

M ü l l e r : Leistung und Wirkungsgrad bei einem Einkreisklystron.

Es wird im folgenden die erzielbare optimale Nutzleistung und der dabei erreichbare Wirkungsgrad bei einem Einkreisklystron für den Fall behandelt, daß die Nutzleistung durch den erzielbaren Strahlstrom begrenzt wird.

In Fig. 1 ist schematisch ein Einkreisklystron im Schnitt gezeichnet. Der Schwingungskreis besteht im wesentlichen aus zwei axial ineinander gesteckten Rohren, deren Endflächen Gitter tragen. Steuer- und Arbeitsraum werden durch je zwei solcher Gitter begrenzt. Die Berechnungen werden unter der Voraussetzung gemacht, daß der Elektronenstrahl mit einer so hohen Geschwindigkeit in den Entladungsraum eintritt, daß in Steuer- und Arbeitsraum immer die Bedingung $\tilde{u} < u_0$ erfüllt ist. Diese Forderung läßt sich ohne Leistungsaufwand erfüllen, wenn hinter dem Schwingungskreis die Elektronen an einem Auffänger wieder so weit abgebremst werden, daß dort das langsamste Elektron gerade mit der Geschwindigkeit null ankommt. Im Kompressionsraum sollen die Elektronen durch geeignete Schaltmaßnahmen auf eine kinetische Energie $e u_k$ gebracht werden, die so gewählt wird, daß sich der gewünschte Laufzeitwinkel (die Ordnung der Schwingung) einstellt. Die hohe Eintrittsgeschwindigkeit kann durch eine Hilfsspannungsquelle, der keine Leistung entzogen wird, erreicht werden. Es werden dadurch Verhältnisse geschaffen, die mathematisch leicht zu übersehen sind (da höhere Potenzen von \tilde{u}/u_0 vernachlässigt werden können) und außerdem wird es möglich, bei kleinen Steuer- und Arbeitsraumkapazitäten relativ kleine Laufzeitwinkel zu erreichen.

Unter den gemachten Voraussetzungen ergibt sich für den im Arbeitsraum influenzierten Wechselstrom in guter Näherung

$$i = 2 i_0 \cdot a_2 \cdot F_1 \left(\frac{\tilde{u}}{2 u_k} \sigma a_1 \phi \right).$$

Als Abszisse ist der Strahlstrom in mA aufgetragen. Als linke Ordinatenleiter Verhältniszahlen im logarithmischen Maßstab, als rechte Ordinatenleiter, (die sich nur auf die gestrichelte Kurve bezieht) die Nutzleistung in Watt, ebenfalls im logarithmischen Maßstab. Betrachten wir zunächst die Kurve, die das Verhältnis der Wechselspannung am Arbeitsraum zur Kompressionsraumspannung darstellt, so sieht man, daß die Wechselspannung schon von sehr kleinen Strömen ab ihrem Grenzwert sehr nahe kommt. Dieser Grenzwert liegt bei ungefähr einem Drittel der Kompressionsraumspannung. Diese Beschränkung der Wechselspannung, die durch günstigstes Einkoppeln des Verbrauchswiderstandes erzeugt wird, bedeutet aber

- 1.) daß bei größeren Strahlströmen die erzielbare Nutzleistung unnötig klein gehalten wird und
- 2.) daß, wenn man ein Einkreisklystron mit dem Rückkopplungsverhältnis 1 und einem Laufzeitwinkel von $11/2\pi$ nur mit einer einzigen Spannung (U_k) betreibt, ohne am Auffänger wieder abzubremesen, der Wirkungsgrad der Anordnung sehr schlecht wird.

In den beiden unteren Kurven ist der Wirkungsgrad einmal mit und einmal ohne Auffänger eingezeichnet. Man sieht, daß man durch Anbringen eines Auffängers den Wirkungsgrad um einen Faktor 2 steigern kann. In der gestrichelten Kurve ist die erzielbare Nutzleistung aufgetragen.

Läßt man das Rückkopplungsverhältnis nicht fest, sondern bestimmt es so, daß man für jeden Wert des Strahlstromes die höchste erzielbare Nutzleistung bekommt, so ergeben sich die in Bild 5 wiedergegebenen Verhältnisse. Als Abszisse ist wieder der Strahlstrom aufgezeichnet, ebenso sind die Ordinatenleitern analog denen zu Fig.4. Die Kurve für ζ stellt das zu jedem Strom günstigste Rückkopplungsverhältnis dar. Das Verhältnis der Wechselspannung zur Kompressionsraumspannung zeigt ein ganz anderes Verhalten als oben. Es steigt mit wachsendem Strom über alle Grenzen. Das ist auch der Grund, warum die

langsamste Elektron mit der Geschwindigkeit null auftrifft. Den Wirkungsgrad wird man zweckmäßig als äußeren Wirkungsgrad bezeichnen, da die in einem äußeren Nutzkreis zur Verfügung stehende Hochfrequenzleistung mit der Verlustleistung verglichen wird.

