

# DIE TELEFUNKEN-RÖHRE

HERAUSGEGEBEN FÜR DIE TELEFUNKEN GESELLSCHAFT FÜR DRAHTLOSE  
TELEGRAPHIE m. b. H. VON PROF. DR. H. RUKOP • BERLIN • AUGUST 1941 • HEFT 21/22

## Die Ablenkendstufe des Fernseh- Gemeinschaftsempfängers E 1

Von J. E. Scheel und R. Urtel.

### Zusammenfassung.

Die Schaltung der Ablenkendstufe (Zeile) war gegeben.  
Ihre Wirkungsweise wird dargestellt und die sich daraus ergebenden Anforderungen für die Röhre ermittelt.

In einem weiteren Teil wird die Lösung der gestellten Aufgabe durch den Röhrenbau behandelt.

### A. Die gegebene Schaltung.

Unter zahlreichen sozusagen pathologischen Schwingungsformen, zu denen ein rückgekoppelter Röhrengenerator (Bild 1) fähig ist, die Friedländer in einer grundlegenden Arbeit [1] im Jahre 1926 untersuchte, findet sich auch der Fall eines sägezahnförmigen Stromverlaufes im Transformator, ohne daß damals

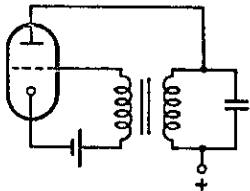


Bild 1.

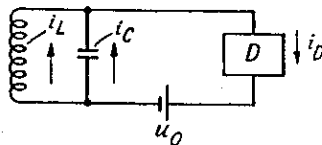


Bild 2.

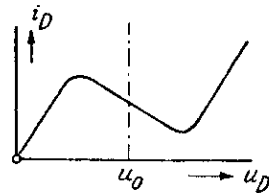


Bild 3.

Bild 1. Schaltschema einer Eingitterröhre als Schwingungserzeuger.

Bild 2. Schwingenschaltung eines Dynatrons.

Bild 3. Kennlinienverlauf eines Dynatrons.

eine technische Anwendung zur Diskussion stand. Diese war vielmehr erst gegeben mit der Aufgabe der Erzeugung solcher Stromkurven für die Zwecke der magnetischen Ablenkung des Kathodenstrahls einer Braunschen Röhre im Fernsehbetrieb. Wir finden diese Schaltung in der Fernsehliteratur im Jahre 1934 wieder, an ihrer Vervollkommnung wurde in USA. durch Farnsworth, in Deutschland durch die Fernseh G. m. b. H. gearbeitet [2]. Bei der Entwicklung des Gemeinschaftsempfängers der deutschen Fernsehindustrie E 1 wurde diese Schaltung übernommen, nachdem es gelungen war, auf Grund näherer Untersuchungen ihres Mechanismus die bisher erforderliche getrennte Synchronisieröhre [2] einzusparen [5]. Die Entwicklung einer Spezialröhre war jedoch nicht nur aus diesem Grunde, sondern auch deshalb erforderlich, weil die bisher für diesen Zweck verwendeten Röhren entweder zu teuer oder nur mangelhaft geeignet waren. Wir wollen zunächst die Wirkungsweise der Anordnung behandeln, daraus die Aufgabenstellung für die Röhre gewinnen und die Lösung dieser Aufgaben vom röhrentechnischen Standpunkt aufzeigen.

Wir erinnern uns zunächst daran, daß ein Parallelresonanzkreis bei der Zusammenschaltung mit einem Dynatron — in Bild 2 als Zweipol  $D$  angedeutet, seine Kennlinie zeigt Bild 5 — zu schwingen beginnt, wenn wir den Arbeitspunkt auf den Ast  $\frac{du}{di} < 0$  legen. Um uns den Schwingungsverlauf im einzelnen ansehen zu können, insbesondere auch den Einfluß der Nichtlinearität der Kennlinie, benutzen wir eine Darstellung in einer Strom-Spannungsebene (Zeit als Parameter), in der wir den Schwingungsverlauf durch graphische Integration [4] gewinnen.

Zur vereinfachten Rechnung und Darstellung setzen wir  $\tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}$  und  $i^* = i \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$

$$\text{In Bild 2 ist } u_L = L \frac{di_L}{dt} = \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{di_L}{d\tau} \quad u_L = \frac{di_L^*}{d\tau} = u_C$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = \sqrt{\frac{C}{L}} \frac{du_C}{d\tau} \quad i_C^* = \frac{du_C}{d\tau},$$

ferner  $u_C + u_D = u_0$ ,  $du_C = -du_D$  und  $i_L^* + i_C^* = i_D^*$ .

Daraus folgt:

$$\frac{di_L^*}{d\tau} \cdot \frac{d\tau}{du_C} = \frac{u_L}{i_C^*} = \frac{u_0 - u_D}{i_D^* - i_L^*}$$

$$\frac{di_L^*}{du_D} = - \frac{u_D - u_0}{i_L^* - i_D^*}$$

Diese Form der Schwingungsgleichung gestattet eine sehr einfache graphische Auswertung (Bild 4). Wir geben eine beliebige Anfangsbedingung  $P (u_D, i_L^*)$ .

Die Ordinatendifferenz bis zur Kennlinie  $i_D^* = f(u_D)$  — alle Strommaßstäbe sind mit  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  erweitert — entspricht dem Nenner der rechten Seite, die Abszissendifferenz bis  $u_D$  dem Zähler. Unsere Fortschrittsrichtung steht also

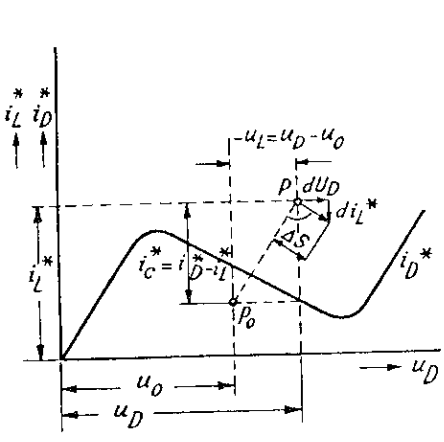


Bild 4. Graphischer Auswertungsgang der abgeleiteten Schwingungsgleichung

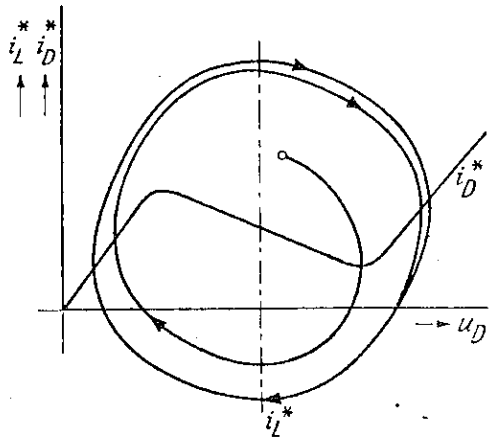


Bild 5. Der Schwingungsvorgang als Ergebnis des graphischen Integrationsverfahrens.

