

Additive Mischschaltungen in den AM-Wellenbereichen

Die Mischstufe eines Superhets hat die Aufgabe, aus der Empfangsfrequenz und einer in geeigneter Weise hinzugefügten Oszillatorfrequenz eine neue Frequenz, die Zwischenfrequenz, zu bilden. Befinden sich sowohl Empfangs- als auch Oszillatorfrequenz im Gitterkreis eines Röhrensystems (z. B. zugleich am Steuergitter bzw. an Gitter und Katode), so spricht man von „additiver Mischung“. Im Prinzip ist die additive Mischung vergleichbar mit der Gitterspannungs-Modulation eines amplitudenmodulierten Senders, wobei der Modulations-NF-Amplitude im Sender

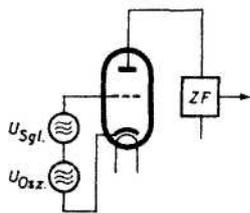


Abb.1. Prinzipanordnung der additiven Mischstufe

die Oszillatorfrequenz-Amplitude des Superhets entspricht. Diese durchsteuert eine Kennlinie, die für jeden Punkt eine andere Verstärkung für die weitere im Gitterkreis vorhandene Frequenz ergibt. Genau wie beim modulierten Sender entstehen zwei Seitenfrequenzen, die Summen- und Differenzfrequenz. Im Rundfunkgerät wird letztere als ZF ausgesiebt und weiter verstärkt. Dagegen ist die „multiplikative Mischung“, die eine Doppelsteuerröhre voraussetzt, vergleichbar mit der Schirmgitter- oder Bremsgittermodulation einer Senderstufe. Das Wesen einer jeden Mischung ist die Modulierung der Empfangsfrequenz mit einer hinzugefügten Oszillatorfrequenz. Nur dadurch, nicht durch Überlagerung, entsteht die für die weitere Verstärkung gewünschte Zwischenfrequenz. In einer Mischstufe sollen keine Kombinationsfrequenzen, die zu Mischmehrdreutigkeiten führen können, entstehen. Ferner wird eine möglichst hohe ZF-Amplitude verlangt. Durch geeignete Röhrenwahl und Schaltungsdimensionierungen lassen sich mit additiven Mischschaltungen beide Forderungen zugleich gut erfüllen. Die I_a/U_g -Kennlinie soll im Idealfall quadratisch verlaufen, entsprechend einer linearen Steilheits-Kennlinie S/U_g . Der Arbeitspunkt wird gewöhnlich in den unteren Kennlinien-Bereich bzw. unteren Kennlinien-Knick gelegt; dies ist jedoch keine unbedingte Notwendigkeit zur Erreichung einer einwandfreien Mischung. Bei einer kleinen Oszillator-Amplitude kann der Arbeitspunkt auf einer geradlinigen Steilheits-Kurve verlagert werden; dadurch ist bei niedrigeren Frequenzen eine u.U. erwünschte Regelmöglichkeit durch die Schwundautomatik gegeben. Eine quadratische Kennlinie bzw. ein quadratischer Kennlinien-Teil verursacht keine Mischmehrdreutigkeiten.

Die Mischmehrdreutigkeiten

Bei Abweichung des Kennlinienverlaufs vom Idealfall entsteht die Zwischenfrequenz auch aus Oberwellen von Oszillator- und Empfangsfrequenz. Vor etwa 20 Jahren versuchte man eine Verbesserung durch die „multiplikative Mischung“ zu erreichen. Bei dieser ist es möglich — aber nur dann, wenn die I_a/U_g -Kennlinien beider Steuergitter exakt linear verlaufen —, die Mischmehrdreutigkeiten zu unterdrücken.

