

# Eine fortschrittliche UKW-Röhre

## Die PHILIPS-Enneode EQ 80

### Siebengitterröhre für FM-Demodulation und Störbegrenzung

Für die kommende UKW-FM-Entwicklung sind jene Fortschritte von großer Bedeutung, die eine Vereinfachung des Aufbaues und der Schaltungstechnik des UKW-FM-Superhets gestatten. Wesentliche Fortschritte lassen sich mit Spezialröhren erzielen, wie sie z. B. die neue Philips-Röhre EQ 80 darstellt. Sie ermöglicht außer der FM-Demodulation eine schnellwirkende Begrenzung und eine sehr hohe Ausgangsspannung, so daß man die Endröhre unter Verzicht auf den NI-Vorverstärker direkt ansteuern kann.

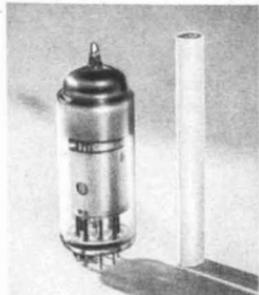


Bild 5. Außensicht der Röhre EQ 80

Eine der wichtigsten Stufen des UKW-FM-Superhets bildet die Diskriminatoranordnung, die sich hauptsächlich zweier Verfahren bedient. Bei dem ersten Prinzip wandelt man die Frequenzänderungen in Amplitudenänderungen um, die in bekannter Weise gleichgerichtet werden. Bild 1 zeigt einen frequenzmodulierten Strom  $i$  (Skizze a) und den Augenblickswert der Frequenz  $f_1$  als Funktion der Zeit  $t$  (Skizze b). Der Strom fließt durch das Netzwerk  $Z$ , dessen Impedanz  $Z$  linear von  $f_1$  abhängt. Am Netzwerk bildet sich dann die Spannung  $U$  mit Amplitudenmodulation aus (d), die eine oder mehrere Diodenstrecken (e) gleichrichten. Es entsteht die NF-Spannung  $U_d$  (f). Bei dem zweiten Verfahren führt man den Strom  $i$  (a) durch ein Netzwerk (c), das zwei Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  liefert. Zwischen beiden Spannungen besteht ein Phasenunterschied  $\varphi$ , der sich mit dem Augenblickswert der Frequenz ändert. In Bild 2 sind in der Teilschleife d die beiden Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  sowie  $\varphi$  als Funktion der Zeit wiedergegeben. Die Demodulation wird mit Hilfe einer Art Mischröhre vorgenommen, die zwei Steuergitter besitzt. Diesen Steuergittern führt man die Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  zu. Die Röhre liefert

dann eine mit der Modulationsfrequenz schwankende Spannung  $U_d$ .

#### Demodulation von Phasenunterschieden

Die neue Philips-Röhre EQ 80<sup>1)</sup> ist für das in Bild 2 gezeigte Demodulationsverfahren entwickelt worden, bei dem die Demodulation von Phasenunterschieden angewandt wird. Aus diesem Grunde bezeichnet man diesen Röhrentyp in der Literatur auch als „ $\varphi$ -Detektor“. Er enthält neun Elektroden, so daß man von einer „Enneode“ spricht. Die Röhre EQ 80 hat sieben Gitter ( $g_1$ – $g_7$ ). Die drei Schirmgitter ( $g_2$ ,  $g_3$  und  $g_6$ ) schirmen die beiden Steuergitter ( $g_4$  und  $g_5$ ) untereinander und von den anderen Elektroden ab. Sie erhalten eine konstante positive Spannung von 20 Volt. Das innerste Gitter ( $g_1$ ) weist ein gleichfalls konstantes Potential auf (z. B. Katodenpotential). Das siebente Gitter verhindert die Sekundäremission der Anode und ist mit der Katode verbunden. Die Anode liegt über einem großen Widerstand ( $R_a$  in Bild 3) an einem Punkt hoher positiver Spannung (275 Volt). Die Gitter  $g_1$  und  $g_2$  sind so konstruiert, daß die Potentiale von  $g_3$  und der weiter auswärts gelegenen Elektroden nicht bis auf die Katode durchgreifen. Wie beispielsweise bei einer Pentode ist der an den Öffnungen