senkrecht auf der Diagonale  $PP_0$ . Nach Fortschreiten um ein Bogenelement  $ds$  können wir die gleiche Konstruktion wiederholen und erhalten den Schwingungsvorgang einschließlich etwaiger Einschwingvorgänge, bis wir schließlich einen geschlossenen Umlauf, den eingeschwungenen Zustand, finden (Bild 5). Daß wir die Fortschrittsrichtung im Uhrzeigersinn angenommen haben — unsere Gleichung sagt darüber nichts aus —, hat seinen Grund darin, daß wir uns für den Ablauf mit fortschreitender Zeit interessieren.

Da nun in  $P u_L < 0$  ist, muß für  $d\tau > 0$   $di_L^* < 0$  sein, der Umlauf erfolgt also mit fortschreitender Zeit im Uhrzeigersinn. Weiterhin interessiert noch, wie denn die Umlaufgeschwindigkeit  $\frac{ds}{dt}$  sich verhält. Es ist  $ds = \sqrt{(du_D)^2 + (di_L^*)^2}$

$$\text{also } \frac{ds}{d\tau} = \sqrt{\left(\frac{du_D}{d\tau}\right)^2 + \left(\frac{di_L^*}{d\tau}\right)^2} = \sqrt{u_L^2 + i_C^{*2}} = PP_0$$

d. h. die Umlaufgeschwindigkeit an jedem Bahnpoint ist proportional der Konstruktionsdiagonale  $PP_0$ , so daß wir bei der Konstruktion mühelos zeitlich äquidistante Marken auf der Bahn angeben können [4].

Können wir nun noch zeigen [3], daß sich eine rückgekoppelte Röhre als Zweipol mit einer Dynatronkennlinie auffassen läßt, so haben wir den Anschluß an unser Problem gewonnen. Wir gehen von einer Schirmgitterröhre aus, bei der wir in guter Näherung  $i_a$  und  $i_g$  als reine Funktionen von  $u_g$  ansehen können

(Bild 6a). Ersetzen wir nun den als ideal angenommenen Transformator durch seine Querinduktivität, berücksichtigen wir ferner sein Übersetzungsverhältnis durch entsprechende Wahl des  $i_a$ -Maßstabes und seine Polung durch eine mit „W“ angedeutete Phasenwende, so erhalten wir die Schaltung Bild 6b. Wir erkennen, daß wir vom Kreis aus gesehen Rückkopplung und Röhre zusammenfassen können zu einem Zweipol  $i_D = i_g - \ddot{u} \cdot i_a = f(u_g)$ , dessen Kennlinie (für  $\ddot{u} = 1$ ) sich aus Bild 6c ergibt. Dabei ist ein eventuell parallel zum Kreis liegender Verlustwiderstand zur Kennlinie der Gitterstrecke geschlagen.

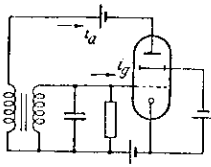


Bild 6a.

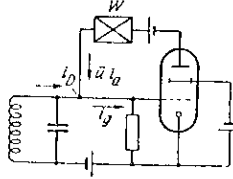


Bild 6b.

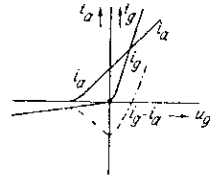


Bild 6c.

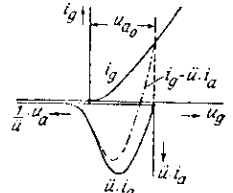


Bild 7.

Bild 6a. Schaltplan einer Schirmgitterröhre als Schwingungserzeuger.

Bild 6b. Ersatzschaltung der Schaltung Bild 6a. Röhre und Rückkopplung vom Kreis aus als Zweipol gesehen.

Bild 6c. Kennlinie des Zweipols der Schaltung Bild 6b.

Bild 7. Kennlinie des Zweipols der Schaltung Bild 6b bei Ersatz der Schirmgitterröhre durch eine Eingitterröhre.

Aber auch im Falle einer Triode können wir — z. B. durch statische Aufnahme, da ihre Berechnung einen erheblichen Aufwand erfordern würde — uns die Kennlinie  $i_g - \ddot{u} \cdot i_a$  als Funktion von  $u_g$  allein beschaffen, indem wir  $i_k$  und  $i_a$  messen und bei einer Variation von  $u_g$  um  $\Delta u$  gleichzeitig  $u_a$  um  $-\ddot{u} \cdot \Delta u$  verändern (Bild 7). Selbstverständlich gehen hier die Anfangsspannungen ( $u_{a0}$ ) ein.

Wählen wir nun ein großes  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  (Streckung des Strommaßstabes!), eine schwache Dämpfung (flacher linker positiver Ast), gute Stromübernahmeverhältnisse zwischen Anode und Gitter und einen kleinen Gitterinnenwiderstand (steiler rechter positiver Ast), so erhalten wir eine Kennlinienform, wie in Bild 8a dargestellt. Der sich einstellende Schwingungsablauf ist eingetragen und in Bild 8b und 8c einzeln der Strom- und Spannungsverlauf über der Zeit.

