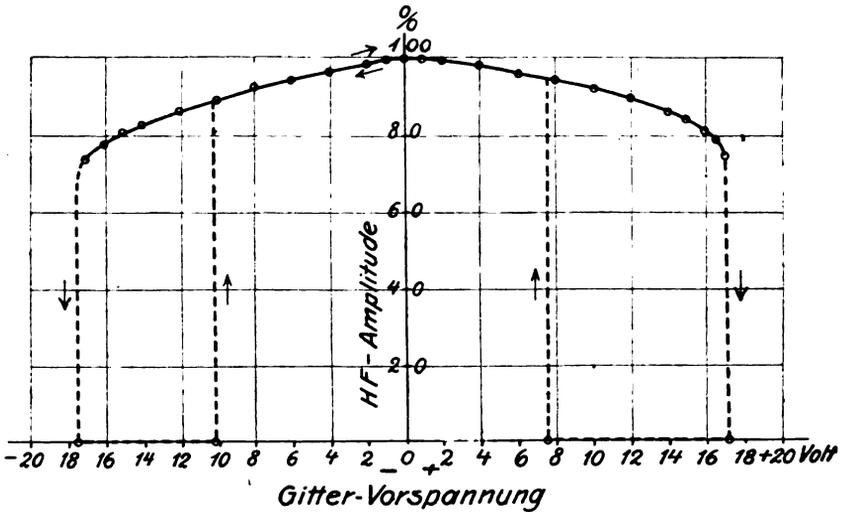


Fig. 6.

1. der Bereich, innerhalb dessen sich die HF-Amplitude ändern läßt, um so größer ist, je loser die Rückkoppelung ist,
2. bei loser Rückkoppelung zur Erzielung einer bestimmten Änderung der HF-Amplitude eine viel kleinere Gitterspannung genügt als bei fester,
3. die Gitterspannungen, bei denen die HF-Schwingungen ein- bzw. aussetzen, um so näher zusammenrücken, je loser die Rückkoppelung ist.

c) Bei den Versuchen mit NF-Wechselspannung im Gitterkreis wurde einmal die Amplitude dieser NF-Spannung und dann die kon-

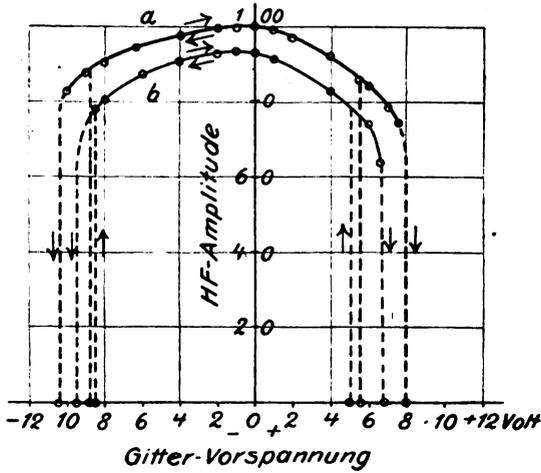


Fig. 7.

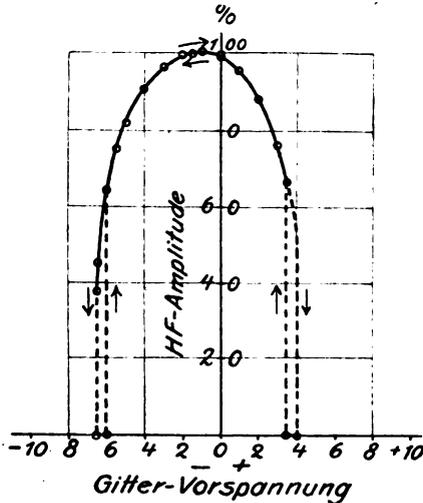


Fig. 8.

stante Gittervorspannung variiert. Um zu veranschaulichen, auf welchen Gebieten der Charakteristik bei den einzelnen Versuchen gearbeitet wurde, sind in der schematischen Figur 9 jeweils die Bereiche inner-

halb deren die NF-Gitterspannung schwankte, durch ausgezogene Linien eingetragen. Die Rückkoppelung wurde stets in dem Bereiche gehalten,¹⁾ innerhalb dessen die Amplitude der ungestörten HF-Schwingungen sich nicht oder nur sehr wenig vom maximal erreichbaren Wert unterscheidet ($a-b$ in Fig. 5).