von  $g_3$  austretende Elektronenstrom nur von den Spannungen an  $g_1$  und  $g_2$  abhängig. Da diese Spannungen konstant sind (0 bzw. 20 V), bleibt auch der erwähnte Strom gleich. Für die Funktion der EQ 80 sind folgende Eigenschaften der Gitter  $g_3$  und  $g_6$  von Bedeutung. Ist die Spannung an  $g_3$  negativ, so kehren die Elektronen zu  $g_3$  zurück, wobei  $g_3$  fast den ganzen Katodenstrom aufnimmt. Sobald  $g_3$  positive Werte annimmt, treten die Elektronen durch die Öffnungen von  $g_3$  hindurch und werden dann durch die an  $g_6$  herrschende Spannung beeinflusst. Wenn  $g_6$  positiv ist, erreichen die Elektronen durch die Maschen von  $g_3$ ,  $g_6$  und  $g_7$  die Anode, die eine hohe positive Spannung besitzt. Es kann also nur dann Anodenstrom fließen, wenn  $g_3$  und  $g_6$  gleichzeitig positiv sind. Der auftretende Anodenstrom ist konstant und beträgt etwa 1 mA.

Wenn wir jetzt an jedes der Steuergitter eine sinusförmige Wechsellspannung legen und  $\varphi$  der Phasenunterschied zwischen diesen beiden Spannungen darstellt, so fließt Anodenstrom, solange beide Gitter positiv sind. Dies ist in jeder Periode während eines Intervalls  $180^\circ - \varphi$  der Fall. Der Anodenstrom schwankt also blockförmig zwischen 0 und dem konstanten Wert  $I_a$  und hat einen Mittelwert von

$$I_{am} = \frac{180^\circ - \varphi}{360} \cdot I_a \quad (1)$$

der ein Maß für den Phasenunterschied  $\varphi$

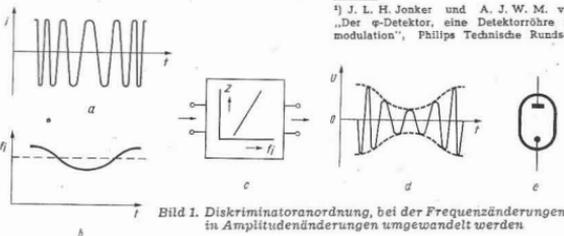


Bild 1. Diskriminatoranordnung, bei der Frequenzänderungen in Amplitudenänderungen umgewandelt werden.

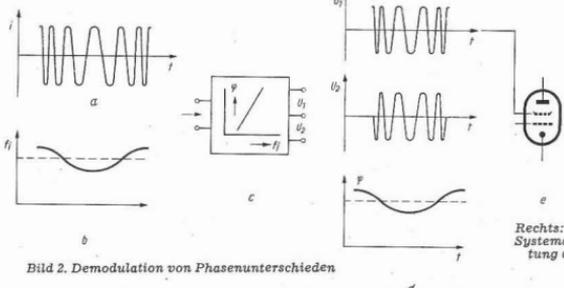


Bild 2. Demodulation von Phasenunterschieden

<sup>1)</sup> J. L. H. Jonker und A. J. W. M. van Overbeek: „Der  $\varphi$ -Detektor, eine Detektorröhre für Frequenzmodulation“, Philips Technische Rundsch., Juli 1949.

