

In 100 Jahren vom Fritter zum Digitalempfänger (2)

AUTOR



RUDOLF GRABAU
Much
Tel. 02245 3471

Audion mit Rückkopplung Regenerativempfänger (regenerative detector receiver)

Eine enorme Steigerung der Empfindlichkeit des Audions kann erreicht werden, indem ein Teil der verstärkten Hochfrequenz mit gleicher Phasenlage auf den Eingangsschwingkreis rückgekoppelt wird (Bild 17/Bild 14 in FG 190). Dadurch steigen Empfindlichkeit und Trennschärfe des Empfängers deutlich an. Das Audion erreicht so einen Verstärkungsfaktor von bis zu 100 und ist damit der empfindlichste aller Gleichrichter. Hiermit konnten auch schwache Sender wesentlich besser empfangen werden. Daher wurde das rückgekoppelte Audion bei älteren Röhrenempfängern standardmäßig bis in die 30er Jahre als „frequenzselektiver Detektor“ verwendet und zwar sogar in Superhetchaltungen – hier allerdings ohne Rückkopplung –, bis es nach Einführung entsprechender Verbundröhren allgemein durch die Diodengleichrichtung abgelöst wurde. Aber auch später benutzten Funkamateure noch dieses Schaltungsprinzip, nicht nur wegen des geringen technischen Aufwands und einfachen Selbstbaus, sondern auch wegen seiner Eigenschaft, neben der Amplitudenmodu-

lation (AM = A3E) wie im LF/MF-Rundfunk auch unmodulierte Sendungen (im Morsecode = A1A) sowie Einseitenband-Telefonie (SSB = J3E) empfangen zu können. Ein großer Nachteil des Rückkopplungsaudions ist allerdings, dass es bei zu starker Rückkopplung selbständig zu schwingen beginnt und damit zum „Störsender“ wird.

Zur Schwingungserzeugung im Rückkopplungszweig werden verschiedene Oszillatorschaltungen angewendet. Der Grad der Rückkopplung kann radiofrequent (z. B. über Rückkopplungsspule oder -kondensator), aber alternativ auch durch Regelung der Röhrenspannungen variiert werden. Bei LÜBBEN [9] findet man die hohe Zahl von 19 Schaltungsvariationen. Die Verstärkung des gittergleichrichtenden Audions kann also durch Entdämpfung der Schwingkreise erheblich gesteigert werden. Dadurch verringert sich zwar die nutzbare Bandbreite, gleichzeitig steigen aber auch Gleichlaufschwierigkeiten und Schwingneigung erheblich an. Es ist also nicht möglich, bei Anwendung des Geradeausempfänger-Prinzips eine angemessene Bandbreite mit steilen Flanken bei guter Empfindlichkeit zu erreichen. Letztere versuchte man noch zu steigern, indem man Rahmenantennen verwendete (Bild 18/Bild 13 in FG 190), einerseits zum Richtempfang, andererseits aber auch zur Ausblendung von störenden Fremdsendern. Da Anodenbatterien teuer, schwer und umfangreich, sowie oft zum unpassendsten Zeitpunkt leer waren, versuchte man sich an Audionschaltungen ohne Anodenbatterie, indem man den positiven Pol der Heizbatterie an die Anode einer Röhre mit steiler Kennlinie legte. LÜBBEN schlägt dazu elf Schaltungen vor, zumeist mit Mehrgitterröhren (mit Raumladegitter) und in Reflexschaltung (s. u.).

Bei der Reflex- oder Wendeschaltung wird eine Verstärkerröhre zweimal ausge-

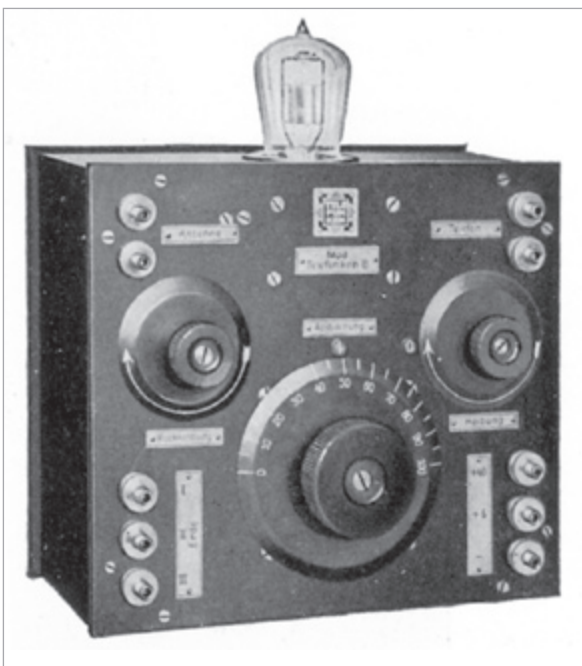


Bild 17: Audionempfänger mit Rückkopplung. (Telefunken)

