

b) Durch Gitterwiderstand.

Eine ebenso wichtige Schaltung ist folgende (Fig. 620, W. Schäffer, Telefunken)¹⁸³⁾: Eine als Hochfrequenzverstärker wirkende Röhre II, die unmittelbar auf die Antenne $L_2 C_2$ (oder eventuell auf einen Zwischenkreis) arbeitet, wird in ihrem Gitterkreis L_{G2}, C_{G2} von einem konstanten Röhrensender, nämlich der Röhre I, dem Kreis $L_1 C_1$ und der Rückkopplungsspule L_{G1} , fremderregt. Diese Erregung ist konstant, jedoch wird der Verstärkungsgrad der Röhre II durch eine besondere dritte Röhre (III) gesteuert, indem diese Röhre als Gleichstromwiderstand

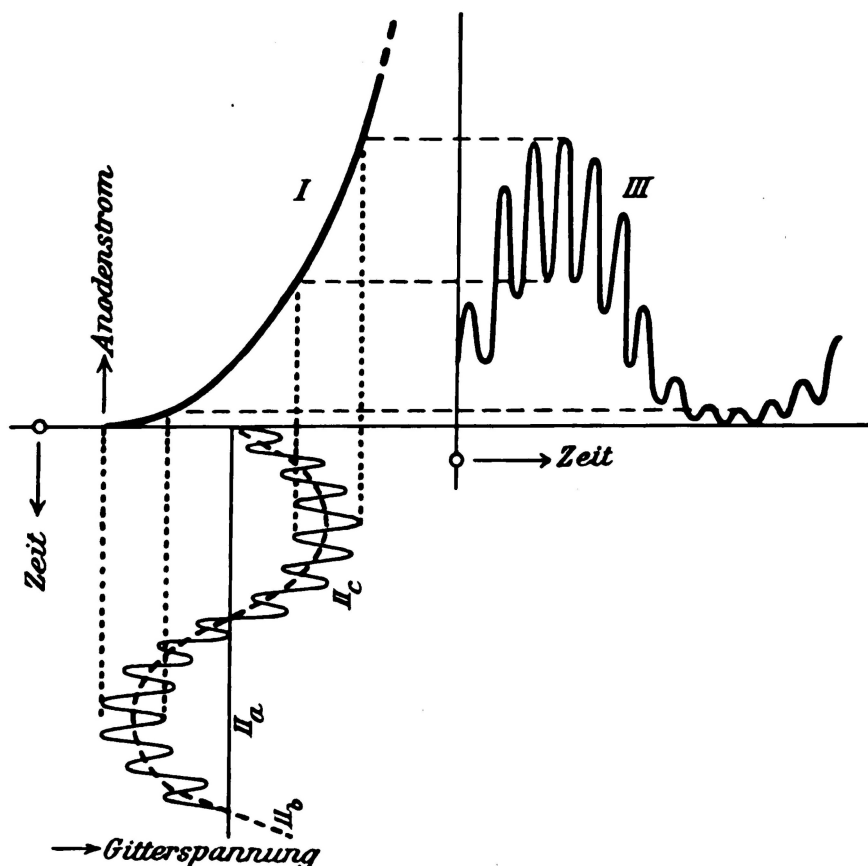


Fig. 619.

in den Gitterkreis der Röhre II gelegt ist. Der bei der Erregung in der Röhre II entstehende Gitterstrom ruft nämlich an der Röhre III einen Spannungsabfall hervor, der eine negative Gitterspannung für Röhre II bildet. Der Widerstand von III wird nun durch die auf das Gitter von III aufgebrachte Sprechspannung variiert, er wird bei positiverer Spannung kleiner, bei negativerer größer, und je größer dieser Widerstand ist, desto negativer wird die Gitterspannung von II, und desto geringerer der Verstärkungsgrad und damit die Amplitude in $L_2 C_2$.

C. Die Röhre als variabler Generator mit Amplitudenänderung.

Zu dieser Klasse gehören viele und wichtige Methoden der Röhrentelephonie, die große Verbreitung in der Praxis gefunden haben.