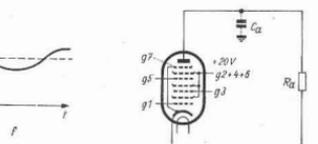
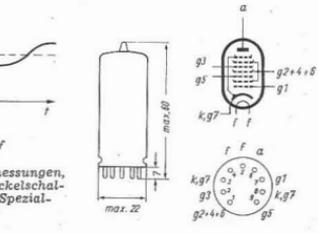


Bild 3. Zur Wirkungsweise des „ $\varphi$ -Detektors“ ( $g_1$  = Gitter auf Potential etwa gleich Null;  $g_2$ ,  $g_3$ ,  $g_6$  = Schirmgitter 20 V;  $g_4$ ,  $g_5$  = Steuergitter;  $g_7$  = Bremsgitter;  $R_a$  = Anodenwiderstand;  $C_a$  = Streukapazität der Anode)



Rechts: Bild 4. Abmessungen, Systemaufbau und Sockelschaltung der UKW-FM-Spezialröhre EQ 80

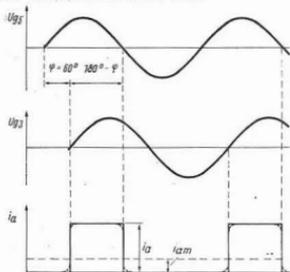


Bild 6. Phasenunterschied  $\varphi = 60^\circ$  zwischen den sinusförmigen Gitterspannungen  $U_{g3}$  und  $U_{g5}$

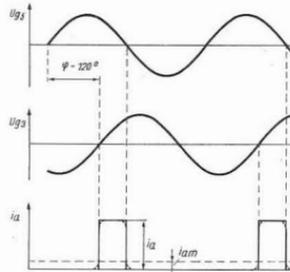


Bild 7. Phasenunterschied  $\varphi = 120^\circ$  zwischen den sinusförmigen Gitterspannungen  $U_{g3}$  und  $U_{g5}$

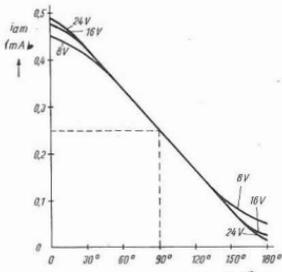


Bild 9. Mittlerer Anodenstrom  $i_{a,m}$  der Röhre EQ 80 als Funktion des Phasenunterschiedes  $\varphi$  zwischen den Wechselspannungen an  $g_3$  und  $g_5$  für  $U_{g3} = U_{g5}$  bei 8, 16 bzw. 24 V

darstellt. Die beschriebenen Vorgänge sind für einen Phasenunterschied von  $\varphi = 90^\circ$  in Bild 8 dargestellt. Mit zunehmendem Phasenunterschied wird der Zeitraum, innerhalb dessen Anodenstrom auftritt, kleiner und der mittlere Anodenstrom geringer. Aus (1) ist ferner ersichtlich, daß eine Begrenzerwirkung auftritt. Der Anodenstrom  $i_a$  ist konstant und unabhängig von der Größe der Wechselspannungen an  $g_3$  und  $g_5$ .