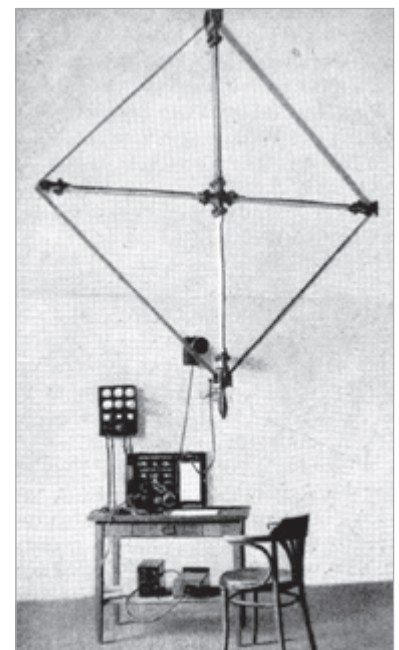


Bild 18: Empfangsanlage mit Rahmenantenne. Abb. aus [3].

Bild 19: Beispiel einer Reflexschaltung.

Abb. aus [4].

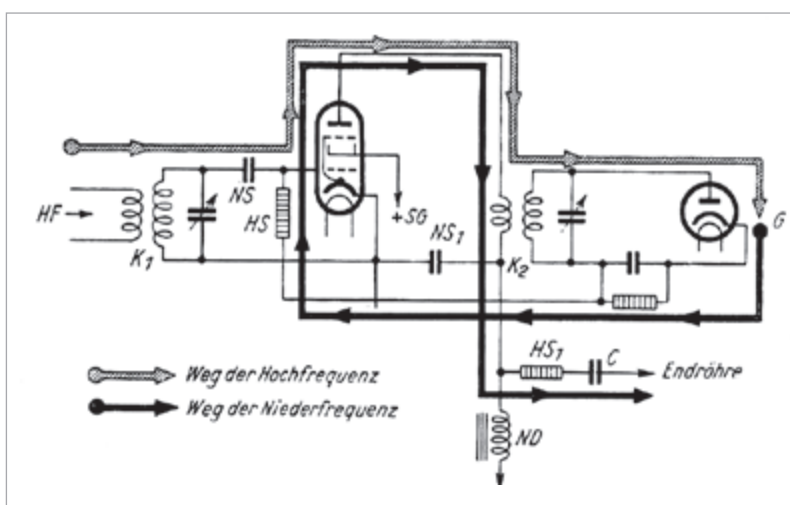
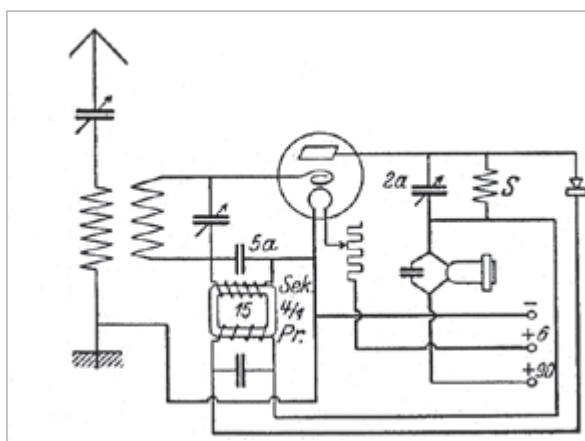


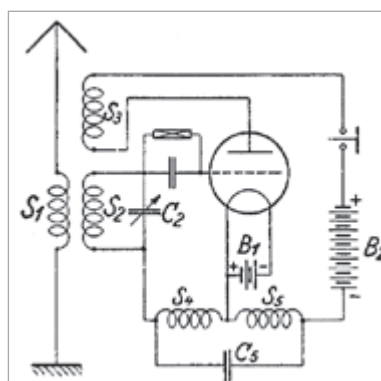
Bild 20: Funktion einer Reflexschaltung mit getrennter AM-Gleichrichtung.

Abb. aus [12].

nutzt (im Ausnahmefall auch dreimal), indem man mit ihr zwei voneinander grundverschiedene Frequenzarten verstärkt, Hochfrequenz und Niederfrequenz oder Zwischenfrequenz und Niederfrequenz. Sorgt man dafür, dass die beiden Frequenzen der Röhre getrennt zugeführt und ihr auch wieder getrennt abgenommen werden, so findet keine Beeinflussung der beiden Frequenzarten statt (Bild 19 und 20). Die Reflexröhre leistet damit praktisch die Arbeit von zwei Verstärkerröhren. Ein Zweiröhren-Empfänger mit Reflexstufe besitzt also

Bild 21: Superregenerativempfeänger, hier als rückgekoppeltes Audion, bei dem die Pendelschwingung von 15-20 kHz in dem Schwingkreis S 4/S 5/C 5 erzeugt wird.