Die Nutzleistung soll nun zu einem Maximum gemacht werden und zwar

- 1.) in Bezug auf den Außenwiderstand und
- 2.) in Bezug auf das Rückkopplungsverhältnis.

Da es zu weit führen würde, die sich hierbei ergebenden allgemeinen Beziehungen abzuleiten, sollen die sich einstellenden Verhältnisse an einem Beispiel veranschaulicht werden.

Wir denken uns den oben gezeichneten Schwingkreis durch ein quasistationäres Ersatzbild gekennzeichnet, wie es in Fig. 3 wiedergegeben ist. Die Kapazitäten C_{st} und C_a symbolisieren den Steuer- und Arbeitsraum. Dem oben erwähnten Verschieben des inneren Zylinders zur Veränderung des Rückkopplungsverhältnisses entspricht eine Veränderung der beiden Kapazitäten derart, daß die Gesamtkapazität konstant bleibt. Das Rückkopplungsverhältnis wird dann einfach gleich dem Verhältnis der beiden Kapazitäten, bzw. gleich dem Verhältnis der Gitterabstände. Damit ergibt sich die in der Figur angegebene Abhängigkeit des auf den Arbeitsraum transformierten Innenwiderstandes R_1 und der Laufzeitwinkel in Steuer- und Arbeitsraum $\mathcal{J}_1, \mathcal{J}_2$ vom Rückkopplungsverhältnis. Für das gerechnete Beispiel ist weiter vorausgesetzt, daß der Laufzeitwinkel im Kompressionsraum $\phi = 11\pi/2$; die Laufzeitwinkel in Steuer- und Arbeitsraum zusammen $\mathcal{J}_1 + \mathcal{J}_2 = \pi$, die Kompressionsraumspannung $U_k = 2500$ V und der über beiden Kapazitäten liegende Innenwiderstand $R_1^0 = 200\,000$ Ohm.

Mit diesen Daten ergeben sich für den Fall, daß das Rückkopplungsverhältnis festgelassen wird, in unserem Beispiele $\delta = 1$, und nur der Außenwiderstand optimal eingestellt wird, die in Fig. 4 wiedergegebenen Verhältnisse.

Dabei bedeuten:

- i_0 : Strahlstrom
- a_1 : Laufzeitfaktor Steuerraum
- a_2 : Laufzeitfaktor Arbeitsraum
- J_1 : Besselfunktion 1. Ordnung
- \mathcal{G} : Rückkopplungsverhältnis
- ϕ : Laufzeitwinkel im Kompressionsraum.

Diese Formel ist im wesentlichen die Webster'sche Formel, erweitert für endlichen Laufzeitwinkel in Steuer- und Arbeitsraum.

In Fig. 2 ist nochmals der Schwingungskreis schematisch aufgezeichnet. Der Strahlstrom i_0 tritt in den Steuer-
raum und wird dort durch die Steuer-Wechselspannung modu-
liert und influenziert im Arbeitsraum einen Wechselstrom i ,
der über den Widerstand R die am Arbeitsraum liegende
Wechselspannung hervorruft, die dann ihrerseits wieder auf
den Steuerraum zurückgekoppelt wird. Darunter ist ein Er-
satzschaltbild für den Arbeitsraum gesondert herausgezeich-
net. Der Widerstand R setzt sich zusammen aus den auf den
Arbeitsraum transformierten Innen- und Außenwiderstand.
Uns interessiert für das Folgende die im Außenwiderstand
(Verbraucher) entstehende Leistung. Sie hängt, einen fest
vorgegebenen Kreis und eine feste Kompressionsraumspannung U_k
vorausgesetzt, vom Strahlstrom i_0 , vom Rückkopplungsver-
hältnis \mathcal{G} und vom Außenwiderstand ab. (Das Rückkopplungs-
verhältnis läßt sich bei dem betrachteten System durch
axiales Verschieben des Innen-Zylinders variieren). Die
Art und Weise, wie sich der auf den Arbeitsraum transfor-
mierte Innenwiderstand und die Laufzeitwinkel in Steuer-
und Arbeitsraum bei Variation des Rückkopplungsverhält-
nisses ändern, ist vom speziellen Aufbau des Systems ab-
hängig.

Die Verlustleistung ist gegeben durch Strahlstrom i_0
mal Auffängerspannung U_a ; wobei vorausgesetzt ist, daß
die Auffängerspannung gerade so gewählt wird, daß das

erzielbare Nutzleistung wesentlich höher wird, als im Falle $\sigma = 1$. So ergibt sich z.B. bei 140 mA eine Nutzleistung von 300 Watt, also ungefähr das Siebenfache wie oben, bei einem Rückkopplungsverhältnis $\sigma = 1$. Der erzielbare Wirkungsgrad bewegt sich zwischen 20 und 25 %.