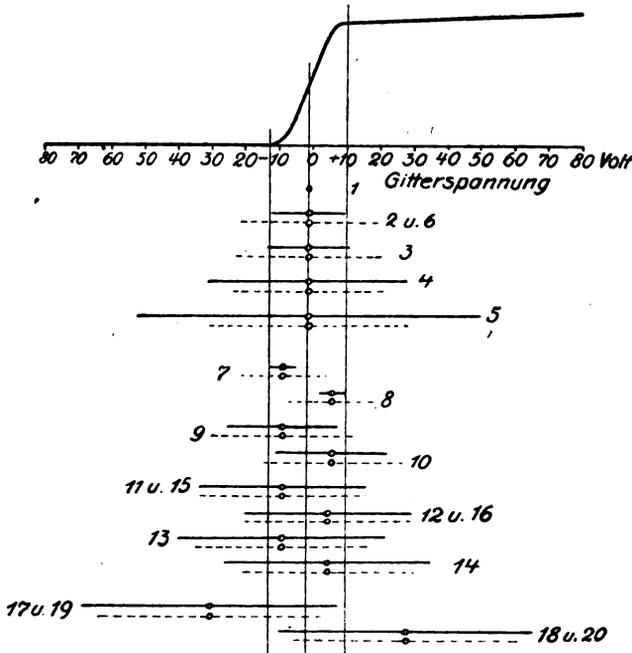


Fig 9.

Bei der ersten Gruppe von Bildern (Versuch 1—5) lag der Ruhepunkt merklich auf der Mitte der Charakteristik (vgl. Fig. 9). Dazu war eine ganz kleine Gittervorspannung von ca. $-1,2$ Volt nötig; sie wurde auf Grund des möglichst symmetrischen Aussehens der Figur eingestellt und unterschied sich nur ganz wenig von dem Wert, der eine maximale HF-Amplitude lieferte (vgl. Fig. 6—8). Die einzelnen

1) Die Werte der Rückkoppelung waren

$M/L = 0,100$	bei den Versuchen	2, 3, 6, 7, 8
$= 0,140$	" "	9, 10
$= 0,175$	" "	11, 12, 17, 18
$= 0,236$	" "	1, 4, 13, 14, 15, 16, 19, 20
$= 0,315$	" "	5.

Bilder dieser Gruppe unterscheiden sich alle nur durch die Amplitude der NF-Gitterspannung. — Das Bild von Versuch 1, bei dem die Amplitude der niederfrequenten Gitterspannung 0 war, soll nur zeigen, daß bei unserer Einstellung die unbeeinflussten HF-Schwingungen auf dem Schirm der Braunschen Röhre eine Ablenkung derselben Größe ergeben wie der NF-Strom. —

Bei Versuch 2 erstreckt sich die NF-Gitterspannung eben in die gekrümmten Teile der Charakteristik (vgl. Fig. 9, Versuch 2). An diesen Stellen zeigt die Aufnahme eine geringfügige Abnahme der Amplitude. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich bei Versuch 3 in verstärktem Maße, da hier die NF-Gitterspannung etwas weiter in den gekrümmten Teil der Charakteristik hereinragt (vgl. Fig. 9, Versuch 3).

Unter den Bedingungen der Versuche 4 und 5 geht die NF-Gitterspannung (vgl. Fig. 9) auf die merklich horizontalen Teile der Charakteristik über. An diesen Teilen setzt die HF-Schwingung allmählich aus, um erst wieder einzusetzen, wenn die NF-Gitterspannung auf den geradlinigen steilen Mittelteil der Charakteristik gelangt ist.

Bei Versuch 5 reicht die Zeit, während welcher sich die NF-Gitterspannung auf den merklich geraden Mittelteil der Charakteristik bewegt, nicht mehr aus, um die HF-Amplitude bis auf ihren ungestörten Betrag (Versuch 1) aufschaukeln zu lassen.

Um den Einfluß des Widerstandes im Schwingungskreis CL zu untersuchen, wurde dieser Widerstand um ca. 10 % erhöht. Wurden im übrigen die Bedingungen für Versuch 2 hergestellt, so erhielt man das Bild von Versuch 6. Abgesehen davon, daß bei diesem größeren Widerstand die maximale Amplitude etwas kleiner ausfällt, genügt jetzt schon die eingestellte NF-Gitterspannung, um ein Aussetzen der HF-Schwingungen herbeizuführen (vgl. dazu die beiden Kurven von Fig. 7).

d) Die besprochenen Versuche haben das Gemeinsame, daß die periodische Änderung der HF-Amplitude die doppelte Frequenz besitzt wie die aufgedrückte NF-Gitterspannung. Soll die HF-Amplitude sich in demselben Tempo ändern, wie die aufgedrückte Gitterspannung — eine selbstverständliche Forderung der drahtlosen Telephonie —, so muß der Ruhepunkt aus der Mitte der Charakteristik herausgerückt, d. h. es muß bei einer Charakteristik wie es diejenige von Fig. 3 ist, eine erhebliche Gittervorspannung verwendet werden. Mit einer solchen sind die Versuche 7—20 gemacht und zwar war bei den Versuchen mit ungeraden Nummern die Gittervorspannung negativ, bei den Versuchen mit den geraden Nummern positiv.

