

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 c, 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 φ , 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 φ 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 80¹⁾ 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 „ φ -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_4 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_4 herrschende Spannung beeinflusst. Wenn g_4 positiv ist, erreichen die Elektronen durch die Maschen von g_3 , g_4 und g_5 die Anode, die eine hohe positive Spannung besitzt. Es kann also nur dann Anodenstrom fließen, wenn g_3 und g_4 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 φ 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 φ

¹⁾ J. L. H. Jonker und A. J. W. M. van Overbeek: „Der φ -Detektor, eine Detektorröhre für Frequenzmodulation“, Philips Technische Rundsch., Juli 1949.

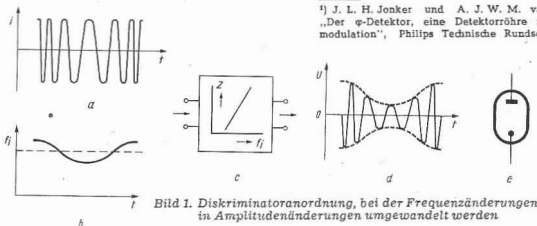


Bild 1. Diskriminatoranordnung, bei der Frequenzänderungen in Amplitudenänderungen umgewandelt werden.

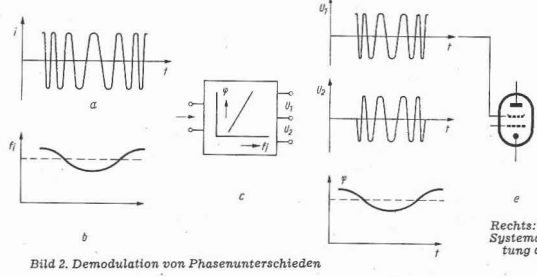
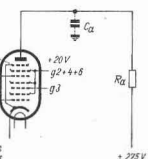
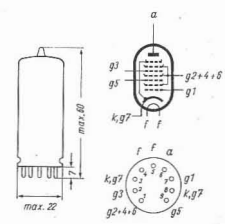


Bild 2. Demodulation von Phasenunterschieden

Bild 3. Zur Wirkungsweise des „ φ -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



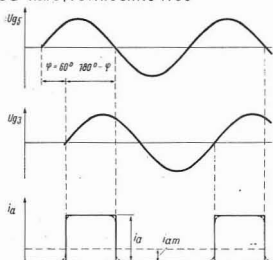


Bild 6. Phasenunterschied $\varphi = 60^\circ$ zwischen den sinusförmigen Gitterspannungen U_{g3} und U_{g5}

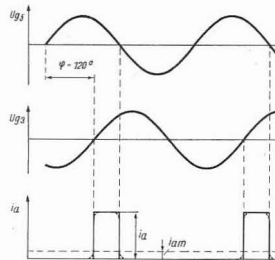


Bild 7. Phasenunterschied $\varphi = 120^\circ$ zwischen den sinusförmigen Gitterspannungen U_{g3} und U_{g5}

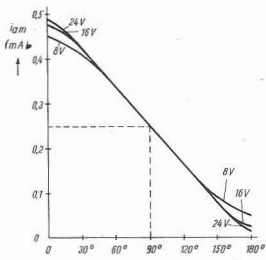


Bild 9. Mittlerer Anodenstrom i_{aM} der Röhre EQ 80 als Funktion des Phasenunterschiedes φ zwischen den Wechselspannungen an g_3 und g_5 für $U_{g3} = U_{g5}$ bei 8, 16 bzw. 24 V

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 φ -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 φ zwischen den Spannungen über den beiden Kreisen hängt von dem Augenblickswert f der ZF ab. Ist bei nicht moduliertem Sender die Frequenzabweichung Δf Null, dann beträgt der Phasenunterschied 90° . Bei Modulation des Senders ändert sich φ und variiert φ um den Wert 90° . Bei der beschriebenen Bandfilteranordnung mit zwei Kreisen treten gewisse Verzerrungen als Folge der Nichtlinearität der φ -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 Δf und φ . Eine weitere Verringerung der Verzerrungen ist durch Anwendung eines Dreikreis-Bandfilters möglich. Die Umwandlung der φ -Änderungen in proportionale Stromänderungen geht aus Bild 9 hervor, das einige Kennlinien zeigt. Hier ist der mittlere Anodenstrom i_{aM} als Funktion des Phasenunterschiedes φ 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° der Zusammenhang zwischen i_{aM} und φ praktisch linear ist. Die Neigung in diesem Gebiet beträgt $2,8 \mu A$ je Grad Phasenunterschied. Variiert φ zwischen 60 und 120° - Grenzen, innerhalb deren ω eine nahezu lineare Funktion von Δf ist, so beträgt die Änderung im Δf 1 , $30 \cdot 2,8 = 84 \mu A$. 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 φ -Detektors und des Stromwiderstandes (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 φ 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 φ fallen die Kurven $i_{aM} = f(\varphi)$ 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 $8 V$ unterscheiden. Es war etwas höher liegt als er für andere FM-Demodulatoren verlangt wird, der aber im Allgemeinen nicht schwer zu erhalten ist. Störungen, die zu Amplitudenänderungen am Ausgang des Zwischenfrequenzverstärkers führen, werden im φ -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-Demodulation 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-Demodulator in Tätigkeit. Der Widerstand R_4 sorgt dafür, daß g_1 nicht zu stark positiv werden kann. Dasselbe kann übrigens für die automatische Lautstärkeregelung und zum Betrieb eines Abstimmanzeigers verwendet werden.

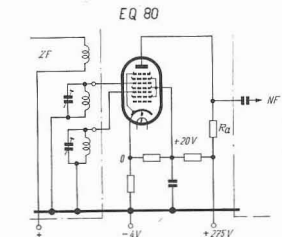


Bild 8. Schaltung einer FM-Demodulationsstufe mit der Röhre EQ 80

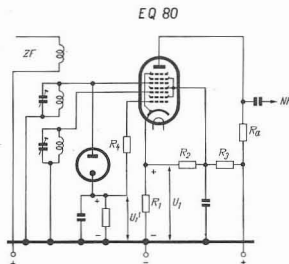


Bild 10. Die an g_1 herrschende Spannung ist $U_1 - U_2$, wobei U_1 durch Gleichrichtung der Spannung U_{g5} über einen Bandfilterkreis entsteht. U_2 wird so gewählt, daß bei $U_{g5} < 8 V$ die Röhre EQ 80 blockiert ist

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 Endröhre 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.