Die auf diesem Prinzip basierende Röhrenentwicklung (Heptode, Oktode, Triode-Hexode) ging jedoch einen anderen Weg. Das von der Empfangsfrequenz gesteuerte Gitter mußte, um eine Schwundregelung zu ermöglichen, mit einer gekrümmten Kennlinie versehen werden. An dieser entstehen natürlich ebenso wie bei einem ungünstigen Kennlinienverlauf additiver Mischröhren die Oberwellen der Empfangsfrequenz und damit Mischmehrdreutigkeiten.

Das von der Oszillatorfrequenz gesteuerte Gitter wird in der Praxis — um eine genügende Mischstabilität zu gewährleisten — z. T. in nichtlinearen Bereichen betrieben. Dadurch entstehen zusätzlich Oberwellen der Oszillatorfrequenz.

Erhöhte Kreuzmodulationsfestigkeit der additiven Mischung

Bei einer genauen Untersuchung der z. Z. üblichen Röhrentypen ergibt sich, daß die Mischhexode bezüglich Mehrdreutigkeiten der Mischung keine Vorteile gegenüber einer geeigneten mittelsteilen Pentode oder Triode bringt. Wie Messungen ergaben, ist die Kreuzmodulation bei gleicher Eingangsspannung, bei dem Triodensystem der ECH81 als additive Mischstufe geschaltet, keinesfalls größer als bei der ECH 81 in normaler, multiplikativer Mischung.

Bei der ECC 82 sind die Verhältnisse noch günstiger. Bei einer bestimmten Einstellung der Oszillatorschwingungsspannung, der zusätzlichen Gittervorspannung und der übrigen Betriebswerte läßt sich bei gleichem Ein-

üblichen multiplikativen Mischstufe (Kurve IV). Sehr günstige Werte, die denen der Kurve II entsprechen, werden auch mit der EF 89 als additive Pentoden-Mischstufe erreicht (III). Alle Messungen wurden unter gleichen Bedingungen durchgeführt und lassen somit einen unmittelbaren Vergleich zu.

Der Vorteil des niedrigen Rauschwertes

In der UKW-Technik hat die additive Triodenmischung auf der ganzen Linie gesiegt und schnell die anfangs noch gebräuchlichen Trioden-Hexoden (ECH 11) verdrängt. Erstens war es die wesentlich höhere Misch-Steilheit, zweitens der bedeutend niedrigere äquivalente Rauschwert, die den Verlauf dieser Entwicklung bestimmten. Man ist vielfach der Ansicht, beide Vorteile hätten in den längeren Wellenbereichen keine Bedeutung mehr. An Hand einer übersichtlichen Berechnung soll nun dargestellt werden, welche Vorzüge eine additive Mischschaltung durch den geringeren Rauschwert bietet. Mischhexoden haben äquivalente Rauschwertstände von etwa 75 kOhm, während z. B. Trioden-Mischröhren (ECC 82) Rauschwertstände von rd. 7 kOhm und moderne Pentoden-Mischröhren (EF 89) etwa 8 kOhm aufweisen, vergleichbar mit denen moderner Pentoden in HF-Vorstufen. Soll nun das Rauschen der multiplikativen Mischröhre gleich dem Rauschen einer Hochfrequenz-Vorstufe sein, dann muß die Verstärkung der Vorstufe etwa 3,3fach sein, d. h., bei einer Eingangsaufschaukelung von 1 : 3 steht am Gitter der Mischröhre rund die