Das leitende Prinzip ist hier, die Amplitudenänderung, die annähernd zwischen Null und dem größten von der Röhre abgebbaren Betrage verlaufen kann*), von der rückgekoppelten Senderöhre selbst ausführen zu lassen. Um zu solchen Methoden zu gelangen, hat man sich die Fragen vorzulegen: erstens, welche Größen im Sender gestatten, die Amplitude zu ändern, und zweitens, welche von diesen

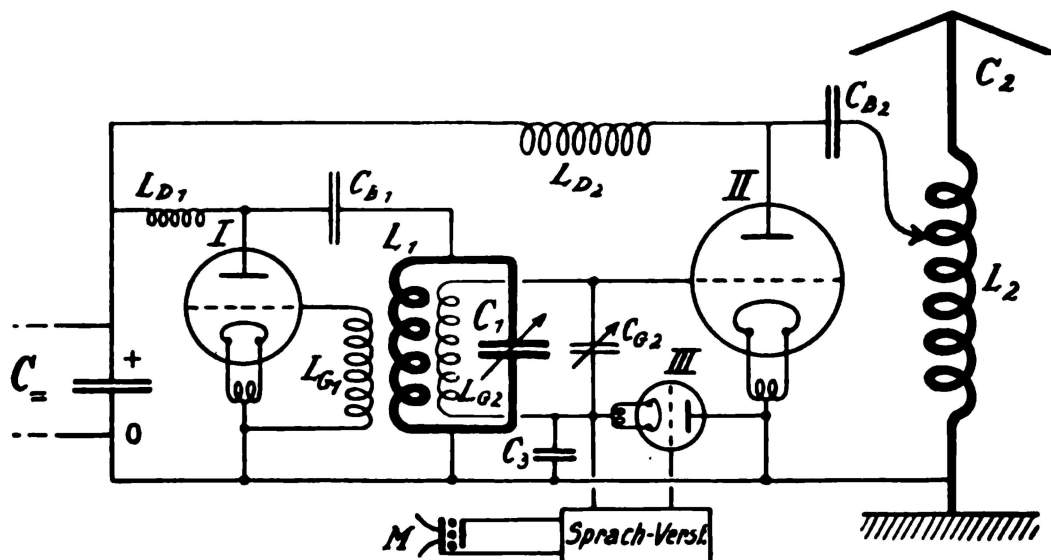


Fig. 620.

sind durch die menschliche Sprache usw. bei passenden Hilfsmitteln beeinflussbar. Größen, durch die die Amplitude der Schwingungen im Kreis bei konstant bleibender Wellenlänge geändert werden kann, sind: der Emissionsstrom der Kathode, die Anodengleichspannung, die Gittergleichspannung, die Rückkopplung, der äußere Widerstand. Erstaunlicherweise ist es auch gelungen, durch fast alle diese Größen bzw. ihre Variation Hochfrequenztelephonie zustande zu bringen, wenngleich sich manche dieser Methoden nicht als praktisch und zuver-

*) Die vollständige Aussteuerung des Telephoniesenders, die natürlich Energievorteile vor der unvollständigen hat, bringt aber bezüglich der Sprachreinheit den Nachteil stärkerer fremder Niederfrequenzen. Sh. hierüber 227 C 8. Auch die Proportionalität der Wiedergabe wird bei voller Aussteuerung geschädigt.

lässig erwiesen haben. Es ist eine wichtige Aufgabe in jeder Telephoniemethode, für eine kontinuierliche und proportionale Änderung der Amplitude mit dieser Größe bzw. dem Sprechstrom zu sorgen („Folgen“ der Schwingungen, vgl. 221 E). Der Röhrensender bietet einerseits die besten Möglichkeiten einer kontinuierlichen proportionalen Amplitudenänderung von Null bis zu voller Ausnutzung der Röhre, andererseits ist es aber hierfür notwendig, den im Gebiete der Schwingungen liegenden, stets vorhandenen Fehlstellen auszuweichen.

Die Amplitudengesetze, die diesen Fehlstellen zugrunde liegen, ließen sich rechnerisch finden, wenn nicht die mathematischen Funktionen für den Anodenstrom ($\mathcal{Q}^{\frac{3}{2}}$ -Kurve übergehend in einen Sättigungsstrom) und insbesondere den Gitterstrom schwer zu behandeln wären. Einige Resultate in dieser Hinsicht sind von E. V. Appleton und B. v. d. Pol⁴⁸³⁾ erzielt worden, indem mit algebraischen Funktionen (Potenzreihen, s. hierzu auch A. Blondel⁴⁸⁴⁾ gerechnet wurde. G. Joos⁴⁸⁵⁾ führte ferner eine umfangreichere Berechnung einiger Amplitudenkurven unter Anwendung von arctg-Funktionen aus. H. G. Möller⁴⁸⁶⁾ schlägt eine halb messende, halb graphische Methode, die Schwingkennlinienmethode, zur Aufklärung dieser Verhältnisse vor, die aus der weiter unten folgenden Fig. 627 zu ersehen ist. E. Mauz und J. Zenneck⁴⁸⁷⁾ geben experimentelle Resultate über Amplitudenänderung durch Gitterspannung und Rückkopplung an, aus denen sowohl die Vorbedingungen für brauchbare Telephoniekurven als auch das Vorkommen von Fehlstellen ersichtlich sind. H. Rukop⁴⁸⁸⁾ gibt eine experimentelle ausführliche Darstellung („Reißdiagramme“), aus der man die Einflüsse sowohl der Röhrendimensionierung als auch der Schaltungsgrößen ersehen kann.