Bei den Versuchen 7—16 war die Gittervorspannung so gewählt daß der Ruhepunkt schon auf dem gekrümmten Teil der Charakteristik lag, aber eine Selbsterregung der HF-Schwingung noch eben zuließ (vgl. Fig. 9). Im Gegensatz dazu lag bei den Versuchen 17 bis 20 der Ruhepunkt auf einem horizontalen Teil der Charakteristik, so daß hier die HF-Schwingungen weder sich von selbst erregten, noch auch wenn sie bei einer anderen Vorspannung erregt waren, bestehen blieben.

Nach den Aufnahmen der Versuche 7 und 8 dauern die HF-Schwingungen unter den Bedingungen dieser Versuche (vgl. Fig. 9) während der ganzen NF-Periode an. Sie zeigen nur eine periodische Änderung der Amplitude. Bei den Versuchen 9 und 10, wo die NF-Gitterspannung weiter auf die horizontalen Teile der Charakteristik hinüberraagt, setzen die HF-Schwingungen während eines erheblichen Teiles der NF-Periode aus.

Wird die Amplitude der NF-Gitterspannung noch weiter gesteigert (Versuch 11 und 12), so geht dieselbe durch den steilen, nahezu geradlinigen Teil der Charakteristik auf den gegenüberliegenden horizontalen Teil über, und in diesem zeigt sich dann eine zweite Abnahme der HF-Amplitude während jeder NF-Periode. Dieser Prozeß, der bei den Versuchen 11 und 12 eben angedeutet ist, führt bei den Versuchen 13 und 14, bei denen die Amplitude der NF-Gitterspannung noch größer ist, zu einem zweimaligen Aussetzen der HF-Schwingungen während einer NF-Periode. Es bekommt also hier trotz erheblicher Gittervorspannung die periodische Änderung der HF-Amplitude wieder eine Frequenz, die doppelt so groß ist, wie diejenige der aufgedrückten NF-Gitterspannung.

Für die Bedingungen, unter denen die Versuche 17 und 18 angestellt wurden, ist wesentlich, daß die Gittervorspannung weit im horizontalen Teil der Charakteristik liegt und daß die Amplitude der NF-Gitterspannung nur eben bis an das jenseitige Ende des steilen Teiles der Charakteristik, aber nicht darüber hinaus geht. In diesem Fall werden die HF-Schwingungen nur einmal während jeder NF-Periode erregt und die Änderung der HF-Amplitude erhält die Frequenz der NF-Gitterspannung.

Um auch in diesen Fällen den Einfluß des Widerstandes im Schwingungskreis zu demonstrieren, wurden die Bilder der Versuche 15, 16 und 19, 20 aufgenommen. Dabei sind die Bedingungen der Versuche 15 bzw. 16 im übrigen dieselben wie diejenigen der Versuche 11 bzw. 12; nur war der Widerstand im Schwingungskreis

ca. 10 % höher. Die Bilder von den Versuchen 15 und 16 sind kaum verschieden von denjenigen der Versuche 13 und 14; es sei demnach auf das verwiesen, was bei der Besprechung dieser letzteren Versuche ausgeführt wurde. Die Versuche 19 und 20 unterscheiden sich von den Versuchen 17 und 18 nur dadurch, daß bei 19 und 20 der Widerstand des Schwingungskreises um ca. 50 % größer war. Die Bilder der Versuche 19 und 20 zeigen gegenüber von den entsprechenden Bildern (Versuche 17 und 18) für kleineren Widerstand im Schwingungskreis nur eine kleinere HF-Amplitude und etwas früheres Erlöschen der HF-Schwingungen.