Der kurze Sägezahn-„rücklauf“ kommt also durch einen freien schwach positiv gedämpften Schwingungsvorgang des Kreises zustande, der langsame Sägezahn-„hinlauf“ dadurch, daß über den sehr kleinen Innenwiderstand des positiven Kennlinienastes im positiven Gitterspannungsgebiet an die Spule eine praktische konstante Spannung  $u_0$  (bestehend aus Spannungsabfall an der Gitterstrecke und Gittervorspannung) geschaltet wird, so daß wegen  $\frac{di_L}{dt} = \frac{u_L}{L}$  für  $u_D = u_L = \text{konst.}$  auch  $\frac{di_L}{dt}$  konst. wird. Die Änderung von  $u_0$  während des Hinlaufs ist unmittelbar ein Maß für den bei der Strahlablenkung auf-

tretenden Geschwindigkeitsfehler. Dieser Geschwindigkeitsfehler kann also nur durch einen kleinen Innenwiderstand klein gehalten werden. Man sieht jetzt, welchen Nutzen es hat, eine Triode im positiven Gitterstromgebiet zu verwenden, nämlich die Parallelschaltung des Innenwiderstandes der Gitterstrecke zu dem der Anodenstrecke. Letzterer ist — analog den Verhältnissen bei einer Pentode — im Gebiet kleiner Anodenspannungen infolge der Stromübernahme — hier vom positiven Steuergitter — sehr klein.

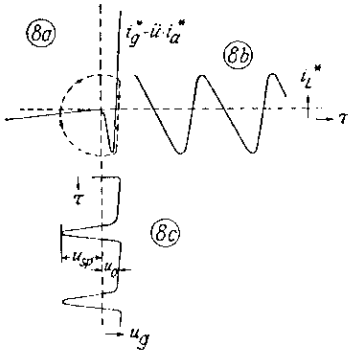


Bild 8a. Kennlinienform des Bildes 7 bei großem  $\frac{L}{C}$  schwacher Dämpfung, guten Stromübernahmeverhältnissen zwischen Anode und Gitter und kleinem Gitterinnenwiderstand.

Bild 8b. Stromverlauf des Bildes 8a, über der Zeit  $\tau$  aufgetragen.

Bild 8c. Spannungsverlauf des Bildes 8a, über der Zeit  $\tau$  aufgetragen.



Bild 9. Das Synchronisierungsproblem. Kennlinienänderung als Mittel zur Einleitung des Anschwingvorgangs.

Daß im übrigen unsere Skizze Bild 8 bei weitem nicht maßstäblich ist, geht am deutlichsten aus folgender Überlegung hervor. Im Fernsehen stehen für den Rücklauf nur etwa 10% der Periode  $T$  zur Verfügung. Läßt man die Tatsache, daß der freie Schwingungsvorgang schwach gedämpft ist, unberück-

sichtigt, so ist  $u_L$  eine reine Wechselspannung, d. h.  $\int_0^T u_L dt = 0$

$$\text{oder } \frac{2}{\pi} u_{sp} \cdot \frac{1}{10} T \sim u_0 \cdot \frac{9}{10} T, \text{ also } u_{sp} \sim 14 u_0.$$

Praktisch ergeben sich Hinlaufspannungen von etwa 100 Volt (z. B.  $L \sim 40$  m Hy, Stromhub  $\Delta i \sim 250$  mA, Dauer des Stromanstieges  $\Delta t \sim 10^{-4}$  sec,  $u_D = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ ) und demnach Rücklaufspannungen  $u_{sp}$  von 1500 Volt. Diese Werte sind bezogen auf die Gitterseite. Wie wir später sehen werden, ist stets ein  $\ddot{u} = \frac{du_a}{du_g} > 1$  erforderlich, und es treten an der Anode Spannungsspitzen von  $5-4 \cdot 10^3$  Volt auf.

Wir können uns nun dem Synchronisierungsproblem zuwenden. Bei der Benutzung eines solchen Generators für die Strahlablenkung im Fernsehen müssen die

Rückläufe zu den durch die vom Sender übertragenen Synchronisierimpulsen gegebenen Zeiten erfolgen. Den Bahnpunkt in der  $u_D, i_L^*$ -Ebene können wir durch äußere Eingriffe nicht plötzlich verlagern (Stetigkeit von Strom im  $L$  und Spannung am  $C$ ), so daß wir versuchen müssen, durch plötzliche Änderung der Kennlinie das System zum Anschwingen zu überreden. Wenn wir z. B. annehmen, daß unser Zustandspunkt in Bild 9 sich am unteren Ende des steilen Astes befindet und wir die Kennlinie in der angedeuteten Weise verändern, so muß jetzt die Rücklaufschwingung einsetzen. Die geforderte Anhebung kann nun z. B. durch plötzliche Erhöhung des Gitterstromes erfolgen [2] in einer Schaltung nach Bild 10, indem durch einen positiven Synchronisierimpuls eine zweite Röhre parallel zur Gitterstrecke der Schwingröhre geschaltet wird. (Die Anschaltung braucht keine längere Dauer zu haben, als zur Einleitung des Rückschwingvorganges nötig ist.) Es wäre nur wünschenswert, diese Hilfsröhre zu sparen, um so mehr, als auch hier eine auf Spannungssicherheit gebaute Type erforderlich wäre. Man kann nun die gewünschte Verlagerung der Kennlinie ( $i_g - \ddot{u} \cdot i_a$ ) nicht nur durch eine Erhöhung des Gitterstromes, sondern auch durch eine Erniedrigung des Anodenstromes bewirken. Allerdings darf man mit einem stromlosen zweiten Steuergitter weder in den Weg Kathode-Gitter, noch in den Weg Gitter-Anode gehen, da man dann die Erzielung kleiner Innenwiderstände verhindern würde. Man kann aber ein zweites Steuergitter und eine Hilfsanode hinter der Schwinganode anordnen (Bild 11a), so daß durch den Synchronisierimpuls eine Verteilung des ursprünglich nach Gitter 2 (Schwinganode) fließenden Stromes auf Gitter 2 und Anode erfolgt, also der Schwinganodenstrom erniedrigt wird [5]. Eine doppelte Ausnutzung des nach Anode übernommenen Stromes ergibt sich, wenn wir durch eine Kopplung diesen Strom nun wieder dem Gitter  $i$  zuführen, also mit derselben Steuerung sowohl  $i_{g2}$  (früher  $i_a$ ) erniedrigen und  $i_{g1}$  erhöhen (Bild 11b). Es hängt von den jeweiligen Betriebsbedingungen ab, ob wir — da im Synchronisiermoment  $u_g$  positiv ist — eine getrennte Anodenspannungszuführung auch noch einsparen können (Bild 11c).