Es kann hier nicht auf die zahlreichen Einzelheiten eingegangen werden, jedoch sollen die wichtigsten Arten von Fehlstellen genannt werden (vgl. Fig. 622).

a) Die Schwingungen springen beim Steigern der Amplitude diskontinuierlich weiter („Springen“, Kurve a).

b) Beim Herabsetzen der Amplitude fallen sie diskontinuierlich, gehen dann kontinuierlich weiter. Dieser Vorgang tritt immer mit a gemeinsam auf, hat jedoch eine Hysterese ihm gegenüber (Kurve b, „Reißen“).

c) (Ähnlich a.) Beim Steigern bleiben die kleinen Amplituden aus, erst von einem gewissen Werte treten diskontinuierlich Schwingungen auf, die kontinuierlich weitergehen (Kurve c, „Anspringen“).

d) (Ähnlich b.) Beim Herabsetzen reißen die Schwingungen auf Null ab (Kurve d, „Abreißen“). Die Vorgänge c und d treten entweder, wie es Fig. 622 c d zeigt, gemeinsam auf, indem sie eine Hysterese bilden, oder aber Vorgang c tritt mit einem vollständig kontinuierlichen Herabgehen auf (Kurve c₁).

e, f) (Ein seltener, aber besonders unangenehmer Fall.) Die Schwingungen gehen kontinuierlich hoch, reißen dann vollständig ab (Kurve e). Beim Herabgehen springen sie mit Hysterese wieder an (Kurve f).

g, h) (Ein ähnlicher Fall wie e, f.) Während des Steigerns reißen die Schwingungen ab, setzen aber nochmals ein und gehen kontinuierlich weiter (Kurve g). Beim Herabsetzen tritt dasselbe mit Hysterese ein (Kurve h).

i) Die Schwingungen folgen zwar kontinuierlich, jedoch setzen sie in einem gewissen Bereich beim Einschalten nicht ein.

k) (Nur bei Schaltungen mit Widerstand im Gitterkreise oder im Anodenspannungskreise.) Es treten Pendelungen der Amplituden auf, die ein Trillern im Ton verursachen.

l, m) (Eigentlich keine Fehlstelle, aber zu meiden.) Die Schwingungen sind zwar kontinuierlich, jedoch ist keine annähernde Proportionalität vorhanden.