Abb. aus Archiv des Autors.



z. B. größenordnungsmäßig die Leistung eines reflexfreien Dreiröhren-Empfängers. Aufgrund erheblicher Kostenersparnis fand die Reflexschaltung ab Mitte der 20er Jahre viele Anwender. ADORJAN widmet dieser Röhrenanwendung sogar ein eigenes Buch mit 55(!) Schaltungsvarianten [6], diverse sind auch bei SCHWANDT [12] zu finden.

Obwohl der Superhet den Geradeausempfänger zu diesem Zeitpunkt technisch längst überholt hatte, ist in Deutschland während des dritten Reichs das Prinzip des Audionempfängers allerdings nochmals aufgegriffen worden, um mit möglichst einfachen und daher billigen Produkten (Volksempfänger, Deutscher Klein-Empfänger) jeden Haushalt mit einem Rundfunkempfänger auszustatten. So wurde erreicht, dass die über den Rundfunk verbreiteten Informationen jedermann erreichen, aber zugleich der Empfang ausländischer Sender wegen der geringen Empfindlichkeit der Geräte erschwert wurde.

Pendelaudion (Superregenerativempfeänger)

Eine Sonderform des Audions ist das des Superregenerativempfeängers (Bild 21), bekannt geworden auch als „Ultraaudion“. Hierbei sorgt eine sägezahnförmige „Pendelfrequenz“ von bis zu 30 kHz dafür, dass das Audion zyklisch den Arbeitspunkt der höchsten Empfindlichkeit durchläuft. Die Pendelfrequenz muss so hoch gewählt werden, dass der sich ausbildende Pfeifton vom menschlichen Ohr nicht gehört werden kann. Pendelrückkopplung wurde vor allem bei einfachen Sendeempfeängern des 2. Weltkriegs ab etwa 20 MHz verwendet (teilweise auch in Reflexschaltung), die zur Begrenzung von Eigengewicht und Stromverbrauch mit wenigen Verstärkerstufen auskommen mussten – 1928 gab es in der Reichswehr aber auch ein Pendelaudion in einem Kurzwellen-Funksprechgerät. Nachteilig bei diesem Empfangsprinzip sind das hohe Empfängerrauschen, die Abstrahlung der periodisch durchlaufenen Radiofrequenz und die stark gegenläufige Abhängigkeit der Sende- beziehungsweise Empfangsleistung von der Antennenan- kopplung.

Überlagerungsempfeänger (Superhet)

Noch bis in die 30er Jahre hinein war das rückgekoppelte Audion der Standard für alle Rundfunkgeräte. KAPPELMEYER irrte allerdings, als er dieses Schaltungsprinzip 1924 wie folgt bewertete [2]: „Die Entwicklung der Empfänger ist bei ihrem praktischen Ende ange-

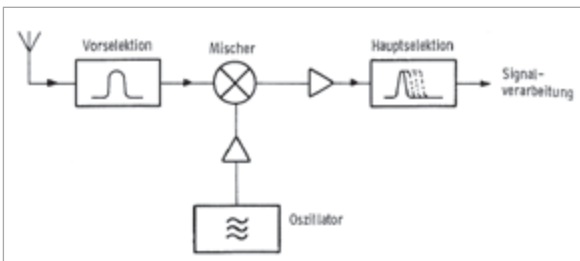


Bild 22: Prinzip und Haupteigenschaften des Überlagerungsempfängers (Superhet): Vorselektion unterdrückt Spiegelfrequenzen und vermindert Intermodulationsprodukte, Mischer bestimmt Großsignalverhalten und Dynamikbereich, Oszillator bestimmt Frequenzstabilität und Treffsicherheit, Hauptselektion bestimmt Trennschärfe und weitere Signalverarbeitung, alle gemeinsam bestimmen Empfindlichkeit und Rauscheigenschaften.

Abb. aus [17].

langt, so dass sie nur noch eine Vereinfachung der Mittel bei gleichen Erfolgen bringen kann.“ Allerdings beschreibt er einige Kapitel weiter auch bereits den Superheterodynempfänger, allerdings vorzugsweise für den Empfang kurzer Wellen: „Das Praktische an dieser Methode ist eben, dass man die Frequenz für seinen Verstärker passend wählen kann, infolgedessen neben außerordentlicher Selektivität gegen Fremdsender und Luftstörungen eine sehr hohe Verstärkung ... erreichen kann, was ... bei Hochfrequenzverstärkern für kurze Wellen bislang nicht erzielt werden konnte.“

Nachteile der Geradeausempfänger waren diffizile Bedienung (Mehrknopf-Abstimmung), die ungenaue Frequenzeinstellung, die Abhängigkeit von der Antenne, die Verzerrungen (Klirrfaktor) bei starken Sendern, die fehlende Schwundautomatik, die relativ geringe Trennschärfe, schlechter beziehungsweise rückkopplungsabhängiger Frequenzgang sowie die Gefahr der Abstrahlung unerwünschter Schwingungen bei zu stark eingestellter Rück-