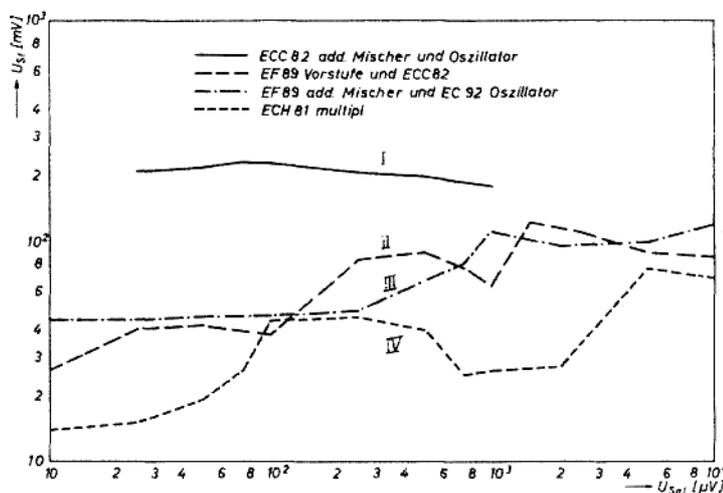


Abb. 2. Die Kreuzmodulationsfestigkeit verschiedener Mischstufen

gangssignal eine um den Faktor 10 verbesserte Kreuzmodulationsfestigkeit der ECC 82 in additiver Mischschaltung gegenüber der ECH 81 in multiplikativer Schaltung erreichen. Es ergeben sich somit weniger Pfeifstellen als bei multiplikativer Mischung. In Abb. 2 sind die Resultate einiger Messungen dargestellt. Am günstigsten liegt die additive Triodenmischstufe mit ECC 82 (ein System als Oszillator) ohne Vorstufe, über einen weiten Bereich ergibt eine Störspannung von 200 mV erst eine Kreuzmodulation von 1 % (Kurve I). Bei Anwendung einer zur Entkopplung und Schwundregelung dienenden Vorröhre EF 89 sind — bedingt durch die Kennlinienkrümmung der Vorröhre — die Werte schon ungünstiger (Kurve II), liegen jedoch immer noch über den Werten einer

zehnfache Antennenspannung. Diese kann natürlich zu Kreuzmodulation führen. Verwendet man dagegen an Stelle der multiplikativen Mischröhre eine additive Mischröhre mit einem Rauschwertstand von 7 kOhm, so kann auf die Verstärkung einer Vorstufe verzichtet werden. Diese braucht lediglich für die Aufgabe der Schwundregelung und Trennstufe bemessen zu werden, und somit ergibt sich eine geringere Kreuzmodulationsgefahr. Als weiteres Beispiel des Vorteils eines niedrigen Rauschwertes sei die additive Mischschaltung mit der Pentode EF 89 und Betrieb ohne HF-Vorstufe genannt. Die Eingangskreis-Impedanz ist bei Mittelwelle etwa 100 kOhm. Addiert mit dem Rauschwertstand ergibt sich für die multiplikative Mischstufe ein Gesamt-Rauschwertstand von

neuzeitlicher Rundfunkempfänger

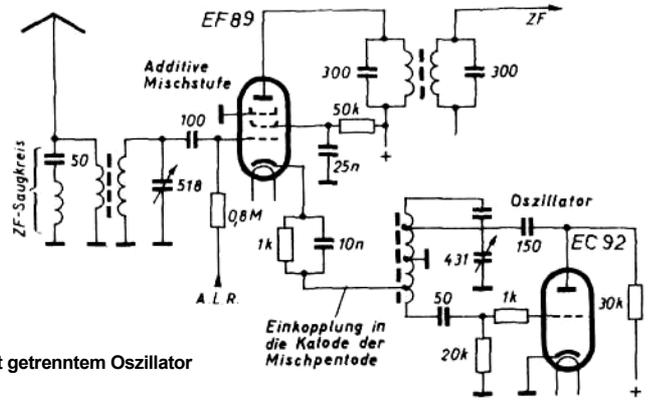
rd. 175 kOhm, für die EF 89 etwa 108 kOhm. Das Eingangsrauschen ist um den Faktor

$\sqrt{\frac{108}{175}} \approx 0,8$ geringer und ermöglicht eine schwächere Ankopplung des Eingangskreises an das Mischröhrgitter.