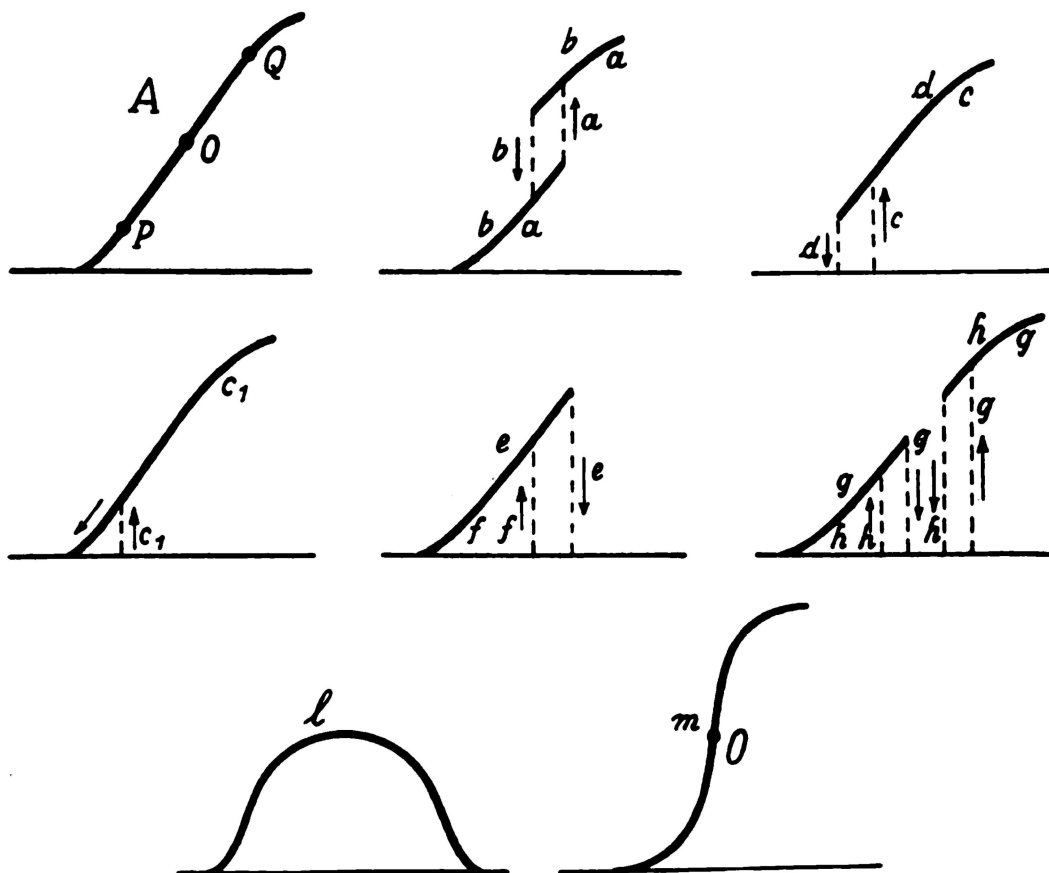
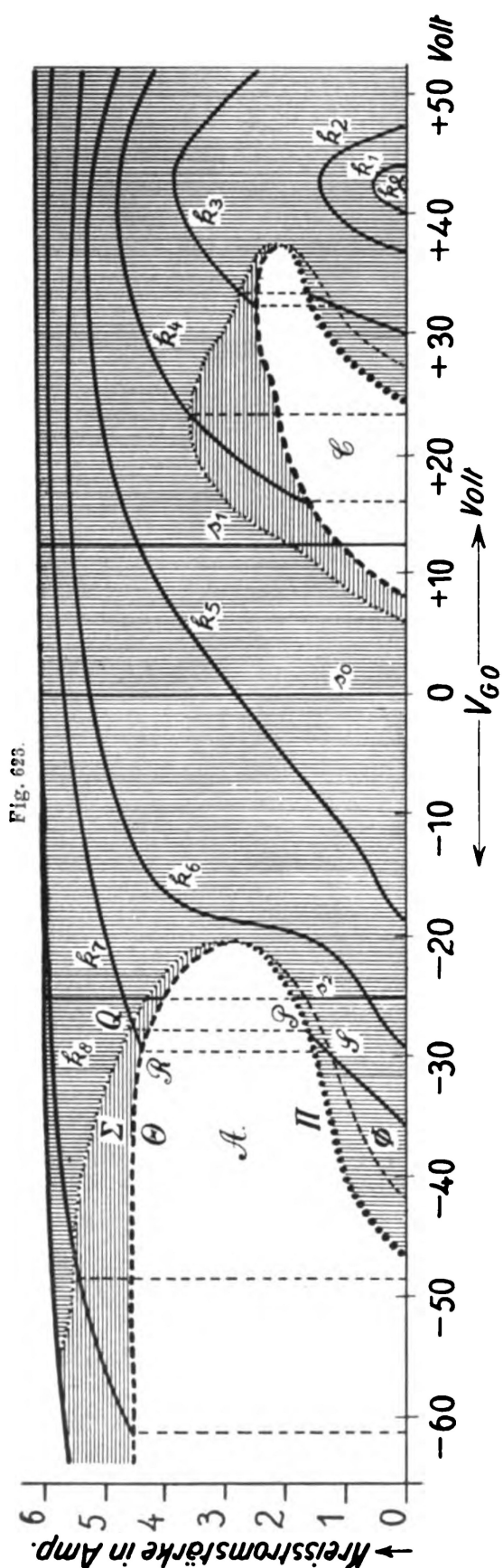


Fig. 622.

Während die Abhängigkeit wie Kurve l unbrauchbar und zu vermeiden ist, kann dagegen diejenige wie Kurve m manchmal besonders brauchbar sein (vgl. weiter unten).

Die Figuren 623 bis 626 zeigen einige typische Reißdiagramme. In allen diesen Figuren sind die Ordinaten die Kreisstromstärken, die Abszissen die Gittergleichspannungen, unter denen man sich auch veränderliche Gleichspannungen, nämlich die Sprechspannungen, vorzustellen hat. Die senkrecht schraffierten Teile bedeuten die gut folgenden (stabilen) Gebiete, die wagrecht schraffierten die des zwar Bestehenkönnens, aber Nichteinsetzens (Fehlstelle i), die schräge schraffierten die des Pendelns (Fehlstelle k), die weißen Stellen zeigen die Gebiete an, in denen Schwingungen überhaupt nicht bestehen können, wo sie also springen oder reißen (Fehlstellen a, b, c, d, e, f, g, h) oder die sie überhaupt nicht erreichen können. Die Fehlstellengebiete sind von verschieden gezeichneten



