

Synchron- / Homodyn-Empfang (1)

AUTOR



PROF. DR. BERTHOLD BOSCH
Bochum
Tel. 0234 791481

Von der GFGF zur Veröffentlichung im Radiomuseum zur Verfügung gestellt.

Seit Beginn des Rundfunks in den 1920er Jahren wurde immer wieder untersucht, ob sich das Synchron-Empfangsverfahren mit seinen prinzipiellen Vorteilen für den Rundfunkempfang nutzen ließe. Beim Synchronempfang erfolgt die Rückgewinnung des Modulationsinhaltes aus dem Empfangssignal durch Abwärtsmischung mit einer im Empfänger erzeugten Schwingung, deren Frequenz genau der Trägerfrequenz des Empfangssignals entspricht. Es erfolgt eine Mischung auf die „Zwischenfrequenz“ null. Wenn es um Demodulation von Zweiseitenband-AM geht, ist die Spiegelfrequenz, die beim Superhet Probleme bereiten kann, gleichberechtigt. Denn auf der Spiegelfrequenz liegt eines der beiden die Nutz-

information enthaltenden Seitenbänder. Beide Seitenbänder gelangen übereinander gefaltet in das Durchlassband des NF-Verstärkers (Bild 1). Nach einer Definition in [1] ist der Synchron-Empfang ein Teilgebiet des Homodyn-Empfangs, der auch noch den quasi-beziehungsweise asynchronen Quadratur-Empfang umfasst. Letzterer wird im folgenden nicht betrachtet, und das Synchron-Verfahren hier – wie weitge-

hend üblich – vereinfachend als Homodyn-Verfahren bezeichnet. Allein der Durchlassbereich des Basisband-(NF-)Verstärkers legt die Selektion des Empfängers fest, jedenfalls im Prinzip. Dieses verblüffend einfache Verfahren erregte das Interesse von Empfänger-Entwicklern.

Mit einem Experimentier-Röhrenaudio (siehe Abschnitt „Eigene Homodyn-Experimente“) konnte ich im Schwingzustand den Einseitenband-(ESB-)Sprechfunk der Funkamateure hören (Autodyn-, Direktmischung). Das bewog mich, es auch mit Homodyn-Empfang zu versuchen. Über dessen Grundzüge hat DR. A. STOLL 1994 in der Funkgeschichte berichtet [2]. Von ihm ist eine umfassende theoretische Analyse des AM-Homodyn-Empfangs als GFGF-Themenheft in Vorbereitung. Dank integrierter Schaltungen werden moderne Homodyn-Verfahren heute vielfach angewendet, so in Mobilfunk-Empfängern.

Arten des Überlagerungsempfangs

In den USA schlug R. FESSENDEN 1901 ein Heterodyn-Empfang (von hetero = anders) genanntes Verfahren vor, um tonlose Telegrafie hörbar zu machen. Dabei wurden zwei, etwa um 1 kHz in ihrer Frequenz versetzte Schwingungen ausgesendet, von denen eine die Telegrafie-Information enthielt. Diese erzeugten in der Empfängerspule mit Eisenkern ein Schwebungssignal, das zum Kopfhörer gelangte (Bild 2).

Als die ersten Röhren erschienen, ließ sich H. ROUND 1912 eine Schaltung patentieren, in der eine Triode nicht nur als frequenzversetzt arbeitender Oszillator wirkt, sondern gleichzeitig als additiver Demodulator das Schwebungssignal erzeugt. ROUND nannte diese Schaltung Autodyn-Empfänger (auto = selbst). Eine Schaltung derselben Art schlugen 1913 ARMSTRONG und MEISSNER (Schwingaudion, „Selbstüberlagerer“) vor.

Bald wurde diese Schaltung – leicht anders betrieben – auch zur Demodulation von AM-Sendungen verwendet (Patentanmeldung von B. W. KENDALL, 1915). Der Oszillator der Autodyn-Schaltung war nun genau auf die Trägerfrequenz des Empfangssignals abzustimmen, was ihn synchronisierte (siehe unten). Bei Synchronisation verschwand der Schwebungston, das Pfeifen bis Knurren. Im Anodenkreis der Röhre fiel das demodulierte NF-Signal an. Bild 3 zeigt die Schaltung, die durch die Gitterbatterie (Anodengleichrichtung) als Detektor wirkte. Sie wurde später Homodyn-Empfänger (homo = gleich) genannt.