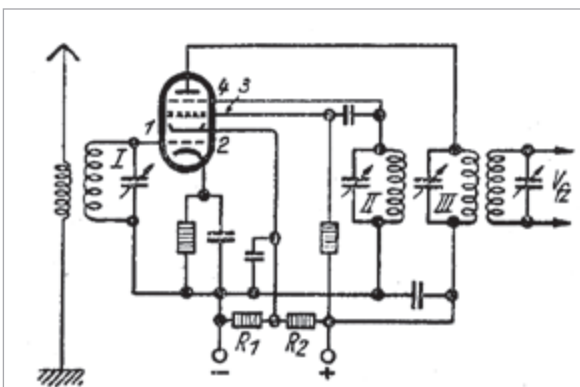


Bild 23: Additive Mischung in einer Hexode (I= Radiofrequenz, II= Oszillatorfrequenz, III= Auskopplung der Zwischenfrequenz).

Abb. aus [13].

kopplung (Rückkopplungspfeifen). So wurde das Audion (und mit ihm der Geradeausempfänger) innerhalb weniger Jahre allgemein vom leistungsstärkeren Superhet verdrängt.

Im Gegensatz zum Geradeausempfänger wird im Überlagerungsempfänger das zu empfangende RF-Signal mit dem Signal eines sich im Empfänger befindenden sogenannten Lokaloszillators (LO) gemischt (Bild 22). Die Frequenz des Lokaloszillators wird je nach gewünschter Empfangsfrequenz eingestellt. Das Ausgangssignal des Mixers (also das Ergebnis von Eingangssignal und Lokaloszillatorsignal) weist eine Frequenz entsprechend der Differenz von

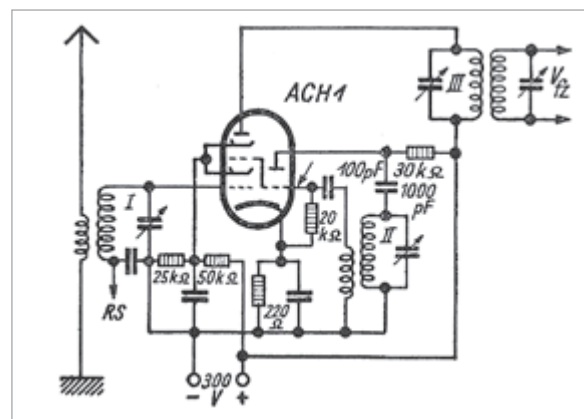


Bild 24: Verbundröhre zur multiplikativen Überlagerung (links Hexode als Mischröhre, rechts Triode als lokaler Oszillator).
Abb. aus [13].

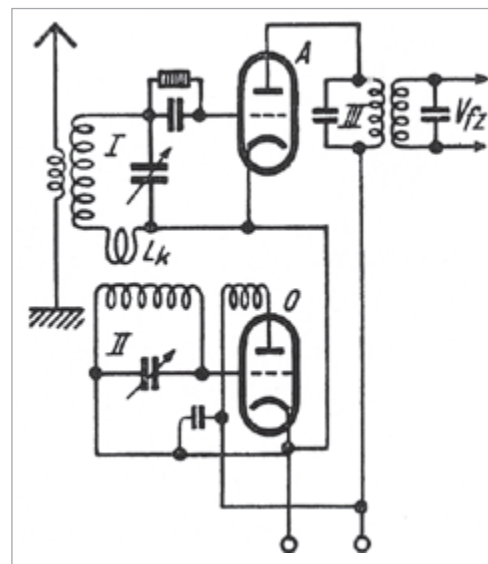


Bild 25: Überlagerung mit getrennten Röhren (unten Oszillator, oben RF-Verstärkung und Mischung).
Abb. aus [13].

RF- und LO-Frequenz auf. Es wird als Zwischenfrequenzsignal (ZF-Signal, engl. IF = Intermediate Frequency) bezeichnet, da dieses Signal noch weiterverarbeitet werden muss und lediglich einen Zwischenschritt in der Signalverarbeitung darstellt. Seine Frequenz liegt zumeist zwischen der des HF-Signals und der bei der (noch durchzuführenden) Demodulation erzeugten NF (dem niederfrequenten Ausgangssignal des Empfängers). Beim Zusammenfügen des Empfangssignals und des Oszillator-Signals am Steuergitter der Röhre wird von additiver Mischung gesprochen (Bilder 23

und 25) und bei Zusammenfügung an zwei Gittern der Röhre von multiplikativer Mischung (Bild 24). In den 30er Jahren verwendete man überaus vielfältige Mischschaltungen (seinerzeit oft auch als Modulator bezeichnet), so unterscheidet WIGAND 29 Varianten, SCHWANDT widmet speziellen Kurzwellenschaltungen ein eigenes Kapitel und beschreibt sechs Vorschläge für Einkreiser und Superhet [12, 13].