Würde man auf optimale Leistungsabgabe verzichten, so ließe sich der erzielbare Wirkungsgrad wesentlich steigern. Da aber die Nutzleistung das Primäre ist, würde der Wirkungsgrad erst dann eine vordringliche Rolle spielen, wenn die Nutzleistung begrenzt würde ^{durch} die Verlustleistung, die das System aufnehmen kann. Da aber beim Klystron im allgemeinen die Nutzleistung durch den erzielbaren Strahlstrom begrenzt wird, wird man bemüht sein, es so zu dimensionieren, daß der erreichte Strahlstrom auch vollkommen ausgenutzt wird.

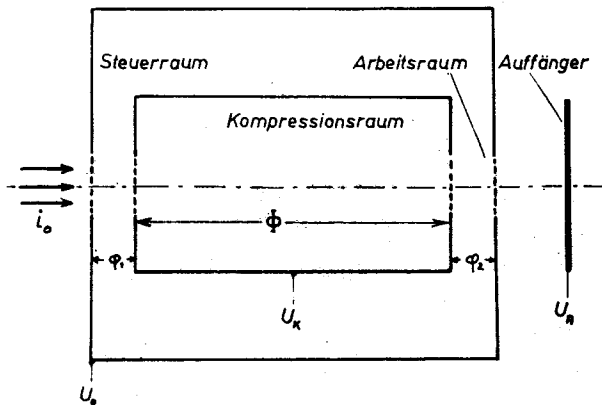
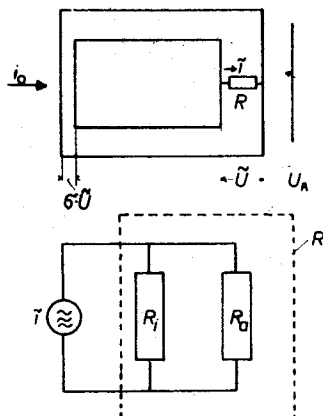


Abb. 1



$$\tilde{N} = f(i_0, \sigma, R_0)$$

$$\bar{N} = i_0 U_A$$

$$\eta = 100 \frac{\tilde{N}}{\bar{N}}$$

Abb. 2

$$\tilde{U}_s / \tilde{U}_R = d_1 / d_2 = \sigma$$

$$R_i = R_i^0 \left(\frac{1}{1 + \sigma} \right)^2$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 = \pi$$

$$\varphi_1 = \pi \frac{\sigma}{1 + \sigma}$$

$$\varphi_2 = \pi \frac{1}{1 + \sigma}$$

$$\Phi = 11\pi/2$$

$$U_k = 2500 \text{ (V)}$$

$$R_i^0 = 2 \cdot 10^5 \text{ (Ohm)}$$

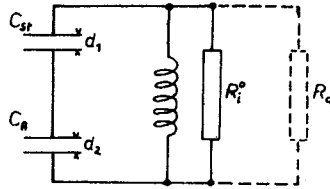


Abb. 3

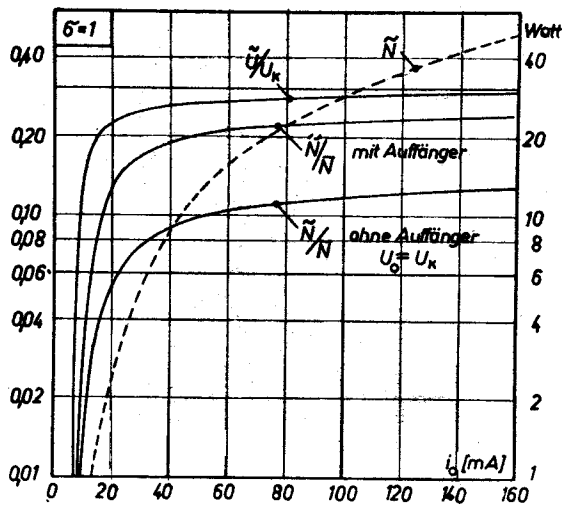


Abb. 4

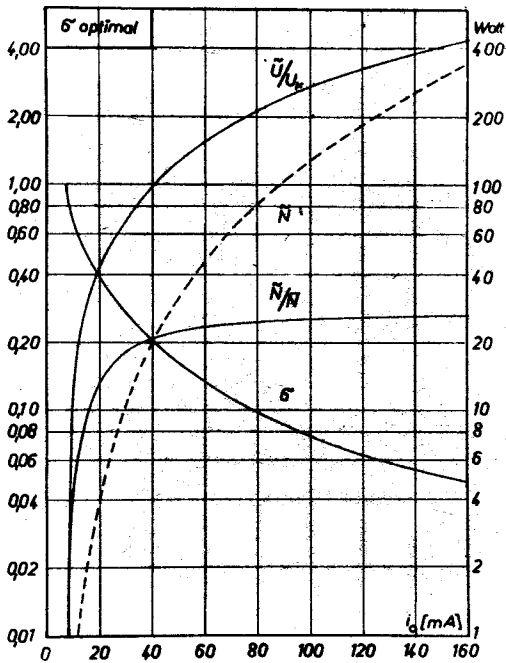


Abb. 5