Im 1. Weltkrieg entstanden empfindliche Spezialempfänger, bei denen die Empfangs-

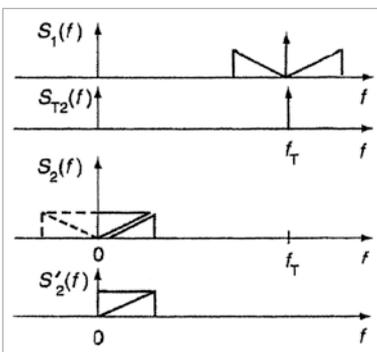
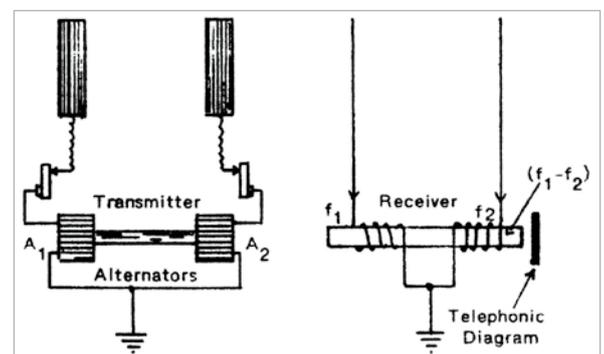
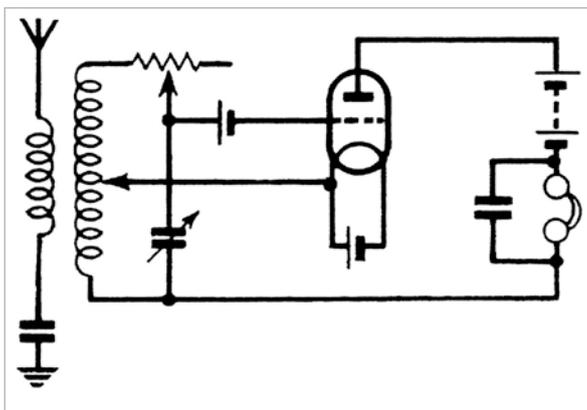


Bild 1: Demodulation eines Zweiseitenband-AM-Signals durch Mischung mit zugeführter Trägerschwingung f_T .

Bild 2: Heterodyn-System nach Fessenden, US-Patent 706 740 von 1901.





frequenz zunächst auf eine feste niedrige Frequenz, die Zwischenfrequenz, umgesetzt wurde. Dort ließ sich eine hohe Verstärkung leichter erreichen. Damit war das Superheterodyn-Verfahren erfunden (super = darüber; oberhalb der hörbaren Frequenzen), und zwar wohl unabhängig voneinander durch L. LEVY (1917), E. ARMSTRONG und W. SCHOTTKY (beide 1918).

Vorteile des Homodyn-Empfangs

Für diese Betrachtung ist zwischen additiver und multiplikativer Mischung und Demodulation zu unterscheiden. Für additive Mischung wird ein Bauelement mit Knick- oder gekrümmter Kennlinie benötigt. Die zu mischenden Signale werden überlagert und derselben Elektrode des Bauelementes zugeführt. Mit aktiven Mehrpolen lässt sich auch eine multiplikative Mischung vornehmen, wenn zwei Steuereingänge vorhanden sind. Man spricht dann von einem Produkt-Mischer, da (mathematisch) das Produkt der Multiplikation beider Signale am Ausgang erscheint. Mehrgitterröhren sind hierfür geeignet. Bei ihnen wird über ein zweites Steuergitter die Röhren-Steilheit im Takt der Oszillatorfrequenz geändert (Elektronen-Verteilungssteuerung). In neuerer Zeit verwendet man Dual-Gate-FETs.

