

Herbert Döring

Der Heil'sche Generator, eine heute vergessene Bauform eines Klystrons

Im Folgenden soll auf eine Elektronenröhre, eine spezielle Laufzeitröhre, hingewiesen werden in der die unvermeidlichen endlichen Laufzeiten der Elektronen nutzbar für den Mechanismus der Röhre gemacht werden. Das Prinzip dieses Mikrowellengenerators wurde bereits 1935 von O. Heil und A. Arsenjewa - Heil in der Zeitschrift für Physik angegeben [1]. Dies wurde aber damals von den röhrenbauenden Ingenieuren kaum beachtet. In dieser auf praktische Ausführungen nicht eingehenden Arbeit sind bereits die drei Schritte: Geschwindigkeitssteuerung, Phasenfokussierung im Laufräum und Energieauskopplung, die für die Funktion des später von den Brüdern Varian erfundenen Klystrons wesentlich sind, enthalten. Ebenso ist hier auch das Prinzip des Betriebs einer Röhre mit abgesenkter Kollektorspannung bzw. mit gestuftem Kollektor zwecks Verbesserung des Wirkungsgrades erstmals veröffentlicht [2].

Die Wirkungsweise dieses Laufzeitgenerators soll anhand einer später von O. Heil realisierten Bauform erläutert werden. Wird der in *Bild 1* gezeigte, beiderseits kurzgeschlossene Koaxialresonator zu TEM-Schwingungen bei der niedrigsten Frequenz (Grundwelle) angeregt, so treten elektrische Feldlinien nur transversal zur Resonatorachse auf. Sie verlaufen radialsymmetrisch, wie in *Bild 1* unten dargestellt. Die maximale elektrische Feldstärke tritt in der Mitte des Resonators (eine $1/4$ Wellenlänge von den kurzgeschlossenen Enden) auf. Die hier nicht gezeichneten magnetischen Feldlinien umschließen den Innenleiter kreisförmig. Schickt man nun, wie *Bild 2* zeigt, bei dem angenommenen Schwingzustand einen Elektronenstrahl quer durch den in der Mitte durchbohrten Resonator, so erfahren die das Steuerfeld durchsetzenden Elektronen eine "Geschwindigkeitssteuerung". Je nach der Durchtrittsphase werden die Elektronen entweder beschleunigt oder verzögert. Nach dem Steuerfeld durchlaufen die Elektronen den sog. Laufräum, der vom quer durchbohrten, feldfreien Innenleiter des Resonators gebildet wird. In diesem gruppieren sich die Elektronen als Folge ihrer verschiedenen Geschwindigkeiten zu Ladungspaketen. Aus dem ursprünglich in seiner Dichte homogenen Strahl wird durch diese "Phasenfokussierung"

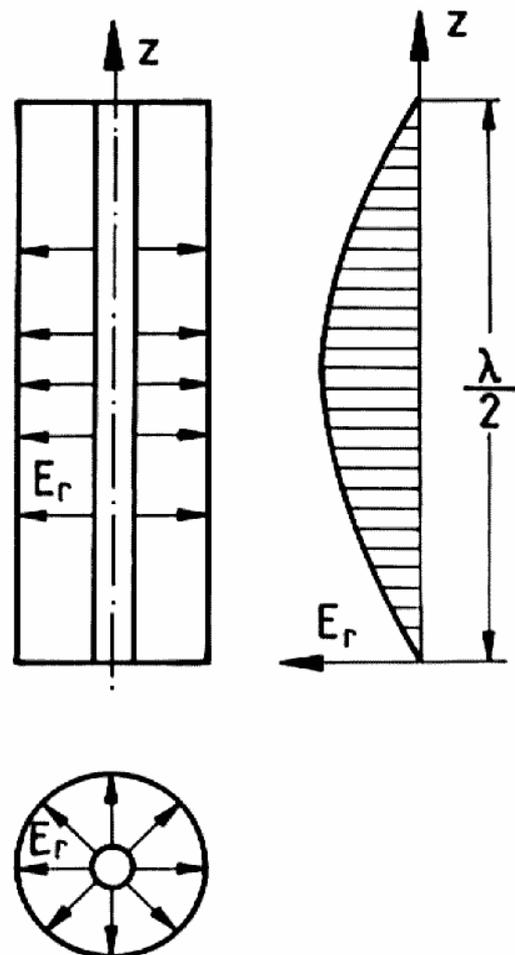


Bild 1: Elektrisches Feld in einem $\lambda/2$ langen Koaxialresonator und Verteilung des radialsymmetrischen Feldes E_r längs der Resonatorachse.