Höhere Mischsteilheit

Ebenso wie der niedrigere Rauschwert bietet die größere Steilheit der additiven Mischröhren die Möglichkeit, die Ankopplung an den Eingangskreis bzw. die Vorverstärkung kleiner zu halten. Verzicht auf Verstärkung der Vorstufe wird durch die größere Steilheit voll aufgeholt, die Kreuzmodulationseigenschaften werden erheblich verbessert. Bei der EF 89 ist die Mischsteilheit in additiver Schaltung etwa 1 mA/V. Die Kennlinie läßt in begrenztem Umfang eine Regelung zu. Ein weiterer Vorteil der größeren Steilheit der EF 89 ist die ausgezeichnete Leistung als FM-ZF-Verstärkerröhre in kombinierten AM-FM-Geräten. Als Vorteil der Mischhexode gegenüber einer niederohmigen Triode könnte der größere innere Widerstand gewertet werden. Dieser

Abb. 3. Additive Pentodenmischung mit getrenntem Oszillator



Vorteil ist bei Verwendung von zwei ZF-Stufen jedoch in keiner Weise mehr ins Gewicht fallend, da genügend Verstärkung zur Verfügung steht. Deshalb kann bedenkenlos der erste Kreis des der Mischtriode folgenden ZF-Bandfilters niederohmig ausgeführt werden: der an der Anode liegende Kreis

erhält eine genügend große Parallelkapazität. Bei einer modernen Pentode vom Typ EF 89 ist der Innenwiderstand mit etwa 1,5 MOhm dagegen größer als der einer Mischhexode. (In den nachfolgenden Prinzipschaltbildern ist der Übersichtlichkeit halber nur der Mittelwellenbereich dargestellt.)

Schaltungstechnik bei additiver AM-MMischung

Additive Pentoden-Mischung (EF 89) mit getrenntem Oszillator

Für kleine und Mittelklassengeräte ohne HF-Vorstufe, bei denen auf eine Regelung der Mischstufe nicht verzichtet werden kann, wird vorteilhaft als additiver Mischer eine Pentode benutzt, wofür als Beispiel die Schaltung des Grundig-Gerätes „2030 W/3 D“

nach Abb. 3 herangezogen werden soll. Die Mischröhre wird bei FM als 1. ZF-Röhre mitbenutzt; die Oszillatorstufe arbeitet auch bei FM in dieser Eigenschaft (Abb. 4). Die FM-Empfindlichkeit der mit dieser Schaltung ausgestatteten Geräte ohne UKW-HF-Vorstufe ist etwa 2 μ V. Das Eingangssignal wird in üblicher Weise dem Steuergitter zugeführt und die Oszillatorspannung in die Katode eingekoppelt. Der ans Steuergitter gelangende, nur aus Ausstrahlungsgründen unerwünschte Oszillatorspannungsanteil wird durch die Spannungsteilung über $C_{gk}-C_k$ auf einen zugelassenen Wert reduziert. Eine Kompensation der am Steuergitter stehenden Oszillatorspannung ist im Gegensatz zur multiplikativen Mischung (bei der sie, je nach Phasenlage, zur Verringerung der Mischsteilheit führen kann) nicht erforderlich. Das RC-Glied 1 kOhm/10nF dient zur Einstellung des Arbeitspunktes. Um eine Bedämpfung des Eingangskreises durch die ins Gitterstromgebiet steuernde Oszillatorspannung zu vermeiden, muß das Steuergitter entsprechend einer Oszillatorspannung von 2 ... 3 V_{eff} negativ vorgespannt werden.

Wegen des geringen Oszillatorspannungsbedarfes erfolgt die Ankopplung der Mischerkatode über eine Anzapfung der Rückkopplungswicklung.

Die Mischsteilheit von 1 mA/V der verwendeten Pentode EF 89 im Zusammenhang mit dem äquivalenten Rauschwert von 7 kOhm läßt (bezogen auf gleiche ZF-Spannung an der Anode und gleiches Rausch-Signalverhältnis im Vergleich zu einer multiplikativen Mischung mit ECH81) eine um 65 % geringere Steuergitterankopplung zu. Dadurch wird eine entsprechende Erhöhung der Kreuzmodulationssicherheit erreicht.