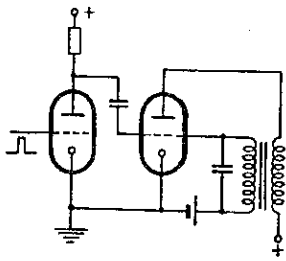


Bild 10.

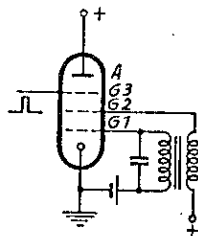


Bild 11a.

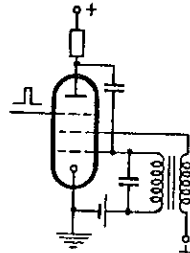


Bild 11b.

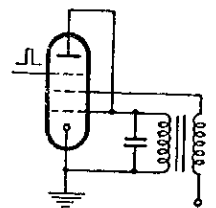


Bild 11c.

Bild 10. Kennlinienänderung nach Bild 9 mittels einer gesteuerten Zusatztriode.

Bild 11a, 11b, 11c. Kennlinienänderung nach Bild 9. Erweiterung des Elektrodensystems der Schwingröhre durch Zusatzelektroden und deren Schaltung.

### B. Die Aufgabenstellung für die Röhre.

Nachdem wir die Wirkungsweise der Schaltung — von einigen Feinheiten, wie Einfluß der Streuung des Transformators, „Zünd“verzögerung usf., abgesehen — beschrieben haben, können wir auf Grund der benötigten Kennlinienformen die röhrentechnische Aufgabe näher präzisieren.

Da für eine gegebene Form der Ablenkspule — konstante Betriebsspannung der Braunschen Röhre und konstanten Ablenkwinkel vorausgesetzt — das Produkt von Hinlaufspannung und Stromhub  $u_0 \cdot \Delta i$  konstant ist, wobei die Aufteilung auf Strom und Spannung vom  $L$ , das wir der Spule geben, abhängt, ist auch das Produkt aus Änderung der Hinlaufspannung (zulässiger Geschwindigkeitsfehler  $\Delta u$ ) und Stromhub konstant. Die Aufgabe lautet also in ihrer knappsten Formulierung dahin, daß die Kennlinie ( $i_g - \ddot{u} \cdot i_a$ ) in ihrem steilen positiven Ast (Bild 12) durch zwei Punkte  $N$  und  $M$  gehen soll, die so liegen, daß die Fläche  $(u_N - u_M) \cdot (i_N - i_M) = \Delta u \cdot \Delta i$  einen festen vor-

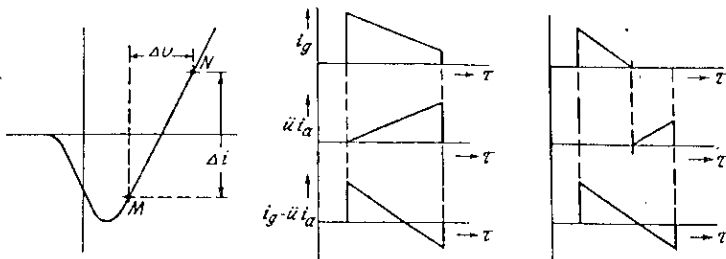


Bild 12.

Bild 15a.

Bild 15b.

Bild 12. Graphische Darstellung der Forderung  $\Delta u \Delta i = \text{const.}$

Bild 15a. Die Stromaufnahmeverhältnisse der Anordnung nach Bild 7 und 8a, und zwar  $i_g$ ,  $\ddot{u} \cdot i_a$  und  $i_g - \ddot{u} \cdot i_a$  als  $f(\tau)$ .

Bild 15b. Grenzfall der Stromaufnahme bei Erzielung des gleichen zeitlichen Verlaufs des Differenzstromes  $i_g - \ddot{u} \cdot i_a$ .

gegebenen Wert hat, mit der Einschränkung, daß wegen der Dämpfung des Rücklaufs das Verhältnis  $\frac{i_N}{i_M} = p$  sein muß, worin  $p$  das Verhältnis der Amplituden zweier aufeinanderfolgenden Halbwellen einer gedämpften

Schwingung  $p = e^{-\frac{\pi}{2} d}$  ist. Da wir nun aber in der Wahl des  $L$  aus Gründen der unvermeidlichen Kapazitäten und der zulässigen Rücklaufdauer nicht frei sind, schränken sich diese allgemeinen Angaben stark ein. (Praktische Werte etwa  $\Delta u \sim 10$  Volt,  $\Delta i \sim 250$  mA,  $p \sim 0,75$ .)

Die nächste Forderung geht dahin, die einzelnen Kennlinien  $i_a$  und  $i_g$  so auszugestalten, daß die Stromaufnahme der Anordnung ( $\overline{i_a} + \overline{i_g}$ ) möglichst klein bleibt. Man sieht aus Bild 7 und 8a, daß sich für  $i_g$  und  $\ddot{u} i_a$  etwa die in Bild 15a dargestellten Abläufe ergeben, während im Grenzfall zur Erzielung

des gleichen Stromes  $i_g - \ddot{u} i_a$  nur Stromabläufe etwa nach Bild 13b, also erheblich kleinere Mittelwerte erforderlich wären. Eine weitere, hierzu etwas im Widerspruch stehende Forderung ist die, hohe Übersetzungsverhältnisse zu vermeiden. Das zweckmäßig auf der Gitterseite des Transformators liegende  $L$  der Ablenkspule werden wir so hoch wählen, wie es die unvermeidlichen Kapazitäten gestatten. Die Hinlaufspannung erscheint als Spannungsabfall mit  $\ddot{u}$  transformiert auf der Anodenseite, so daß hohe Betriebsspannungen erforderlich werden. Weitere Forderungen beziehen sich auf das Synchronisierungssystem. Es stehen nur begrenzte Impulsspannungen (etwa 50 Volt) zur Verfügung. Mit diesem Spannungshub soll eine kräftige Änderung der Stromverteilung (z. B. 30% Anodenstromänderung) bewirkt werden. Schließlich bleiben noch die Forderungen nach Spannungssicherheit (im Rücklauf hat das erste Gitter etwa  $-1500$  Volt, das zweite etwa  $+4000$  Volt) und selbstverständlich so reichliche Dimensionierung, daß die einzelnen Elektroden auch die im Betrieb auftretenden Belastungen vertragen. Im folgenden wird nun gezeigt, wie diese Forderungen praktisch vom röhrentechnischen und fabrikationsmäßigen Standpunkt gelöst wurden.