e) Die im vorhergehenden besprochenen Bilder sind nicht bei derselben Rückkoppelung aufgenommen. Es wurde vielmehr die Rückkoppelung in jedem Falle so eingestellt, daß das betreffende Bild möglichst stabil wurde. Tatsächlich ließen sich alle Bilder in genau oder nahezu genau derselben Form bei einer einzigen mittleren Rückkoppelung erhalten. Die Amplituden der NF-Gitterspannung, die bei einer solchen mittleren Rückkoppelung und zwar $M/L = 0,175$ nötig waren, um das betreffende Bild herzustellen, sind in Fig. 9 bei jedem Versuch gestrichelt eingetragen. Ein Vergleich dieser Werte mit den in Fig. 9 durch ausgezogene Linien angegebenen, läßt erkennen, daß die Amplitude der niederfrequenten Gitterspannung, die zur Herstellung irgend eines Bildes notwendig ist, um so größer ausfällt, je stärker die Rückkoppelung ist. Beim Operieren mit verschiedenen Widerständen im Schwingungskreis zeigte sich, daß man durch Verstärkung der Rückkoppelung imstande ist, den Einfluß des Widerstandes bis zu einem gewissen Grade zu kompensieren.

f) Zum Schluß sei noch auf folgende gemeinsame Eigenschaften der reproduzierten Bilder hingewiesen:

1. Unter den Bedingungen, unter denen die Versuche gemacht wurden (vgl. insbesondere die Charakteristik von Fig. 3) verlaufen die Erscheinungen rechts und links vom Mittelpunkt der Charakteristik fast vollkommen symmetrisch.

2. In den Bildern aller Versuche sind die HF-Amplituden, die demselben Momentanwert der niederfrequenten Gitterspannung entsprechen, ganz verschieden, je nachdem die letztere im Zu- oder Abnehmen begriffen ist. Ein spezieller Fall dieser Erscheinung ist die bekannte auch durch die Fig. 6—8 illustrierte Tatsache, daß beim Elektronenrelaisgenerator (wie übrigens auch beim Lichtbogengenerator) die Bedingungen für das Einsetzen ganz andere sind, als diejenigen für das Aussetzen vorhandener Schwingungen.

Zu bemerken ist noch, daß die Form der Bilder abhängt von der Geschwindigkeit, mit welcher die HF-Gitterspannung die Charakteristik durchläuft, d. h., von der Frequenz des NF-Wechselstromes. Versuche, die wir mit 500-periodigem Wechselstrom machten, ohne im übrigen die Verhältnisse zu ändern, ergaben nichts prinzipiell Neues. Aber die dabei erhaltenen Bilder zeigten mehr oder weniger große Unterschiede in der Art, wie die HF-Amplitude ansteigt oder abfällt, und die Bilder, bei denen die HF-Schwingungen während eines verhältnismäßig großen Teiles der NF-Periode aussetzen, waren nicht oder nur unter ganz engbegrenzten Bedingungen zu erhalten.

Für die drahtlose Telephonie mit Gitterbesprechung ergibt sich aus den beschriebenen Erscheinungen, daß nur schwache Rückkopplung und ein Ruhepunkt in der Nähe eines der beiden Knäe der Charakteristik in Betracht kommen kann (vgl. Versuch 7 und 8).

Über die Verhältnisse beim Elektronenrelais-Tonsender gedenken wir in kurzem das Resultat weiterer Versuche mitzuteilen.

Physikalisches Institut der Technischen Hochschule München.
(Eingegangen am 16. 2. 1922.)

Zur Analyse von Wechselströmen mittels der Braunschen Röhre.

Von Georg Joos und Eberhard Mauz.

1. Zur Bestimmung des Stromverlaufes mittels einer Braunschen Röhre für elektrische und magnetische Ablenkung¹⁾ kann man den Fluoreszenzleck das eine Mal durch das magnetische Feld eines vom Strome durchflossenen Spulenpaares ablenken; eine weitere Ablenkung senkrecht zur ersten erreicht man durch das elektrische Feld zwischen den Platten, dessen Spannung man von den Enden einer vom Strome durchflossenen Selbstinduktionsspule (oder eines Kondensators) abnimmt.

Das insbesondere auch für Hochfrequenz verhältnismäßig leicht ausführbare Verfahren²⁾ liefert geschlossene Kurven, aus denen unseres Wissens zum erstenmal F. F. Martens³⁾ den zeitlichen Stromverlauf

1) A. Wehnelt, Ber. d. D. Phys. Ges. 1, S. 29, 1903.

2) W. König, Phys. Ztschr. 9, S. 788, 1908. S. Subkis, Jahrb. 5, S. 554, 1911. H. Yagi, Proc. of the Institute of Radio Engineers 4, S. 376, 1916.

3) F. F. Martens, Verh. d. D. Phys. Ges. 21, S. 65, 1919. F. F. Martens und G. Zickner, Jahrb. 15, S. 275, 1920.