Setzt man einem empfangenen AM-Signal vor seiner additiven Demodulation eine lokal erzeugte Trägerspannung großer Amplitude synchron zu, so wachsen die erhaltene NF-Amplitude und die Trennschärfe. Die demodulierte Nutzausgangsspannung steigt quadratisch an, während sie mit dem gleichzeitig effektiv kleiner werdenden Modulationsgrad nur linear sinkt. Das führt zu einer größeren NF-Amplitude und einer Reduzierung des Klirrfaktors. Weiter erfolgt eine linear mit der Nutzträgeramplitude wachsenden Unterdrückung der Modulation eines benachbarten, nicht-synchronisierten Störsignals. Eine Trägerzusatz-Methode ohne Verwendung eines lokalen Oszillators schlug E. Y. ROBINSON 1922 vor. Er filterte den Träger aus dem Eingangssignal aus,

bei AM-Signalen auch durch Signalbegrenzung möglich, und verstärkte es (Bild 4). ROBINSONS Verfahren, bei dem lineare Demodulation erreicht wird, ist mit dem Homodyn-Empfang verwandt – Bei multiplikativer Demodulation erzielt man durch den Trägerzusatz neben dem NF-Amplitudengewinn eine höhere Selektion gegenüber einem Störsenders als im additiven Fall. Dies folgt daraus, dass im Demodulator nur das zweite Steuergitter erhält. passende, zusätzliche Trägerspannung erhält. Bei multiplikativer Demodulation kommt es nicht auf die Amplitude des Trägerzusatzes an.

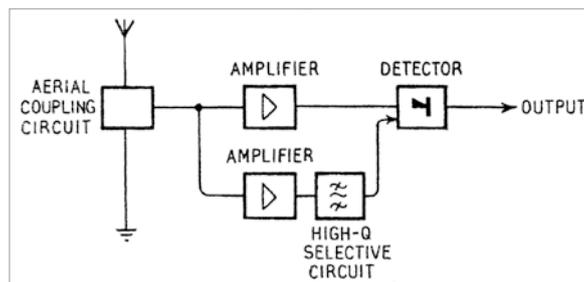


Bild 3:
Homodyn-System nach Kendall, US-Patent 1 330 471 von 1915.

Bild 4:
Empfänger mit Trägerzusatz nach ROBINSON [6], Brit. Patent 201 591 von 1922.

Insgesamt weist die Homodyn-Demodulation folgende Vorteile auf [3, 4, 13]:

- Einfache Schaltung, da in erster Linie der Durchlassbereich des Basisband-Verstärkers die Selektion bestimmt.
- Erhöhte Selektion gegenüber Störsendern durch den synchronisierten Lokal-Oszillator (nichtlineare Frequenz-Diskriminierung, siehe „Unmittelbare Nachkriegszeit“).
- Überlegenheit bei schwachen Empfangssignalen, das heißt bei schlechtem Signal-Rausch-Verhältnis im Empfangskanal (höhere Empfindlichkeit). Eine für die Demodulation zu überwindende Schwelle, wie beim klassischen Hüllkurven-Detektor, besteht nicht.
- Weitgehende Immunität gegen selektiven Trägerschwund.
- Trennschärfe und Tonqualität sind bei AM-Empfang unabhängig voneinander.

Auftretende Probleme

Die Frequenz des erzeugten Oszillatorsignals muss exakt mit der Trägerfrequenz des zu demodulierenden Empfangssignal übereinstimmen. Zunächst verwendete man fast ausschließlich das Verfahren der Injektions-Synchronisation. Bei ihm bringt ein eingespeistes externes Signal, hier das Empfangssignal, einen mit einer genügend benachbarten Frequenz freischwingenden Oszillator dazu, exakt die Frequenz des eingespeistes Signals anzunehmen – er wird „mitgenommen“. Neben H. G. MÖLLER (siehe unten) untersuchten VAN DER POL und APPLETON 1922/23 diesen Effekt eingehend.