Linien begrenzt. Die punktierten Linien, z. B. die Linien II und Σ in Fig. 623 bedeuten Springstellen, und die gestrichelten Φ und Θ in Fig. 623 Reißstellen, und zwar die stärker gezeichneten stets die Anfänge, die schwächer gezeichneten die Endpunkte der betreffenden Vorgänge. An den stärkeren Linien ändern sich also die Amplituden diskontinuierlich (d. h. nur die Gleichgewichtszustände ändern sich diskontinuierlich), und auf den schwächeren Linien liegen die neuen Gleichgewichtsamplituden, nachdem die Fehlstellen übersprungen sind. Die strichpunktierten Linien (sh. Fig. 624) sind die Grenzen der Pendelgebiete. In jeder Figur sind eine Anzahl Kurven mit bestimmten Parametern zu sehen, die sich auf eine der variablen Größen beziehen und die die eigentlichen Telefonlinien sind, d. h. die Linien, auf denen sich der Arbeitszustand der Röhre bei der Telephonie bewegt.

Fig. 623 ist ein Beispiel eines sogenannten „Grunddiagrammes“. Hier sind die Rückkopplung und die Gitterspannung unabhängig variabel gedacht. Linien konstanter Gitterspannung, aber variabler Rückkopplung sind $s_0, s_1, s_2, \dots$ (sh. C4), Linien konstanter Rückkopplung, aber variabler Gitterspannung $k_0, k_1, k_2, \dots$ (sh. 227 C3 a). Man sieht, daß sich sowohl durch eine Gitterspannungsänderungsmethode eine fehlerstellenfreie Telephonie erreichen ließe, wenn man nämlich eine Telefonielinie etwa wie k_5 auswählte als auch durch eine Rückkopplungsänderungsmethode, wenn man eine Telefonielinie wie s_0 benutzte.

Fig. 624 zeigt ein Beispiel eines „Gitterwiderstandsdiagrammes“. Hier sei die Gitterspannung nicht durch eine EMK eingebracht, sondern sie entstehe an einem variablen Gitterwiderstand (227 C3 b). Die Kurven k_0, k_1, k_2, k_3 zeigen den Stromverlauf bei variablem Gitterwiderstand und je einer unveränderten

Rückkopplung (Parameter) an. Bei gewissen Werten des Parameters (der Rückkopplung) sind die k -Linien zu Telephonielinien geeignet (k_0, k_1, k_2).

In Fig. 625, die ein „Anodenspannungsdiagramm“ darstellt, sei neben der Gitterspannung (Abszisse) nur die Anodenspannung (Parameter) unabhängig

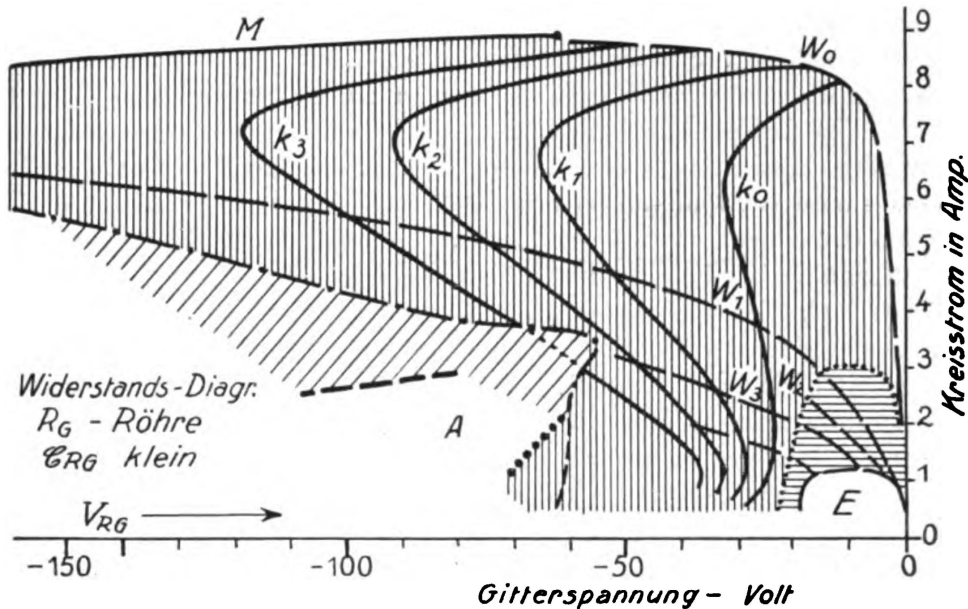


Fig. 624.

variabel (217 C 5 a). Die Linien konstanter Gitterspannung (a_0, a_1, a_2) erscheinen teils geeignet (a_2), teils ungeeignet (a_0, a_1), auch Linien mit sowohl variabler