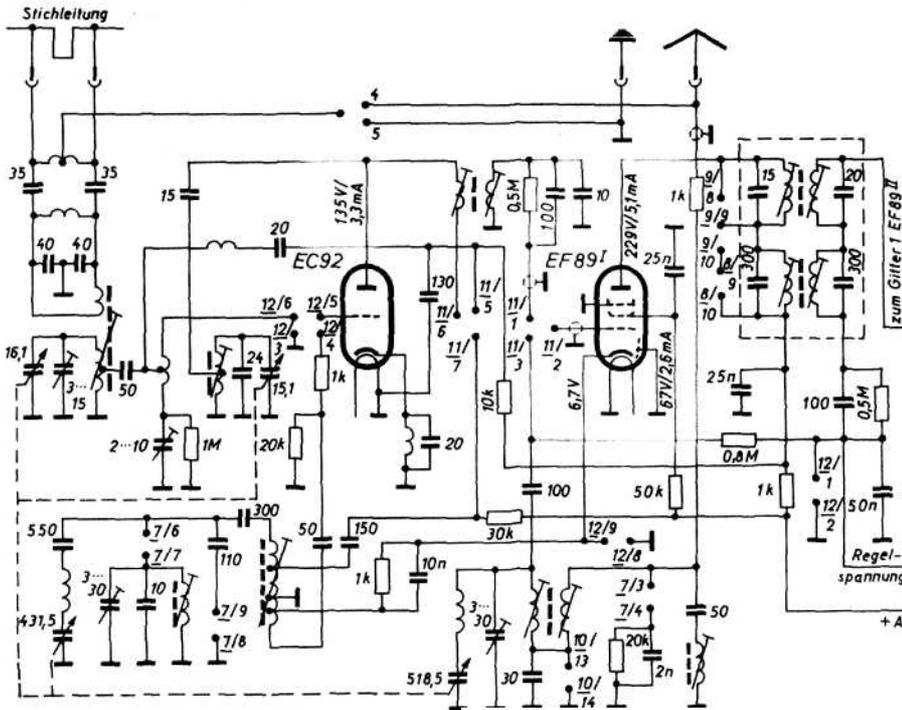


Abb. 4. Schaltung der ersten Stufe des Grundig Superhets „2030 W/3 D“; unten Schalterdiagramm

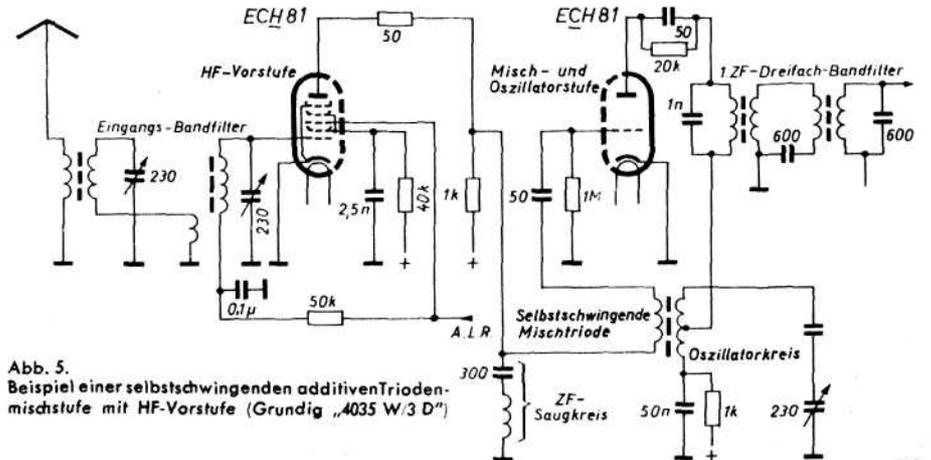
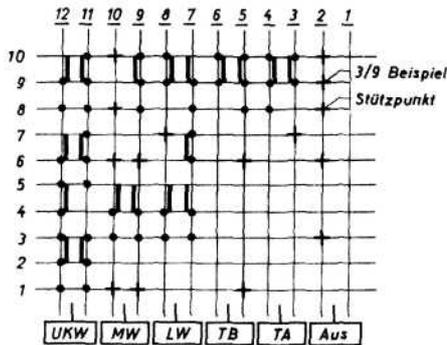