**Schaltung der EQ 80 für FM-Demodulation**

Eine für die Röhre EQ 80 empfehlenswerte Schaltung ist in Bild 8 wiedergegeben. Das zum ZF-verstärker gehörende Bauelement, in dem die erste Phase des Demodulationsvorganges, die Umwandlung der Frequenzänderungen in  $\varphi$ -Änderungen stattfindet, besteht aus zwei miteinander gekoppelten Abstimmkreisen, von denen jeder mit einem Steuergerät (z.B.  $g_2$ ) der Röhre EQ 80 Verbindung hat. Die Größe des Phasenunterschiedes  $\varphi$  zwischen den Spannungen über den beiden Kreisen hängt von dem Augenblickswert  $f_i$  der ZF ab. Ist bei nicht moduliertem Sender die Frequenzabweichung  $\Delta f_i$  Null, dann beträgt der Phasenunterschied  $90^\circ$ . Bei Modulation des Senders ändert sich  $f_i$  und variiert  $\varphi$  um den Wert  $90^\circ$ . Bei der beschriebenen Bandfilteranordnung mit zwei Kreisen treten gewisse Verzerrungen als Folge der Nichtlinearität der  $\varphi$ -Kurve auf. Man kann sie ausreichend klein halten, indem man den zweiten Bandfilterkreis in geeigneter Weise dämpft. Es ergibt sich so eine gute Linearität zwischen  $\Delta f_i$  und  $\varphi$ . Eine weitere Verringerung der Verzerrungen ist durch Anwendung eines Dreikreis-Bandfilters möglich. Die Umwandlung der  $\varphi$ -Änderungen in proportionale Stromänderungen geht aus Bild 9 hervor, das einige Kennlinien zeigt. Hier ist der mittlere Anodenstrom  $i_{a,m}$  als Funktion des Phasenunterschiedes  $\varphi$  für einige Wechselspannungswerte am dritten und fünften Gitter für  $U_{g3} = U_{g5}$  bei 8, 16 und 24 V (Effektivwert) aufgetragen. Man erkennt, daß zwischen

$\varphi = 50^\circ$  und  $130^\circ$  der Zusammenhang zwischen  $i_{a,m}$  und  $\varphi$  praktisch linear ist. Die Neigung in diesem Gebiet beträgt  $2,8 \mu A$  je Grad Phasenunterschied. Variiert  $\varphi$  zwischen  $60$  und  $120^\circ$  - Grenzen, innerhalb deren  $\omega$  eine nahezu lineare Funktion von  $\Delta f_i$  ist, so beträgt die Änderung im  $\Delta f_i$   $30 \cdot 2,8 = 84 \mu A$ . Der Effektivwert des Anodenstromes ist dann

$$\frac{84}{\sqrt{2}} = 60 \mu A.$$

Dieser Strom fließt durch die Parallelschaltung des Anodenwiderstandes ( $0,5 \text{ M}\Omega$ ) des  $\varphi$ -Detektors und des Zwischenwiderstandes (etwa  $1 \text{ M}\Omega$ ) der NF-Verstärkerröhre, so daß der letzteren bei voller Modulation eine Spannung von ca.  $20 V_{eff}$  zugeleitet wird. Verwendet man ein Bandfilter mit drei abgestimmten Kreisen, so kann man die Grenzen, zwischen denen sich  $\varphi$  bewegt, etwas weiter wählen. Die Ausgangsspannung steigt dann bis zu  $25 V$ .

**EQ 80 als Begrenzeröhre**

Bild 9 läßt ferner die Wirkungsweise der Röhre EQ 80 als Begrenzeröhre erkennen. Innerhalb der erwähnten Grenzen von  $\varphi$  fallen die Kurven  $i_{a,m} = f(\varphi)$  für verschiedene Werte der Wechselspannung  $U_{g3} = U_{g5}$  an den Steuergittern nahezu zusammen, so daß Amplitudenmodulation zunächst nicht gleichgerichtet werden wird.  $8 V_{eff}$  ist jedoch der kleinste Wert, bei dem die Kurven ausreichend zusammenfallen und der lineare Teil genügend lang ist.  $U_{g3}$  und  $U_{g5}$  sollen sich um  $8 V$  sinken. Ein Wert, der zwar etwas höher liegt als er für andere FM-Modulatoren verlangt wird, der aber im Allgemeinen nicht schwer zu erhalten ist. Störungen, die zu Amplitudenänderungen am Ausgang des Zwischenfrequenzverstärkers führen, werden im  $\varphi$ -Detektor kräftig unterdrückt.

Im Gegensatz zu Begrenzern, in denen ein RC-Kreis vorkommt, tritt hier beim Begrenzen keine andere Trägheit als die der Elektronen auf, so daß die Unterdrückung sehr schnell vor sich geht. Es werden nicht nur Störungen mehr oder weniger kontinuierlicher Art unterdrückt (Rauschen usw.), sondern auch impulsartige Störerscheinungen, wie sie bei Netz- oder Kraftwagenstörungen auftreten.