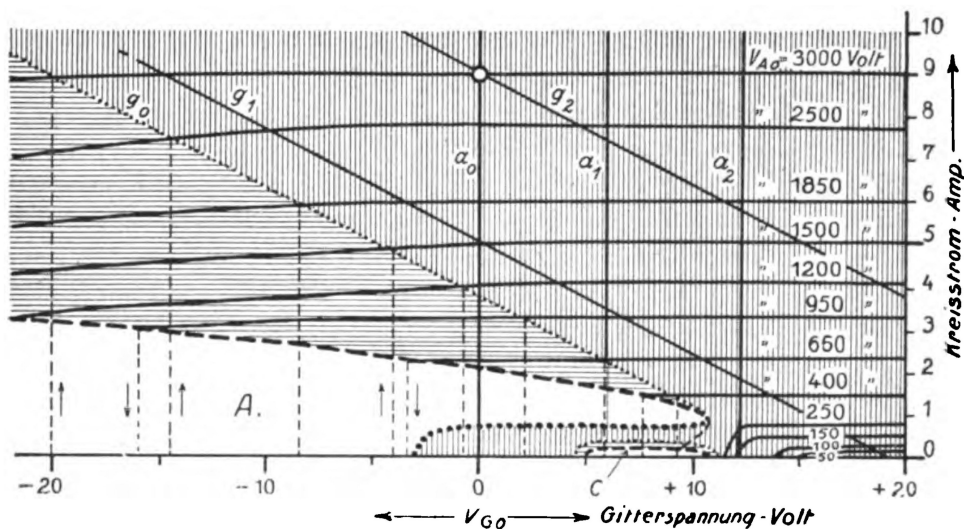


Fig. 625.

Anodenspannung als variabler Gitterspannung (g_0, g_1, g_2) erfüllen die Bedingungen (g_1, g_2).

Diese drei Reißdiagramme, Fig. 623 bis 625, sind, wie gesagt, nur Beispiele. Jede Röhrentype hat nämlich in jeder Schaltung ihr besonderes Reißdiagramm, das nicht etwa durch Zufälligkeiten. Schwankungen der Entladung oder ähnliches

veranlaßt ist, sondern lediglich durch die Charakteristikenform und die dadurch für die verschiedenen Amplituden bedingte Energielieferung. Daher sind auch bei Röhren der gleichen Type die Reißdiagramme gleich bzw. sehr ähnlich, vorausgesetzt, daß die Röhrendaten miteinander gut übereinstimmen. Für verschiedenartige Konstruktionen oder Typen gibt es aber erhebliche Unterschiede in den Reißdiagrammen. Mit Hilfe der eben beschriebenen empirischen Bestimmung ist es allerdings möglich, die Eigenschaften der Senderöhren beim Bau bzw. der Entwicklung durch Konstruktionsänderung so zu modifizieren, daß die Fehlstellen aus dem Gebiete der bequem liegenden Telephonielinien möglichst verdrängt werden. Hierzu ist es vor allem notwendig, daß der Ruhestrom der Röhre im Gitterspannungsnullpunkte bei voller Anodengleichspannung nicht unter einer bestimmten Größe liegt, etwa $J_R > 0,10 J_s$, wie bereits in 221 E gesagt ist. Allerdings muß man auch bei einer günstig dimensionierten Senderöhre auf die richtige Lage der Telephonielinien achten, d. h. man muß die Schaltungseinzelheiten so wählen, wie es sich aus den Reißdiagrammen ergibt.

Für viele Fälle von Telephoniemethoden, insbesondere solche, bei denen eine besondere Röhre, Absorptions- oder Widerstandsröhre, zur Modulation dient, ist allerdings nicht nur das Grunddiagramm der Senderöhre für die Fehlstellen maßgebend, sondern auch stark die Dimensionierung der Schaltungsgrößen. So ist z. B. das Pendeln des Senders stets auf zu große Kapazitäten parallel zu den Anodenkreis- oder Gitterkreiswiderständen zurückzuführen. Ferner läßt sich da, wo Röhren als Widerstände dienen (vgl. C 2 c, C 3 b, C 4 b, C 5 b), recht erhebliche Verbesserung der betreffenden Diagramme gegenüber dem Grunddiagramm erreichen, wenn man folgendes Prinzip anwendet: Die Widerstandsröhren sollen stets in einer solchen Stromspannungskurve arbeiten, die möglichst stark vom Ohmschen Gesetze abweicht, und zwar in dem Sinne, daß immer die Amplituden von oben her angegriffen werden, d. h. daß diese Widerstandsröhre bis zu einer gewissen Amplitude gar nicht hinderlich oder schwächend wirkt, von dieser an aber stark, und daß diese Grenze eben durch die Sprache usw. verschoben wird. Hierfür ist es notwendig, daß bei einer Schwächung durch Serienschaltung (vgl. C 3 b, C 5 b) die Gitterspannung der Widerstandsröhre stets im positiven Gebiete, bei einer Energieerziehung in Parallelschaltung (C 2 c, C 4 b) stets im negativen Gebiete verläuft. Durch Befolgung dieses Prinzips lassen sich z. B. bei einer Röhre, die ein sehr ungünstiges Grunddiagramm (Fig. 626 I) hat, wo nämlich die Fehlstellen die Linie $\mathcal{U}_{GO} = 0$ stark überdecken, recht brauchbare Widerstandsdiagramme (Fig. 626 II) erreichen, bei denen die Fehlstellen aus der Linie $\mathcal{U}_{GO} = 0$ vollständig verdrängt sind.