ein in seiner Dichte modulierter Strahl. Diese periodisch auftretenden Ladungspakete beeinflussen beim Durchlaufen des Auskoppelfeldes Ladungen, die zu Strömen am Innen- und Aussenleiter führen. Bei richtiger Einstellung der Elektronenlaufzeit τ durch die Röhre (oder genauer gesagt des statischen Laufwinkels $\omega\tau$)

ergibt sich eine "Mittkopplung" und bei genügend großer Strahlleistung tritt "Selbsterregung" auf. Bei diesem Schwingungstyp schwingen die beiden von den Elektronen durchlaufenen Bereiche des radialen, elektrischen Feldes gegenphasig bezogen auf die Bewegungsrichtung der Elektronen. Ein gleichphasiger Betrieb ist möglich, wenn statt der hier angenommenen TEM-Schwingung im Resonator eine TE-Schwingung auftritt.

Das Schema des ursprünglich von O. Heil in dem von F. Herriger geleiteten Senderöhrenlaboratorium der C. Lorenz AG entwickelten Generators zeigt *Bild 2*. Man erkennt die außerhalb des Resonators angebrachten Elektroden: Strahlerzeugungssystem bzw. Anode, sowie die Auskoppelschleife am oberen Leitungsende, die zum Innenleiter der Auskoppelleitung führt. Der verwendete Elektronenstrahl ist ein Flachstrahl, der durch ein Magnetfeld parallel zur Bewegungsrichtung der Elektronen geführt und zusammengehalten wird. Die Energieauskopplung aus der Röhre erfolgt am oberen Ende des Resonators durch eine Koppelschleife, die senkrecht zu den magnetischen Feldlinien orientiert ist. Die Schleife führt zum Innenleiter der Auskoppelleitung.

Bei den praktisch ausgeführten Röhren wird der Außenleiter der Auskoppelleitung kapazitiv über die Röhrglaswand angeschlossen.

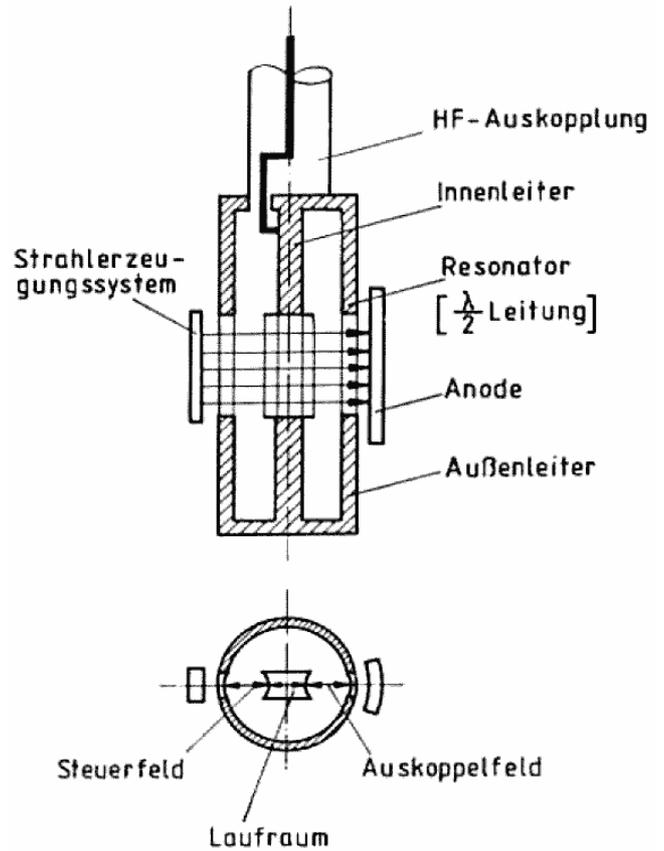


Bild 2: Schematische Ansicht des Heil'schen Generators (ohne Glaskolben)

Bild 3 zeigt derartige Röhren für Wellenlängen von 10, 11,6, 15,5 und 23 cm Wellenlänge.