Man unterscheidet zwei Empfangsprinzipien für Überlagerungsempfänger, das Homodyn- und das Heterodynverfahren. Beim Heterodynverfahren wird eine Mischfrequenz benutzt, die sich (um den Betrag der ZF) von der Empfangsfrequenz (RF) unterscheidet, beim Homodynverfahren hingegen besitzen Überlagerer- und RF-Signal die gleiche Frequenz. Hierbei wird das Empfangssignal direkt – ohne ZF – in den NF-Bereich umgesetzt (Direct Conversion). Einen Überlagerungsempfänger nach dem Heterodynprinzip bezeichnete man als in den 20ern als „Transponierungs-, Superheterodyne-, Tropadyne- oder Ultradyn-Empfänger“. Bis in unsere Tage hat sich nur der Begriff „Super“ als Kurzbezeichnung von „Superhet“ erhalten. Teilweise waren die verschiedenen Namen für Misch-Oszillator-Schaltungen aber auch nur ein patentrechtlicher Trick, um Lizenz-Zahlungen zu vermeiden. Verschiedene Prinzipien wurden auch in Kombination mit den bereits weiter oben beschriebenen angewendet, so „Neutrodyn-Superhet“ und „Reflex-Superhet“.

Beim Überlagerungsempfang wird die Verstärkung und Filterung des Signals erleichtert. Da die Selektion durch Filterung in der konstanten ZF erfolgt, können fest eingestellte Filter verwendet werden – im Gegensatz zum abstimmbaren RF-Schwingkreis beim Geradeausempfänger. Daher ist eine deutlich höhere Trennschärfe (Selektion) realisierbar, wodurch sich eine wesentlich verbesserte Empfangsqualität ergibt. Außerdem zeichnet sich der Superhet durch hohe Empfindlichkeit, bessere Frequenzgenauigkeit und eine größere Anpassungsfähigkeit an die Charakteristiken des Signals aus. Die Schwingkreise des ZF-Verstärkers (bald allgemein als Bandfilter aus-

geführt, Bild 26) wurden durch gegenseitige geringfügige Verstimmung so getrimmt, dass sich eine möglichst rechteckige Filterkurve in der gewünschten Bandbreite ergab. Wo deren Flankensteilheit bei kommerziellen Anwendungen nicht ausreichte, sind ab den 30er Jahren Quarzfilter verwendet worden (Bild 27), ein Jahrzehnt später auch mechanische Filter. Quarzfilter wurden häufig stufenlos regelbar ausgeführt, mechanische Filter von fester Bandbreite mussten umgeschaltet werden.

Beim Direct Conversion Receiver (Homodynempfänger), dem einfachsten Überlagerungsempfänger, wird die RF mit einem Oszillator-signal gleicher Frequenz gemischt. Dabei entsteht unter anderem die Zwischenfrequenz Null. Alle hochfrequenten Signale werden durch einen Tiefpass ausgefiltert, das Nutzsignal im NF-Bereich wird mit einem selektiven Verstärker aufbereitet. Ein derartiger Empfänger hat zwar einen ähnlich geringen Aufwand wie ein Geradeausempfänger, aber auch keine wesentlich besseren Empfangseigenschaften, abgesehen von einer noch höheren Trennschärfe infolge restloser Entdämpfung des abgestimmten Kreises. Bei den Homodynempfängern wird der lokale Oszillator durch die zu empfangende Frequenz mitgezogen (synchronisiert), der „Synchro-dyn-Empfänger“ ist eine Variante des Homodyn-Empfängers, besitzt jedoch eine größere Linearität als dieser. Das Prinzip des Direct Conversion Receivers kann bei Einführung digitaler Empfangstechniken erheblich an Bedeutung und Leistungsvermögen gewinnen. Wird das bereits in die digitale Ebene gewandelte RF-Signal mit einem komplexen Oszillatorsignal gemischt, dann können bei der ZF=Null einfache, aber leistungsfähige Filteranordnungen eingesetzt werden; die Abtastrate und der Filteraufwand werden gegenüber einer höheren ZF halbiert.

Die vier Komponenten Vorselektion, Mischer, Oszillator und Hauptselektion bestimmen im wesentlichen die Eigenschaften des Überlagerungsempfängers (Bild 22). Die technischen

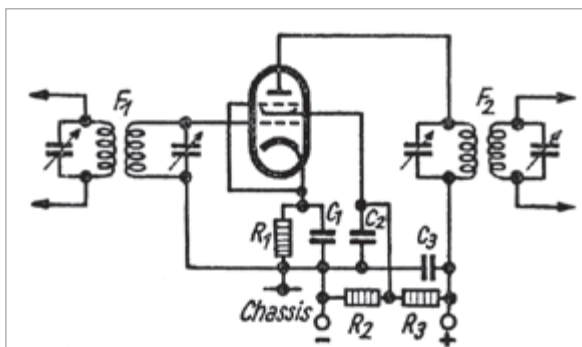


Bild 26: Normale ZF-Verstärkerstufe mit Bandfilterein- und -ausgang. Abb. aus [13].