Abb. 5. Beispiel einer selbstschwingenden additiven Triodenmischstufe mit HF-Vorstufe (Grundig „4035 W/3 D“)

Das Triodensystem arbeitet, ähnlich den UKW-Mischstufen, als selbstschwingender Mischer.

Triodenteil der ECH 81 als selbstschwingende Mischstufe

Ein Beispiel, wie mit der Verbundröhre ECH 81 eine additiv arbeitende Mischstufe in Kombination mit einer HF-Vorstufe aufgebaut werden kann, bietet die Schaltung des „4035 W/3 D“ (Abb. 5). Das Heptodensystem ist eingangsseitig normal als HF-Vorstufe geschaltet; auf der Anodenseite liegen als FM-Arbeitswiderstand ein Bandfilterkreis (bei AM kurzgeschlossen) und der AM-Arbeitswiderstand 1 kOhm (bzw. für Kurzwellen eine Drossel) hintereinander.

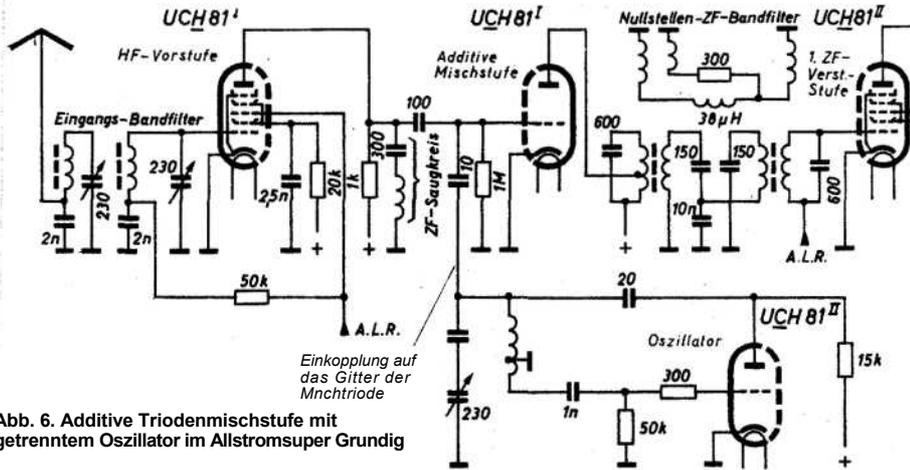


Abb. 6. Additive Triodenmischstufe mit getrenntem Oszillator im Allstromsuper Grundrig

Die HF-Spannung der Anode der Vorstufe wird hierzu für M- und L-Bereich am Fußpunkt der jeweiligen Oszillator-Rückkopplungswicklung eingekoppelt, für den KW-Bereich erfolgt die Addition durch Parallelschaltung der beiden Spannungen am Oszillatortriode. Der 1. ZF-Kreis, MW- und LW-Oszillatorschwingkreispulen sowie KW-Rückkopplung liegen hintereinander an der Anode der Oszillatortriode; zur Erreichung gleicher Induktivitätswerte mit dem in Reihe liegenden ZF-Kreis sind die MW- und LW-Kreispulen entsprechend angezapft.

Additive Triodenmischung unter Verwendung zweier Systeme der UCH 81

Im Allstrom-Superhet „5040 GW/3 D“ (Abb. 6) wird eine Triodenmischschaltung mit getrennter Oszillatortriode benutzt. Mischstufe und doppelt geregelte HF-Vorverstärkerstufe sind in einem Röhrenkolben vereinigt, Oszillatorstufe und 1. ZF-Verstärkerstufe in einem zweiten.

