

(20) Eine Instabilität der Schwingungen, ein plötzlicher Sprung in der Amplitude tritt immer dann ein, wenn die mittlere Steilheit S der Kennlinie bei größerer Amplitude zunimmt oder bei kleinerer Amplitude abnimmt.

Dieser Satz gilt nur bei reiner Strombegrenzung, also besonders dann, wenn der Gitterstrom Null ist. Vgl. später unter d).

b) Reißdiagramme

Einen guten Überblick, wie sich die Amplitude der selbsterregten Schwingungen mit der Stärke der Rückkopplung je nach Lage des

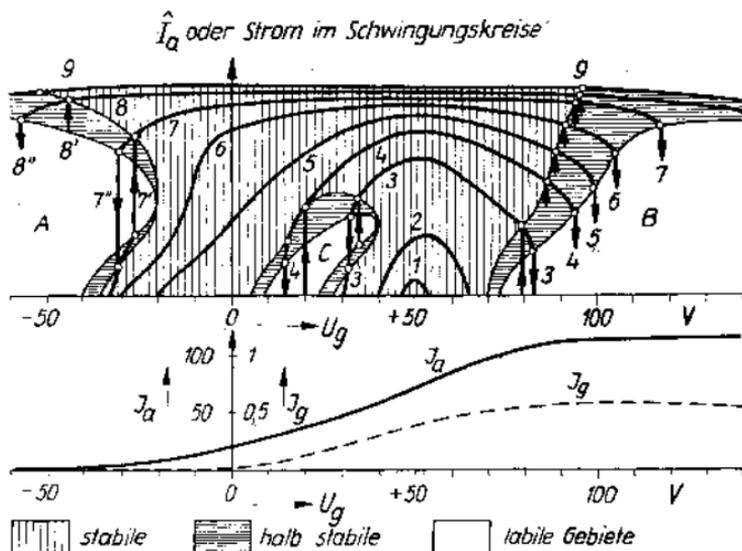


Bild 21. Reißdiagramm nach Rückkopplung. 1...9 = verschiedene Rückkopplungen

Ruhepunktes auf der Kennlinie ändert, erhält man durch die experimentelle Aufnahme eines „Reißdiagrammes“. In Bild 21 ist ein solches für eine Schaltung mit Transformatorrückkopplung und Anodenschwingungskreis, wie sie in Bild 18 dargestellt war, und eine ältere Wolframröhre mit 120 mA Sättigungsstrom dargestellt. Nach rechts ist die Gittervorspannung U_g aufgetragen, durch die der Ruhepunkt auf der Kennlinie eingestellt wird. Zur Kennzeichnung von dessen Lage ist darunter die Kurve von Anoden- und Gitterstrom eingezeichnet. In dem eigentlichen Reißdiagramm wird nach oben der Anodenwechselstrom \hat{I}_a oder auch der ihm proportionale Wechselstrom im Schwingungskreise aufgetragen, der sich bei ver-

schieden großer Rückkopplung einstellt. Die Größe der Rückkopplung ist an den dick eingezeichneten Linien konstanter Rückkopplung 1...9 zu erkennen. 1 ist die schwächste, 9 die stärkste gezeichnete Rückkopplung. Bei noch stärkerer Rückkopplung würde die Amplitude wieder abnehmen. Dieses praktisch weniger wichtige Gebiet ist nicht mit dargestellt, um das Bild nicht zu sehr zu verwirren. Man erkennt, wie die kleinste Rückkopplung 1 zur Selbsterregung nur ausreicht, wenn man angenähert an dem Punkte größter Anodenstromsteilheit arbeitet, die etwa bei $+50$ V Gittervorspannung vorhanden ist. Auch bei den stärkeren Rückkopplungen 2, 3 usw. werden die Schwingungen dort zu den höchsten Amplituden angeregt, die Rückkopplungslinien haben in der Gegend von 50 V ein Maximum. Verlegt man den Ruhepunkt durch Verkleinern oder Vergrößern der Gittervorspannung weiter auf den unteren oder oberen Teil der Kennlinie, so werden bei derselben Rückkopplung die Schwingungen schwächer, oder man muß zur Erregung gleich starker Schwingungen eine stärkere Rückkopplung aufwenden, besonders auch dazu, um die Schwingungen überhaupt anzuregen. Dabei ergeben sich drei weiß gezeichnete Gebiete A, B, C in denen die Schwingungen hart, sprunghaft ein- und aussetzen, in denen also überhaupt kein stationärer Schwingungszustand möglich ist, weil die Amplitude immer sogleich von der einen zu der anderen Begrenzung dieser Gebiete hinüberspringt. Die A- und B-Bereiche sind ohne weiteres verständlich. Hier verläuft die Kennlinie so flach, daß man eine sehr starke Rückkopplung anwenden muß, damit die Schwingungen sich selbst erregen. Weil aber bei größerer Amplitude die mittlere Steilheit größer wird, wachsen die einmal erregten Schwingungen sofort zu großer Amplitude an.