### C. Die röhrentechnische Ausbildung der Ablenkröhre ES 111.

#### a) Systemaufbau.

Die ES 111 ist ihrem Systemaufbau nach eine Pentode mit einer indirekt geheizten ovalen Oxydkathode, drei ovalen Wickelgittern und einer ovalen Maschenanode. Das gleichachsig aufgebaute System ist vertikal in einen Glaskolben mit einem Glaspreßboden, also quetschfußlos, eingeschmolzen, wobei sämtliche Elektroden gesondert herausgeführt sind, und zwar das Gitter 1 aus Gründen der Spannungssicherheit oben durch den Glaskolben zu einer Anschlußkappe, die übrigen Elektroden durch den Glaspreßboden mit Anschluß an die Stifte des Röhrensokkels.

Der Sockel der ES 111 ist mit dem der Stahlröhrenserie identisch, doch sind die Elektrodendurchführungen im Glaspreßboden so angeordnet, daß die geforderte Spannungssicherheit ebenfalls gewährleistet ist.

Die Spannungssicherheit des Systems innerhalb des Kolbens wird durch seine Halterung und Fixierung in zwei Doppelglimmerscheiben erreicht.

Diese Doppelglimmerscheiben sind so ausgebildet, daß durch die Öffnungen je eines Glimmerblattes jeder Doppelglimmerscheibe nur die Kathode und die Stege von Gitter 2 und Anode geführt werden, während die entsprechenden Öffnungen der zugehörigen zweiten Blätter nur zur Führung der Stege von Gitter 1, Gitter 3 und Anode herangezogen werden. Die Anodenstege bilden die Aufbaustege des Systems, ihre doppelte Führung in jeder Glimmerscheibe bringt eine fertigungstechnische Sicherheit. In Verbindung mit eingestanzten Schlitzten in den Glimmerscheiben zwischen den Führungsöffnungen der Elek-



troden führt der beschriebene Aufbau zu langen Isolationswegen bei kleinen Elektrodenstegabständen und bewirkt damit die Spannungs- und fertigungs-technische Sicherheit des Systems.

b) Systemausbildung.

a) Der innere Teil des Röhrensystems.

Der innere Teil des Röhrensystems (Bild 14), bestehend aus Kathode K, Gitter 1 und Gitter 2, dient in Verbindung mit den äußeren Schaltelementen zur Erzeugung des sägezahnartigen Stromverlaufs für den Ablenkvorgang.

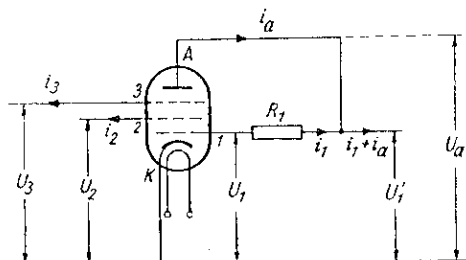


Bild 14. Bezeichnungsschema der Elektroden und der Ströme und Spannungen der ES 111.

Das Gitter 3 sei negativ mit seinem Betriebswerte vorgespannt, der Synchronisierungsimpuls sei ausgeschaltet, so daß während des Ablaufvorganges zwischen Kathode K, Gitter 1 und Gitter 2 kein Stromübergang zur Anode A stattfindet. Der interessierende Teil des Stromspannungsablaufes sei schematisch durch Bild 15 wiedergegeben.

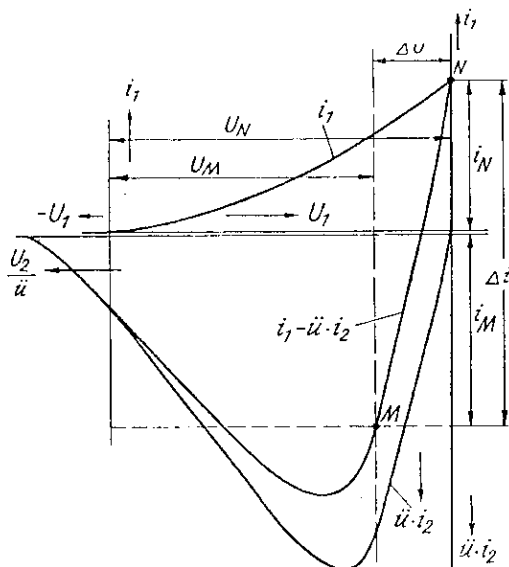


Bild 15. Schematischer Stromspannungsablauf im inneren Teil des Röhrensystems der ES 111 bei abgeschaltetem Synchronisierungsimpuls.

Von der Schaltungsseite aus, siehe Abschnitt B, interessiert in erster Linie der Verlauf der Differenzcharakteristik:  $i_1 - \ddot{u} \cdot i_2 = f(u_1)$ , im besonderen im Spannungsgebiet  $\Delta u$ . Als vorgegeben sind folgende Werte anzusehen (Bild 15):

1.  $i_N$ .
2.  $\frac{i_M}{i_N} = p$  und damit auch  $i_N + i_M = \Delta i$ , der Stromhub.
3.  $\Delta u$ , der Spannungshub. Bei vorgegebenem Geschwindigkeitsfehler ist hiermit auch die „Hinlaufspannung  $u_0$ “ (Bild 8c) mitbestimmt.

Als erwünscht gelten:

4. Hinreichend geradliniger Verlauf der Differenzcharakteristik im Spannungshub  $\Delta u$ .
5. Hinreichend kleines Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  des Transformators zwischen Gitter 1 und Gitter 2 (Bild 11a). Einerseits aus Gründen der Kapazitätstransformation, die mit  $\ddot{u}^2$  erfolgt, und andererseits, weil durch  $\ddot{u} \cdot u_0$  die anzulegende Gleichspannung an Gitter 2 mitbestimmt ist, die einen vorgeschriebenen Höchstwert nicht überschreiten soll.
6. Der Strom  $i_2$  des Gitters 2 soll bei hinreichend kleinen negativen  $u_1$ -Werten verschwinden. Durchgriffsbedingungen für Gitter 2 bezüglich Gitter 1.
7. Die Spannung  $u_N$  soll einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreiten, damit bei ebenfalls vorgegebener Hinlaufspannung  $u_0$  der Spannungsabfall  $u_{RC}$  des Gleichstromanteils von  $i_1$  über den im Gitterkreis eingeschalteten Widerstand  $R$  des  $RC$ -Gliedes (Erzeugung der Gittervorspannung im Gerät) groß genug bleibt, da  $u_0 \approx u_N + u_{RC}$ .