Die Einspeisung der Oszillatorspannung erfolgt hier über eine 10-pF-Kopplungskapazität zum Gitter der Mischröhre. Auch in diesem ausgesprochenen Hochleistungs-Allstromgerät wird ein Eingangsbandfilter benutzt; der Arbeitswiderstand der Vorröhre ist wiederum 1 kOhm mit parallelliegender ZF-Sperre. Wegen des niedrigen Innenwiderstandes des Trioden-Mischteils ist das im Anodenkreis liegende ZF-Vierfach-Bandfilter angezapft. Die Kreiskapazität ist 600 pF.

Die ECC 82 als additive Trioden-Misch- und Oszillatorstufe

Das markante Beispiel einer hochgezüchteten Mischstufe, die alle Vorteile der additiven Triodenmischung konsequent ausschöpft, ist der Eingangsteil der Spitzensuper "4040 W/3D", "5040 W/3 D" und "5050 W/3 D" (Abb. 7). Als Misch- und Oszillatortriode dient eine ECC 82, deren günstige Eigenschaften in dieser Schaltung bereits eingangs erwähnt wurden.

Die Oszillatorspannung wird in die Katode eingespeist und das Empfangssignal dem

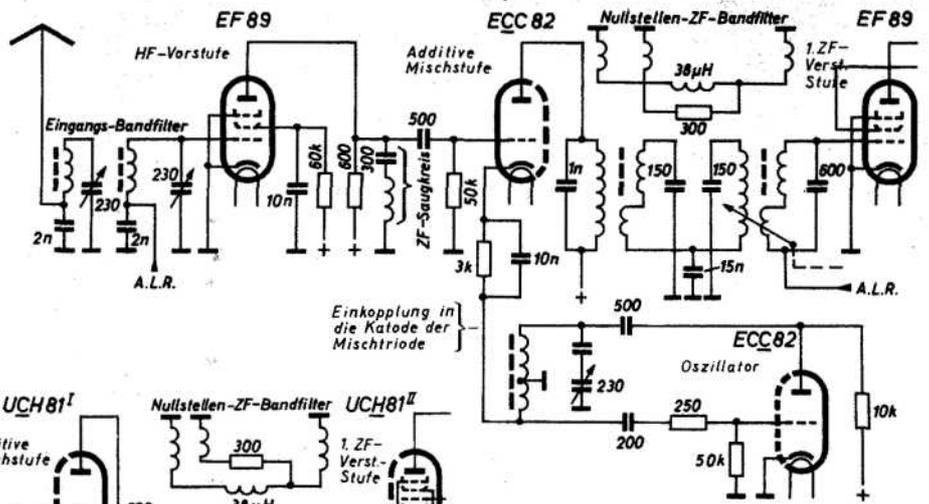


Abb. 7. AM-Eingangsschaltung mit additiver Triodenmischstufe des Großsuperhets „4040W/3D“. Im wesentlichen wird diese Schaltung auch in den Geräten „5040W/3D“ und

Arbeitspunkteinstellung der Mischröhre. Als HF-Vorröhre kommt die EF 89 zur Anwendung, die auf einen ohmschen Außenwiderstand von 600 Ohm arbeitet und eine Verkopplung des Oszillators auf den Eingangskreis sicher verhindert. Außerdem ist sie in die Schwundautomatik einbezogen.

Die Katoden-Einkopplung der Oszillatorspannung sorgt für eine konstante Mischspannung, konstante Oszillatorbelastung sowie geringste Störausstrahlung auf das Gitter der Eingangsröhre. Die Kreuzmodulationsfestigkeit dieser Schaltung ist gegenüber der von multiplikativen Mischstufen mit Triode-Hexoden wesentlich verbessert worden.