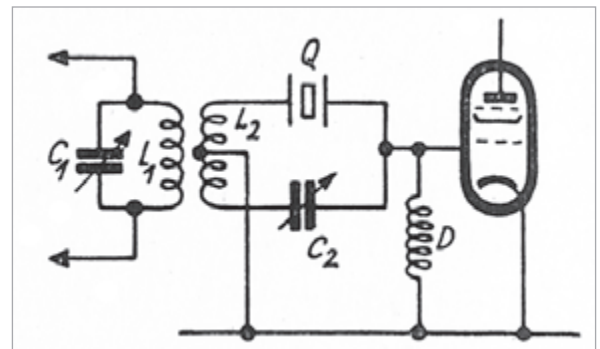


Bild 27: Einfaches, aber regelbares Quarzfilter. Abb. aus [13].

Merkmale des Überlagerungsempfängers, vor allem Großsignalverhalten und Spiegelselektion, werden von der Zahl der Überlagerungsvorgänge (Einfach- und Mehrfach-Überlagerung) mitbestimmt. Bei der Einfach-Überlagerung, wie sie Rundfunkempfänger anwenden, wird nur eine Oszillatorfrequenz erzeugt und in einem Mischer mit der RF gemischt (Bild 22). Bei der Doppel-Überlagerung gibt es zwei Versionen, mit variabler und fester 1. Zwischenfrequenz. Bei der Dreifach-Überlagerung sind verschiedene Variationen des Misch- und Verstärkerkonzepts möglich, z. B. mit zwei variablen ZF-Verstärkern sowie einem ZF-Verstärker mit Festfrequenz und Hauptselektionsmitteln. Aus den eng beieinander liegenden Empfangs- und ZF-Frequenzen resultieren (wegen Einknopfabstimmung von Selektionsmitteln synchron mit dem Oszillator) hohe Anforderungen an den Gleichlauf und damit ein hoher mechanischer Aufwand. Diesen Nachteil vermeidet ein erstmals von der Firma RACAL in den 60ern angewendetes Frequenzkonzept. Nach Mischung mit einem hochliegenden Rasteroszillator werden 1 MHz breite Teilbereiche durch einen weit oberhalb des Empfangsfrequenzbereiches liegenden Bandpass „geschoben“. Die Frequenzabstimmung erfolgt mit einem durchstimmbaren Bandpass als „Vorselektion“, der mit der Oszillatorabstimmung gekoppelt ist. Die Hauptselektion besorgt ein nachfolgender Verstärker mit sehr niedriger Zwischenfrequenz. Aufgrund der hochliegenden 1. ZF des Empfängers besitzt dieser ein gutes Großsignalverhalten und eine hohe Spiegelfrequenzsicherheit, wie sie bei den zuvor beschriebenen Frequenzkonzepten nicht erreicht werden konnte. Allerdings kehrte man auch bei der Entwicklung kommerzieller Empfänger bereits wenig später wieder zur Einfachüberlagerung zurück, ausgelöst zunächst durch die Verwendung von Frequenzzählern zur Empfangsfrequenzanzeige, ferner beschleunigt einige Jahre später durch die Verfügbarkeit von digital steuerbaren Analyse- und Synthese-Oszillatoren sowie von leistungsfähigen digitalen Filtern im ZF/NF-Teil.

Sinkende Röhrenpreise ermöglichten erste Automatikfunktionen wie automatische Scharfabstimmung nach dem Diskriminatorprinzip, später allgemein als AFC bezeichnet, Verbundröhren einen selbsttätigen Lautstärkeausgleich bei geringem zusätzlichen Aufwand. Bei kommerziellen Empfängern (Richtfunk, Kurzwellenfunk) wurden aufwändigere Oszillator- und Verstärkerschaltungen kostengünstiger realisierbar.

Stromversorgung der Röhrengeräte

Zu Zeiten der Kristalldetektoren erforderten (Rund-)Funkempfänger zumeist keinerlei

Stromversorgung. Dies änderte sich, als gegen Ende des 1. Weltkrieges (zunächst im militärischen Bereich, bald aber auch in zivilen Geräten) zum Empfang Elektronenröhren verwendet wurden, die sowohl Heiz-, als auch Anodenspannung benötigten. Zunächst musste man teure Trockenbatterien und/oder Akkumulatoren einsetzen. Die schon bestehenden Gleichstromnetze gestatteten allerdings nicht nur ein Wiederaufladen der Akkumulatoren zur Röhrenheizung, sondern wurden teilweise direkt zur Anodenspannungsversorgung herangezogen – zuweilen auch unter Einsatz lebensbedrohender Schaltungen. Ab Ende der 20er Jahre sind Zug um Zug die früheren Gleichstromnetze auf Wechselstrom umgestellt worden, der nunmehr in aufwändigen Netzanschlussgeräten zur Versorgung der Rundfunkempfänger aufbereitet werden musste. Grundsätzlich konnten Röhren ja auch mit Wechselstrom geheizt werden, vorausgesetzt man erzeugte die Emission durch Erwärmung einer Heizfadenummante lung. Also entwickelte man derartige „indirekt geheizte“ Röhren. Und weil etliche Jahre lang Gleich- und Wechselstromnetze nebeneinander bestanden, baute die Industrie Empfänger mit Allstromversorgung. Die Röhrenheizungen wurden dabei nicht mehr parallel, sondern in Reihe geschaltet (Bild 28) – anstelle der bisher üblichen Röhren mit einheitlicher Heizspannung (und unterschiedlichen Heizströmen) entwickelte man hierzu Allstromröhren mit einheitlichem Heizstrom und entsprechenden (zumeist höheren) Heizspannungen. Die Volksempfänger wurden sogar in unterschiedlichen Versionen für Gleichstrom-, Wechselstrom-, Allstrom- und Batterie-Betrieb gebaut.