Dieses führt zu schaltungstechnischen Vereinfachungen am Empfänger.

Von der Röhrenseite aus interessiert belastungsmäßig in erster Linie ein kleiner Wert der Spannung  $u_N$ , damit die vom Gitter 1 während der Hinlaufzeit (weit überwiegender Anteil) aufgenommene elektrische Energie klein genug bleibt, um noch als Wärme gut abführbar bzw. abstrahlbar zu sein, ohne daß die Temperatur dieses Gitters zu sehr ansteigt und damit zur thermischen Emission dieses Gitters Veranlassung gibt. Die thermische Emission des Gitters 1, die während des „Rücklaufes“ zum Gitter 2 übergeht, dämpft den Rücklaufvorgang unter gleichzeitiger Erwärmung des Gitters 2. Ein stärkerer Temperaturanstieg am Gitter 2 wirkt rückheizend auf das Gitter 1, wodurch das Emissionsvermögen dieses Gitters weiterhin ansteigt; ein Vorgang, der schließlich in Verbindung mit eventuellen Gasausbrüchen aus den überlasteten Elektroden zu einer Zerstörung der Röhre führt.

Kleine  $u_N$  führen aber auch bei sehr guten Stromübernahmeverhältnissen zwischen den Gittern 1 und 2 zu relativ großen Übersetzungsverhältnissen  $\ddot{u}$  bzw. überhaupt zu keinen Lösungen, falls  $u_N \leq \Delta u$  wird.

Will man übergroße und damit auch teure Röhrenkonstruktionen vermeiden,

die zwar bei größeren  $u_N$ - und gerade noch tragbaren  $\ddot{u}$ -Werten die auftretenden Belastungen am Gitter 1 wärmemäßig abzuführen in der Lage wären, so ist nach einem Prinzip zu suchen, welches den Anforderungen der Schaltungsseite bei tragbaren Belastungen am Gitter 1 gerecht wird. Besonders wichtig ist dieses für Röhren mit indirekt geheizten Oxydkathoden, deren erste Gitter bei größeren Belastungen zu thermischer Emission Veranlassung geben.

Die Lösung gelingt durch das Einschalten eines Zusatzwiderstandes  $R_1$  in die Leitung des Gitters 1 nach Bild 14. Bemißt man die Röhre systemmäßig nun so, daß die Stromverteilungsverhältnisse zwischen den Gittern 1 und 2 besonders gut sind und der Stromwert  $i_N$  bei so kleinen Spannungen am Gitter 1 erreicht wird, daß die Belastbarkeit dieses Gitters wärmetechnisch zu bewältigen ist, so ergeben sich für die gleiche Röhre, bei gleichem  $\ddot{u}$ , aber in Abhängigkeit von der Größe des Widerstandes  $R_1$ , in der Leitung des Gitters 1 die Stromspannungsabläufe des Bildes 16.

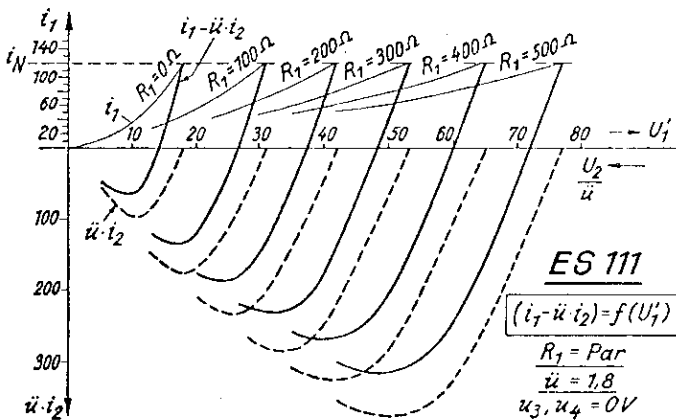


Bild 16. ES 111. Inneres Röhrensystem. Der Differenzstrom  $i_1 - \ddot{u} \cdot i_2$  als  $f(u_1)$  mit  $R_1$  als Parameter bei  $\ddot{u} = 1,8$  und  $u_3, u_4 = 0$  Volt.

Für die Schaltungsseite maßgebend ist nun nicht mehr die wahre Gitterspannung  $u_1$ , sondern die Spannung  $u_1'$  nach Bild 14, die zwischen der Kathode K und dem Endpunkt des Widerstandes  $R_1$  wirksam ist.

Die Größe von  $R_1$  wird nach oben zusätzlich begrenzt durch die unvermeidlichen Streuinduktivitäten des verwendeten Transformators. Für die Bemessung der ES 111 haben sich  $R_1$ -Werte von 200 bis 300  $\Omega$  bewährt.

Vernachlässigt man den Einfluß des Gitters 5 und der Anode A auf den Steuerspannungswert in der Mittelebene des Gitters 1, so liegen die Schnittpunkte der  $\ddot{u} \cdot i_2$ -Charakteristiken mit der negativen  $u_1$ -Achse (Bild 15) näherungsweise bei den Gitterspannungen

$$u_1 \sim - \frac{\ddot{u} \cdot D \cdot u_N}{1 - D \cdot \ddot{u}}$$

wenn mit  $u_N$  der zum Stromwert  $i_N$  bei dem betrachteten Parameterwert  $R_1$  zugehörige  $u_1'$ -Wert bezeichnet wird.  $D$  bezeichnet den Durchgriffswert des Gitters 2 durch das Gitter 1 und  $\ddot{u}$  das Übersetzungsverhältnis des verwendeten Transformators. Bei vorgegebenen  $u_N$ ,  $\ddot{u}$  und  $u_1$  muß  $D$  der angegebenen Beziehung genügen, was bei der Systembemessung zu berücksichtigen ist.