Die Verhältnisse des „Folgens“ oder „Nichtfolgens“ lassen sich, wie oben gesagt, auch durch die Schwingkennlinienmethode darstellen (H. G. Möller ⁴⁹⁶). Die Schwingkennlinien sind Kurven, deren Abszissen Gitterwechselspannungsamplituden, deren Ordinaten Anodenwechselstromamplituden oder auch Kreisströme, und deren Parameter je eine feste Kombination von $\mathcal{U}_{AO}$, $\mathcal{U}_{GO}$ und $\mathcal{R}$ sind. Jede Rückkopplung bildet bei dieser Darstellung eine Gerade durch den Anfangspunkt, ihre Neigung den Grad der Rückkopplung (reziprok). Der wirklich eintretende Anodenstrom bzw. Kreisstrom ist der Schnittpunkt von Rückkopplungsgerade und Schwingkennlinie, bzw. einer der Schnittpunkte, wenn es mehr gibt, und zwar nach folgendem Gang (Fig. 627):

AEBCD ist eine solche Schwingkennlinie mit den Rückkopplungsgeraden

$G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 \dots$ Sie sagt folgendes aus: Die Schwingungen steigen von loser Rückkopplung begonnen zu festerer nicht kontinuierlich an, sondern es tritt ein

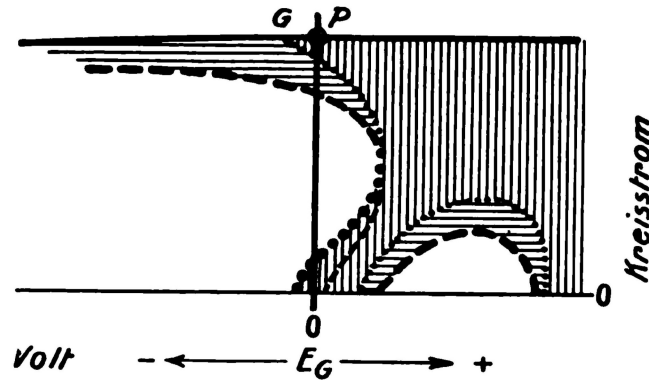


Fig. 626 I.

plötzlicher Sprung von A (Null) auf B ein. Von hier aus steigt die Amplitude kontinuierlich bis auf das Maximum C, um bei noch festerer Rückkopplung wieder

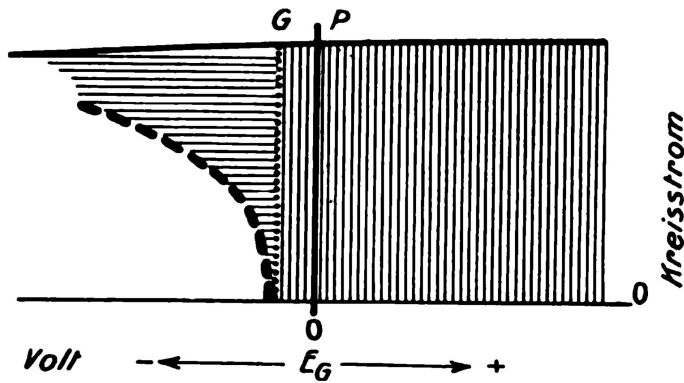


Fig. 626 II.

zu sinken (D). Bei Verkleinern der Rückkopplung gehen die Schwingungen von D wieder über das Maximum C kontinuierlich bis auf E zurück, springen dort