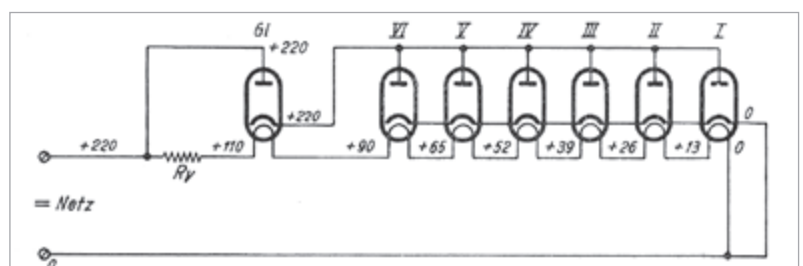


Bild 28: Hintereinanderschaltung von Röhrenheizungen bei einem Allstromempfänger. Abb. aus [12].

Empfänger für Ultrakurzwellen

Zwar gab es bereits während des 2. Weltkrieges die ersten frequenzmodulierten Sprechfunkgeräte, aber den eigentlichen Durchbruch schaffte die FM Anfang der 50er Jahre mit technischer Erschließung der ultrakurzen Wellen (VHF), sowohl für den Rundfunk als auch für kommerzielle Sprech- und Richtfunknetze. FM erforderte eine höhere Empfangs-Bandbreite, dies wurde durch unterschiedliche Verstär-

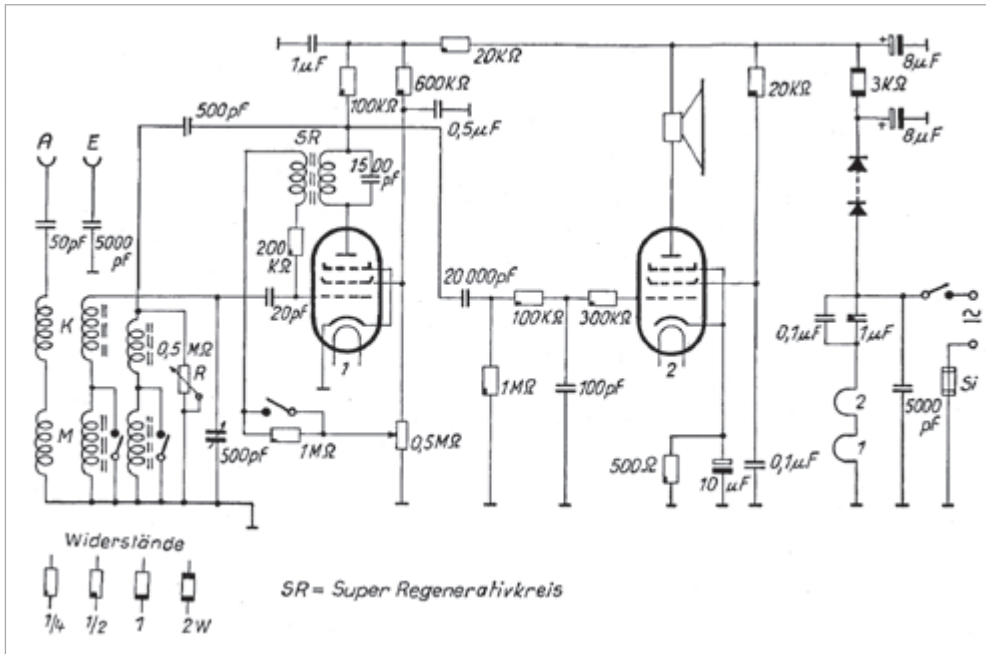


Bild 29: Nach dem 2. Weltkrieg erinnerte man sich in Deutschland an röhrensparende einfache Radio-Schaltungen (hier ein Zweiröhren-Superregenerativ-Empfänger von 1947). Abb. aus [14].

mung aufeinanderfolgender Resonanzkreise in den ZF-Bandfiltern erreicht. Die einfachste Empfangsmethode war, das frequenzmodulierte Signal auf der Flanke eines Schwingkreises in Amplitudenmodulation zu wandeln und dann mit einem AM-Detektor gleichzurichten. Damit war aber wegen Nichtlinearität nur mangelhafte Qualität erreichbar, so dass diese Methode allenfalls kurz nach Kriegsende von der Funkamateuren bei Erschließung des 2m-Bandes angewendet wurde.