Unter -50 V oder über $+100$ V ist schließlich die Steilheit für kleine Amplituden so gering, daß sich dort auch bei stärkster Rückkopplung von selbst keine Schwingungen erregen. Dagegen können auch hier einmal zu großer Amplitude erregte Schwingungen sich noch halten. Diese halbstabilen Gebiete sind durch waagerechtes, enges Schraffieren gekennzeichnet. Bei -45 V kann man mit der starken Rückkopplung 8 gerade noch Schwingungen erregen, die dann sofort zu großer Amplitude anspringen (Punkt 8'). Die so erregten Schwingungen bleiben dann noch bestehen, wenn man im Schwingungszustande die negative Gittervorspannung auf -57 V

vergrößert (Punkt 8''). Sobald man sie noch weiter vergrößert oder die Rückkopplung verkleinert, reißen die Schwingungen sofort auf 0 ab. Bei der Rückkopplung 7 vollzieht sich der Vorgang ein wenig anders. Es erregen sich zunächst bei -42 V ganz schwache Schwingungen, die im stabilen und halbstabilen Schwingungsgebiete bei allmählicher Änderung bis -38 V allmählich anwachsen, dann aber ganz plötzlich, entsprechend der senkrechten Linie 7' auf wesentlich höhere Amplituden springen, um sich dann im stabilen Schwingungsgebiet wieder allmählich entsprechend der Kurve 7 weiter zu ändern. Geht man mit der Gittervorspannung zurück, so halten sich jetzt die starken Schwingungen noch in dem halbstabilen Gebiet bis -40 V, springen dann aber plötzlich, entsprechend der senkrechten Linie 7'' auf ganz kleine Beträge herunter, um dann in dem senkrecht schraffierten stabilen Gebiete wieder gleichmäßig zu folgen.

Ganz entsprechende Erscheinungen ergeben sich in den Gebieten B und C. Bei dem letzteren wird die Labilität nicht durch die Anoden-, sondern die Gitterstromkennlinie verursacht, die gerade an dieser Stelle ihre größte Steilheit besitzt. Daß dies wirklich zutrifft, folgt auch daraus, daß die Gebiete A und B sich bei Verschiebung der Anodenstromkennlinie infolge anderer Anodenspannung oder bei Benutzung von Röhren mit anderem Durchgriff entsprechend mit verschieben, immer am Anfang und Ende des Anstiegs des Anodenstromes liegenbleiben, während das Gebiet C sich dabei nicht mit verschiebt, sondern immer an der Stelle steilster Gitterstromkennlinie, d. h. im Gebiete schwach positiver Gittervorspannung, liegenbleibt. Wird durch eine hinreichend große Verschiebungsspannung DU_u der Sättigungsstrom schon nahezu bei der Gitterspannung $U_g = 0$ erreicht, so verschmelzen die instabilen Bereiche B und C miteinander.

Die Form der Reißdiagramme ändert sich natürlich mit der untersuchten Röhrenart und den Betriebsverhältnissen. Die durch den Gitterstrom hervorgerufenen Instabilitäten der Schwingungen, der C-Bereich, wird besonders stark und teilt sich zuweilen in mehrere Bereiche, wenn man den Widerstand \mathfrak{Z}_g des Gitterstromkreises groß macht. Umgekehrt kann der C-Bereich bei kleinem \mathfrak{Z}_g ganz verschwinden. Bei den heutigen Bariumröhren mit sehr großem Sättigungsstrom verschwindet praktisch der B-Bereich. Die Röhre würde zerstört werden, wenn man ihn durch eine entsprechend hohe positive Gitterspannung erreichen wollte.

Die Linien konstanter Rückkopplung sind die Modulationskennlinien eines Telefonesenders für den Fall, daß die Modulation durch Änderung der Gitterspannung bei derjenigen Röhre vorgenommen wird, die auch zur Selbsterregung der Hochfrequenz dient. Verzerrungsfreie Modulation verlangt einen geradlinigen Verlauf dieser Linien. Man muß daher besonders die instabilen Sprungbereiche sorgfältig vermeiden. Besser überträgt man die Funktion der Selbsterregung einer Vorröhre und moduliert dann eine spätere, fremderregte Röhre. Die Modulationskennlinien enthalten dann keine instabilen Bereiche.

e) Strombegrenzung (Mittlere Steilheit)

Wenn alle Ströme und Spannungen nur durch lineare Beziehungen miteinander verknüpft sind, läßt sich mathematisch nachweisen, daß selbsterregte Schwingungen genau nach einer Exponentialfunktion immer weiter anwachsen. (Vgl. auch § 19a.) Daraus folgt:

Jeder stationäre Schwingungszustand erfordert eine Amplitudenbegrenzung, die nur durch irgendeine Nichtlinearität hervorgerufen werden kann.

Es soll hier von Erscheinungen, wie der Eisensättigung, oder der Widerstandsänderung durch die bei größerem Strom größer werdende Temperatur, oder der Veränderung der Kapazität eines Elektrometers infolge der Änderung der Zeigerstellung u. dgl.,¹⁾ abgesehen und angenommen werden, daß alle Wechselwiderstände L, C, R der Schaltung konstant, nicht mit der Amplitude von Strom oder Spannung veränderlich sind. Dann kann die für die Amplitudenbegrenzung erforderliche Nichtlinearität nur in der Röhre liegen. Wie schon unter a) bemerkt, kann entweder der Anodenstrom oder der Gitterstrom dafür in Betracht kommen. Es sei zunächst der erstere Fall untersucht und vorausgesetzt, daß kein Gitterstrom fließe (oder daß der Gitterstrom ohne Einfluß sei).

¹⁾ Oft können schon sehr kleine derartige Änderungen von großem Einfluß sein. Verwendet man z. B. ein Elektrometer von merklicher Kapazität zur Spannungsmessung, so kann es bei geeigneten Verhältnissen vorkommen, daß sich zunächst starke Schwingungen selbst erregen, dadurch das Elektrometer stark ausschlägt und seine Kapazität vergrößert, dadurch aber die Selbsterregungsbedingungen so verändert werden, daß die Schwingungen abreißen. Der Elektrometerrausschlag geht dann zurück, damit auch die Kapazität, und die Schwingungen setzen von neuem ein. Es ist dies eine ähnliche „intermittierende Selbsterregung“, wie sie später unter e) beschrieben ist.