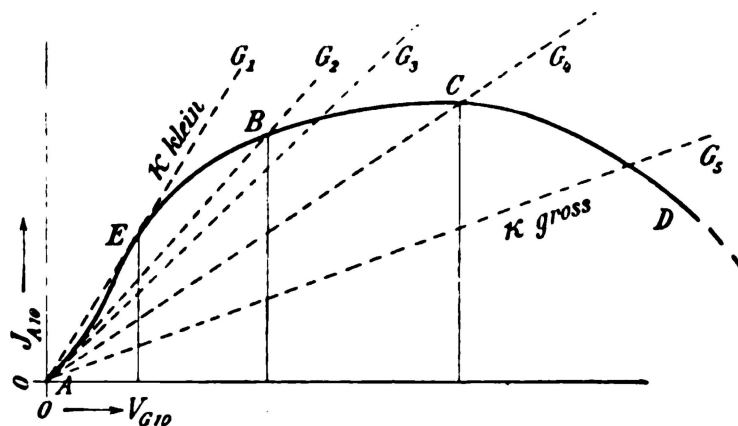


Fig. 627.

plötzlich auf Null (A) hinunter. Die Schwingkennlinie zeigt hier also einen labilen Bereich, eine Fehlstelle, an, die derjenigen in Fig. 623 (A) entspricht.

Man spricht bei der Telephonie von einem Anfangspunkte, d. h. von demjenigen Punkte, auf dem die Hochfrequenzamplitude steht, wenn nicht gesprochen wird. Bei jeder Telephoniekurve kann man diesen Ausgangspunkt nach Belieben wählen, was durch entsprechende Anfangsstellung der variablen Größen geschieht. Er könnte, wie in obiger Fig. 622 A in der Mitte der Amplitudenkurve (O) liegen, man kann ihn aber auch in den unteren Teil (P) oder den oberen (Q) legen. Äußerlich machen sich diese Fälle so geltend, daß im Falle O („von der Mitte aus sprechen“) der mittlere Hochfrequenzstrom, wie er z. B. durch ein Antennenamperemeter angezeigt wird, beim Sprechen etwa unverändert bleibt, im Falle P („von unten aus sprechen“) ansteigt, im Falle Q („von oben aus sprechen“) absinkt. Man wird leicht einsehen, daß beim „Sprechen von der Mitte aus“ die deutlichste Wiedergabe erfolgt. Jedoch wendet die Praxis auch das Sprechen von „unten aus“ an, weil erstens der Sender hierdurch die z. B. beim „Gegensprechen“ (sh. 230) erwünschte Eigenschaft bekommen kann, ohne Besprechung überhaupt nicht zu strahlen, zweitens aber auf dem Ansteigen der Hochfrequenz beim Sprechen eine Kontrollmethode für das Funktionieren bzw. die Aussteuerung des Senders aufgebaut werden kann (W. Schäffer, Ges. f. Drahtl. Telegraphie). Arbeitet man auf einer Telephonielinie wie m in Fig. 622 und nimmt man als Ausgangspunkt den Punkt O, so ist leicht zu erkennen, daß kleine Sprachamplitudenänderungen hier stärker in der Hochfrequenzamplitudenkurve wiedergegeben werden als große. Da nun in der Sprache die kleinsten Amplituden zu den höchsten Frequenzen, d. h. zu den scharfen Konsonanten und hohen Vokalen gehören, so ist ihre Bevorzugung förderlich für die Deutlichkeit der Sprache. Allerdings ist ein solches Verfahren nur für die deutliche Wiedergabe einer Sprechstimme zu gebrauchen. Für Übertragung von Musik oder anderen künstlerischen Stücken braucht man notwendig eine proportionale Wiedergabe. Wie die eben vorangegangenen Ausführungen über Fehlstellen zeigen, ist dies ja zum Teil auch eine Hochfrequenzfrage, aber zum überwiegenden Teil ist es eine Frage der Mikrophone und der Verstärker zwischen Mikrophon und Sender, also der Niederfrequenzverstärker. Hiermit eng verknüpft ist auch die Frage, ob die einzelnen Telephoniefrequenzen, die ja einen sehr breiten Bereich umfassen (wichtig sind etwa 100 bis 5000 pro Sekunde) gleich starke Hochfrequenzmodulation hervorrufen, resp. welche Tonfrequenzabhängigkeit der Sender hat. Hierüber sind in 231 weitere Ausführungen zu finden.

Es ist allerdings noch daran zu denken, daß diese Frequenzab-

hängigkeit auch mit anderen Hochfrequenzfragen zu tun hat, nämlich mit dem Dekrement des Senders für Amplitudenänderungen resp. der oft sogenannten Zeitkonstante. Der Antennenkreis braucht nämlich, insbesondere bei langen Wellen, merkliche Zeit, um eine andere Amplitude anzunehmen, was sich für schnelle Änderungen, also hohe Tonfrequenzen, natürlich stärker bemerkbar machen muß als für niedrige, also die hohen benachteiligen wird.