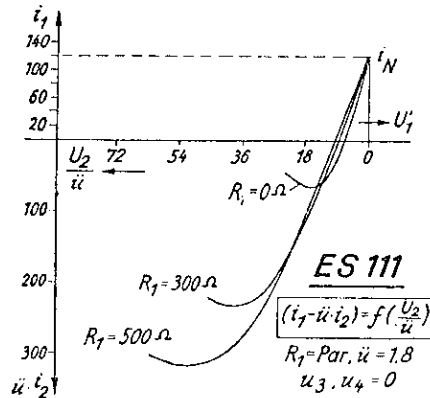


Bild 17. ES 111. Inneres Röhrensystem. Der Differenzstrom  $(i_1 - \ddot{u} \cdot i_2)$  als  $f\left(\frac{u_1'}{\ddot{u}}\right)$  für drei  $R_1$ -Werte bei  $\ddot{u} = 1,8$ . Zusammenfassung der Differenzströme in ihren  $i_N$ -Werten.

Bild 17 ist aus einer Umzeichnung des Bildes 16 entstanden. Die Differenzcharakteristiken für  $R_1 = 0, 300$  und  $500 \Omega$  sind in ihren  $I_A$ -Werten zusammengefaßt. Man übersieht in diesem Bilde deutlich die Verlängerung der Differenzcharakteristiken in Richtung der  $\ddot{u} \cdot i_2$ -Achse mit zunehmenden  $R_1$ -Werten bei gleichzeitiger Verflachung ihres Verlaufes im Spannungsgebiet  $\Delta u$ .

Die nachfolgenden Bilder 18 und 19 klären die Ursachen der Charakteristikenverläufe des Bildes 16.

In Bild 18 ist die unmittelbar am Gitter 1 der ES 111 sich einstellende Spannung  $u_1$ , in Abhängigkeit von  $u_1'$ , mit den Parameterwerten  $R_1$  des Bildes 16 aufgetragen. Die Aufnahmeverhältnisse entsprechen in allen Einzelheiten denen des Bildes 16.

Verfolgt man die Kurvenverläufe des Bildes 18 von rechts nach links, so nimmt  $u_1$  mit abnehmendem  $u_1'$  für größere  $R_1$ -Werte zunächst zu, um dann bei weiterer Abnahme von  $u_1'$  ebenfalls abzunehmen. Erst von der Gitterspannung Null abwärts zu negativen Werten ist  $u_1' = u_1$ , da  $i_1 = 0$  bleibt. Das anfänglich starke Anwachsen von  $u_1$  und damit der Steuerspannung  $u_{st}$  des inneren Röhrensystems mit abnehmendem  $u_1'$  bei größeren  $R_1$ -Werten bedingt also die Charakteristikenverläufe des Bildes 16. Dieses drückt sich auch in den Kurvenscharen des Bildes 19 aus, in denen der Kathodenstrom  $i_K = i_1 + i_2$  der Röhre über  $u_1'$  mit  $R_1$  als Parameter aufgetragen ist.

Doch sei bemerkt, daß zur Erklärung des Verlaufes der Kurvenscharen der Bilder 16, 17, 18 und 19 neben dem Einfluß von  $R_1$  ein weiterer physikalischer Vorgang mit heranzuziehen ist, und zwar die Änderung der Entladungskonstanten der Röhre mit dem Stromspannungsablauf der wiedergegebenen Kurvenscharen. Die Ursache bilden die Elektronenpendelungen im wesentlichen um das Gitter 1. Die Entladungskonstante hat ihren kleinsten Wert bei dem Stromwert  $i_N$  und dem Spannungswert  $u_N$  des Gitters 1, da  $i_2 = 0$  ist. Die Entladungskonstante steigt mit abnehmender Pendelungszahl der Elektronen um das Gitter 1, d. h. mit abnehmendem  $u_1'$  infolge Stromübernahme durch das Gitter 2.

Einen weiteren Einblick in die Stromübernahmeverhältnisse zwischen den Gittern 1 und 2 vermittelt Bild 20. Die Kurvenscharen dieses Bildes veranschaulichen die Verhältnisse an der gleichen Röhre, an der auch die Kurvenscharen der Bilder 16, 17, 18 und 19 aufgenommen wurden. Festgehalten ist in allen Fällen der gleiche Stromwert  $i_N$ , doch tritt in Bild 20 als Parameter das Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  auf, während  $R_1 = 0$  ist. Die Stromspannungsverläufe für  $R_1 = 0$  und  $\ddot{u} = 1,8$  sind in Bild 16 und 20 die gleichen, womit die Vergleichsmöglichkeit erhöht wird.

Man übersieht z. B. sofort, daß zur Erzielung des gleichen Stromwertes  $i_M$  der Differenzcharakteristik  $i_1 - \ddot{u} \cdot i_2 = f(u_1')$ , der vergleichsweise mit dem tiefsten Punkte dieser Charakteristik in Bild 16 für den Parameterwert  $R_1 = 500 \Omega$

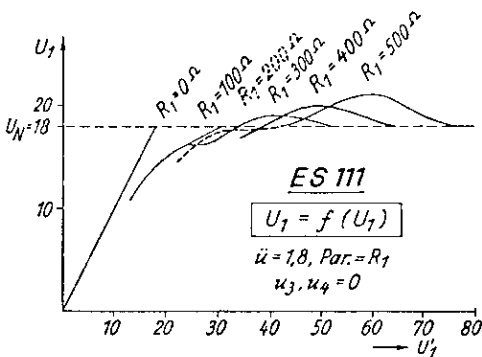


Bild 18. ES 111. Inneres Röhrensystem. Der Verlauf der Gitterspannung  $u_1$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U_1$  zwischen Kathode und Gitterwiderstand  $R_1$  mit  $\ddot{u} = 1,8$  und  $R_1$  als Parameter.

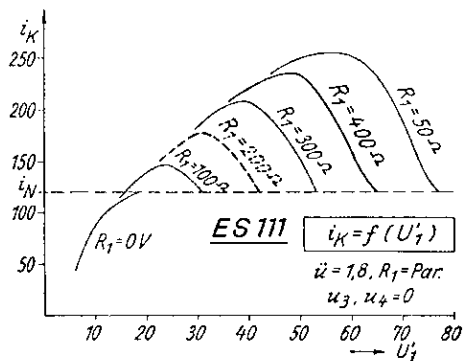


Bild 19. ES 111. Inneres Röhrensystem. Der Kathodenstrom  $i_K$  als  $f(U_1')$  mit  $\ddot{u} = 1,8$  und  $R_1$  als Parameter.

zusammenfallen möge, für die Verhältnisse des Bildes 20 ein viel größeres Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  erforderlich ist.