Auch die ersten deutschen UKW-Empfänger in den 30ern verwendeten Audion-Schaltungen. Bei Einführung des UKW-Rundfunks in den 50er Jahren griff man in Deutschland allerdings auf die Erfahrungen mit UKW-Funkgeräten der Wehrmacht zurück und das Pendelaudion erlebte eine Wiedergeburt, übrigens nicht nur zum UKW-Empfang (Bilder 21 und 29). So konnte man bei Einführung des frequenzmodu-

lierten UKW-Rundfunks bald schon wenig aufwändige und damit preiswerte Vorsatzgeräte für die vorhandenen AM-Empfänger liefern. Weil dabei die Demodulation der FM auf der Flanke des AM-Detektors erfolgte, mussten allerdings Verzerrungen in Kauf genommen werden. Bei vielen Geräten reduzierte eine Vorstufe die unerwünschten Abstrahlungen. Ebenso erinnerte man sich an den Reflexempfänger, jetzt oft mit Wehrmachtsröhren (Bild 30).

Da die „Pendler“ die Qualitätsanforderungen naturgemäß nicht erfüllen konnten (schließlich sollte mit der FM ja eine bessere Tonwiedergabe als bei AM auf Kurz-, Mittel- und Langwellen ermöglicht werden) wurden spezielle Superhet-Schaltungen entwickelt und zumeist in die AM-

Empfänger integriert. Hierzu wählte man eine zusätzliche (höhere) Zwischenfrequenz (bei Rundfunkempfängern 10,7 MHz, um eine größere Bandbreite für die breiteren FM-Signale zu erreichen, während der ZF-Zweig für AM bei den bisher zumeist üblichen 468 kHz verblieb). Zur FM-Demodulation benötigte man zwei neuartige Funktionen – einen Begrenzer, um Spannungsspitzen und unerwünschte Amplitudenmodulation zu beseitigen, sowie einen FM-Demodulator. Zur Rückgewinnung der Niederfrequenz benutzt man (auch heute noch) einen Diskriminator, in welchem die FM in AM umgewandelt (Bild 31) und dann wie diese gleichgerichtet wird. Eine Sonderform ist der Ratio-Detektor, der zugleich eine Begrenzerfunktion besitzt. Übrigens wurden Diskriminatoren bereits viele Jahre zuvor bei Telegrafieübertragung über Funk und im Weitverkehr eingesetzt.

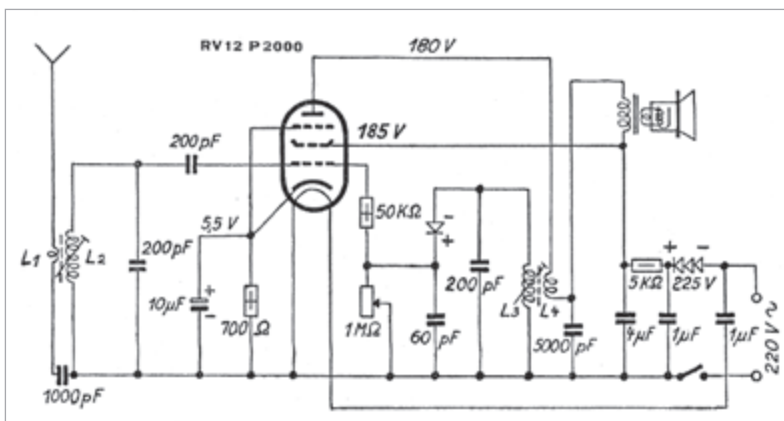


Bild 30: Vorschlag für einen Reflexempfänger mit Wehrmachtswelle im Jahr 1947. Abb. aus [14].

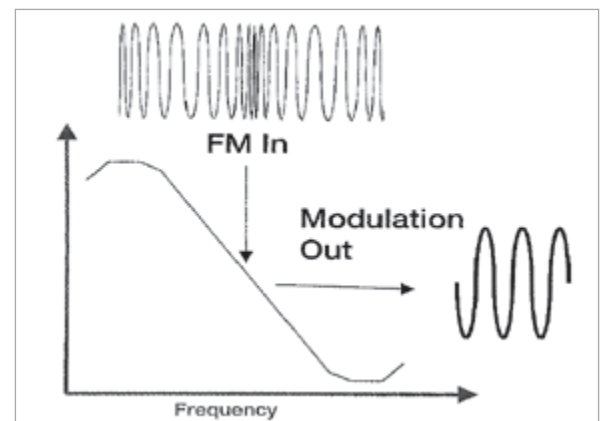


Bild 31: Wandlung von FM in AM an einer geraden Kennlinie. *Abb. aus [19].*