**Geräuschunterdrückung bei Fehlabsimmung**

Die Röhre EQ 80 gestattet außer der FM-Modulation und der Begrenzung auch noch eine Unterdrückung der Geräusche, die sich durch abgestimmten Empfänger zu beobachten sind. Bei falscher Abstimmung des Oszillators arbeitet man in einem Teil der ZF-Bandfilterkennlinie, in dem starke Amplitudenmodulation auftritt, während die Signalspannung unterhalb der Grenze bleibt, bei der die Begrenzerwirkung einsetzt. In diesem Falle ist die Wiedergabe verzerrt und durch starkes Rauschen gestört. Obwohl

die Röhre EQ 80 ohne wesentliche zusätzliche Schaltungsmittel infolge der symmetrischen statischen Kennlinien eine teilweise Unterdrückung der bei Fehlabsimmung auftretenden Störgeräusche bereits gestattet, ist mit der in Bild 10 gezeigten Anordnung eine völlige Unterdrückung dieses Störgeräusches möglich. Zu diesem Zweck führt man dem Gitter  $g_1$  eine Hilfsspannung zu, die die Röhre blockiert, solange die Spannung an den Gittern  $g_2$  und  $g_3$  kleiner als  $8 V$  ist. Wie Bild 10 erkennen läßt, liegen an  $g_1$  zwei Gleichspannungen in Serie, eine feste negative Spannung  $U_1$ , die am Potentiometer  $R_1$ ,  $R_2$  abgegriffen wird, und eine veränderliche positive Spannung  $U_2$ . Diese positive Spannung erzeugt eine Diode, die eine der Sekundärspannungen des Bandfilters gleichrichtet. Erst wenn die gleichgerichtete Spannung ausreichend groß ist, tritt der FM-Modulator in Tätigkeit. Der Widerstand  $R_4$  sorgt dafür, daß  $g_1$  nicht zu stark positiv werden kann. Dieselbe Diode kann übrigens für die automatische Lautstärkeregelung und zum Betrieb eines Abstimmanzeigers verwendet werden.

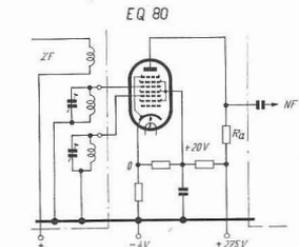


Bild 8. Schaltung einer FM-Demodulationsstufe mit der Röhre EQ 80

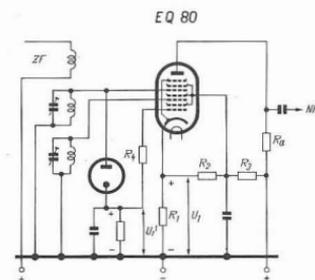


Bild 10. Die an  $g_1$  herrschende Spannung ist  $U_1 - U_2$ , wobei  $U_1$  durch Gleichrichtung der Spannung  $U_{g3}$  über einen Bandfilterkreis entsteht.  $U_2$  wird so gewählt, daß bei  $U_{g3} < 8 V$  die Röhre EQ 80 blockiert ist

**Vereinfachung der UKW-FM-Schaltungstechnik**

Die Anwendung der Röhre EQ 80 im UKW-FM-Empfänger ermöglicht eine wünschenswerte Vereinfachung des schaltungstechnischen Aufbaues, die sich auch auf den nachfolgenden NF-Teil auswirken kann. Die EQ 80 gestattet bei einer Ausgangsspannung von ca.  $20 V$  unmittelbar die Endrö- re EL 41 auszusteuern, die bei  $4 V$  Eingangsspannung bereits voll belastet ist. Es stehen dann ausreichende Spannungsreserven zur Anwendung von Gegenkopplungsschaltungen zur Verfügung, die man so bemessen kann, daß sich besonders kleine Verzerrungen ergeben.