Dagegen ist die Flankensteilheit der Differenzcharakteristik in Bild 20 für die oben angeführten gleichen  $i_M$ -Werte steiler als die entsprechende in Bild 16 für  $R_1 = 500 \Omega$  und  $\ddot{u} = 1,8$ . Dieses ist aber eine wesentliche Erkenntnis, denn sie ermöglichte bei einer zweckmäßig getroffenen Systembemessung der ES 111

und einer entsprechenden Wahl von  $\ddot{u}$  und  $R_1$ , die von der Schaltungsseite aus gestellten Anforderungen röhrenseitig mit tragbarem Aufwand zu erfüllen. Es sei noch kurz auf einige röhrentechnische Maßnahmen hingewiesen, die die thermische Anfälligkeit der Gitter 1 und 2 bei den auftretenden Belastungen hinreichend zu unterdrücken gestattet. Gitter 1: Obgleich der größere Teil der diesem Gitter schaltungsmäßig zukommenden Last vom

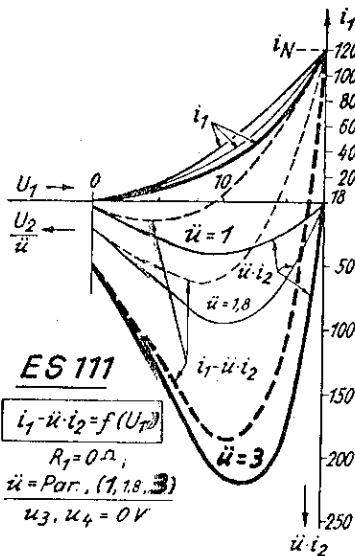


Bild 20. Inneres Röhrensystem. Die Ströme  $i_1$ ,  $\ddot{u} \cdot i_2$  und  $i_1 - \ddot{u} \cdot i_2$  als  $f(U_1)$  bei  $R_1 = 0$  und  $\ddot{u}$  als Parameter.

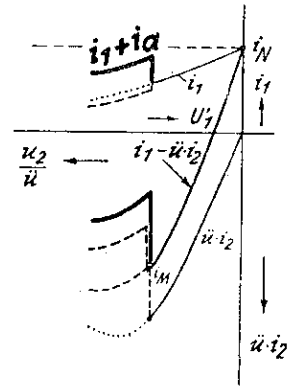


Bild 21. ES 111. Einwirkung der Ströme des äußeren Röhrensystems auf die Stromverläufe des inneren Röhrensystems beim Eintreffen des Synchronisierungsimpulses.

Widerstand  $R_1$  aufgenommen wird, besitzt dieses Gitter Flachstege von großem Querschnitt und großer Wärmeleitfähigkeit. An beiden Enden der Stege sind geschwärzte Kühlbleche angeschweißt. Die Länge der Gitterdrähte zwischen den Stegen ist verhältnismäßig kurz. Gitter 2: Die Verhältnisse liegen hier günstiger als beim Gitter 1. Die Flachstege dieses Gitters tragen daher nur an ihren oberen Enden geschwärzte Kühlbleche. Beide Gitter sind einer Sonderbehandlung zur Unterdrückung von Sekundärmissionserscheinungen unterworfen.

$\beta$ ) Der äußere Teil des Röhrensystems.

Die beiden äußeren Elektroden, und zwar das Gitter 3 und die Anode A, stellen den Synchronisierungsteil des Röhrensystems dar. Der Synchronisierungsimpuls, der dem negativ vorgespannten Gitter 3 zugeleitet wird, bewirkt im wesentlichen eine Übernahme eines vorgegebenen Teiles des Stromes des Gitters 2 durch die Anode, doch wird auch dem Gitter 1 ein kleiner Teil seines Stromes durch die geänderten Spannungsverhältnisse in der Röhre mit entzogen.

Bild 21 veranschaulicht den Vorgang beim Eintreffen des Synchronisierungsimpulses.

Die Aufnahmeverhältnisse werden durch das Schema des Bildes 14 wiedergegeben. Der Widerstand  $R_1$  betrug 300  $\Omega$ .

Der Synchronisierungsimpuls setzt in Bild 21 in dem Augenblick ein, in dem der Stromwert  $i_M$  auf Differenzcharakteristik erreicht wird.

Leitet man hierauf den Strom der Anode unmittelbar der Kathode zu, so ergibt sich der gestrichelte Verlauf der Differenzcharakteristik, wobei die Änderungen der Ströme von Gitter 1 und 2 gestrichelt mit eingezeichnet sind.

Leitet man dagegen den Strom der Anode dem Gitter 1 hinter dem Widerstand  $R_1$  (Bild 14) zu, so ergibt sich der ausgezogene, wesentlich stärker beeinflusste Verlauf der Differenzcharakteristik. Die Stromzunahme in der Leitung des Gitters 1 ist ebenfalls in Bild 21 ausgezogen mit eingezeichnet.

Die Bemessung des Synchronisierungsteils des Röhrensystems hat der Aufgabe zu genügen, bei vorgeschriebenen Spannungen an den Elektroden und vorgegebenem Synchronisierungsimpuls eine vorgegebene Änderung der Differenzcharakteristik herbeizuführen, wobei bezüglich der Kapazitäten des Gitters 3 gegen die übrigen Elektroden normale Anforderungen gestellt sind. Die Lösung dieser Aufgabe ist elementar und dürfte daher keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

### *Schrifttum.*

- [1] E. Friedländer, Arch. Elektrotechn. 16, 275; 17, 1 u. 105; 20, 150.
- [2] T. Muhlert und Bähring, F. A. G., Hausmitteilungen 1 (1959) S. 82.
- [3] T. Muhlert und Urtel, T. F. F. F. T. 28 (1959) S. 257.
- [4] R. Usui, Nippon electr. Comm. Engng. 1 (1955).

(Eingereicht im September 1959.)