Es tritt ein Einrast-Frequenzabstand auf, der unter der Bedingung $U_i \ll U_o$ die Breite

$$\Delta f \approx (f/2Q) \cdot U_i/U_o \quad (1)$$

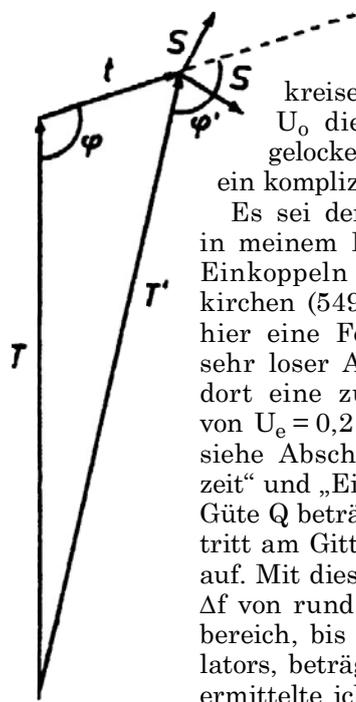


Bild 5: Verzerrungen durch Phasenwinkel φ zwischen Empfangsträger t und Zusatzträger T [3].

Bild 6: Entlang des Mitnahmebereichs sich zwischen der Phase $\varphi = +90^\circ$ und -90° ($-\pi/2$) ergebende a) Verzerrungen (Distortion) bei additiver und b) Lautstärkeabnahme (Volume) bei multiplikativer Demodulation [Curtis].

hat [5a]. Dabei bedeuten f die Arbeitsfrequenz, Q die Betriebsgüte des Oszillator-Schwingkreises, U_i die injizierte Spannung und U_o die Oszillatorspannung. Unter der gelockerten Bedingung $U_i < U_o$ findet sich ein komplizierterer Ausdruck für Δf in [5b].

Es sei der Einrastabstand angegeben, der in meinem Experimentier-Schwingaudion bei Einkoppeln des Bezirkssenders DLF/Nordkirchen (549 kHz) auftritt. Dieser Sender hat hier eine Feldstärke von 50 mV/m, was bei sehr loser Ankopplung an den Schwingkreis dort eine zu demodulierende HF-Spannung von $U_e = 0,2$ V hervorruft (mehr ist nachteilig; siehe Abschnitte „Unmittelbare Nachkriegszeit“ und „Eigene Homodyn-Experimente“). Die Güte Q beträgt etwa 100. Nach Schwingeneinsatz tritt am Gitterkreis eine Spannung U_o von 1 V auf. Mit diesen Werten ergibt sich ein Abstand Δf von rund 0,5 kHz. Der Gesamt-Mitnahmebereich, bis wieder zum Ausrasten des Oszillators, beträgt also $2\Delta f \approx 1$ kHz. Experimentell ermittelte ich 1,5 kHz. Mit der üblichen Drehko-Übersetzung kann man diesen Mitnahmebereich gut treffen. Schwierig bis unmöglich wird es bei einem schwachen Fernsender, selbst mit einem Fein-Drehko. Dann hilft nur eine Vorverstärkung und/oder ein Phasenregelkreis für die automatische Synchronisation des Oszillators (siehe unten).

Bei erfolgter Synchronisierung ist der zwischen Eingangsträger- und Oszillatorspannung bestehende Phasenwinkel nicht generell null. Vielmehr stellt sich ein Phasenterschied φ zwischen ihnen ein. Und zwar beträgt dieser Winkel φ an der Einrastgrenze 90° , sinkt schnell wenn der Oszillator zur Mitte des Mitnahmebereichs hin abgestimmt wird und hat nur dort den Wert null. Bei weiterer Verstimmung des Kreises nimmt φ negative Werte an, bis beim Erreichen von -90° das Ausrasten erfolgt. Formelaudrücke für die im eingerasteten Zustand auftretende Phasendifferenz finden sich in [5 a,b] und [13].

Von Nachteil kann der sich einstellende Phasenwinkel φ' zwischen dem neuen Träger T' und der Summe der Seitenbänder sein, wie das Zeigerdiagramm Bild 5 illustriert. Die Längenschwankung der Summe von Träger und Seitenbändern ist nicht mehr sinusförmig. Für kleine Werte von U_e/U_o ist φ' praktisch gleich dem gerade erwähnten Winkel φ . Ein bestehendes φ ergibt bei additiver Demodulation die NF-Ausgangsspannung

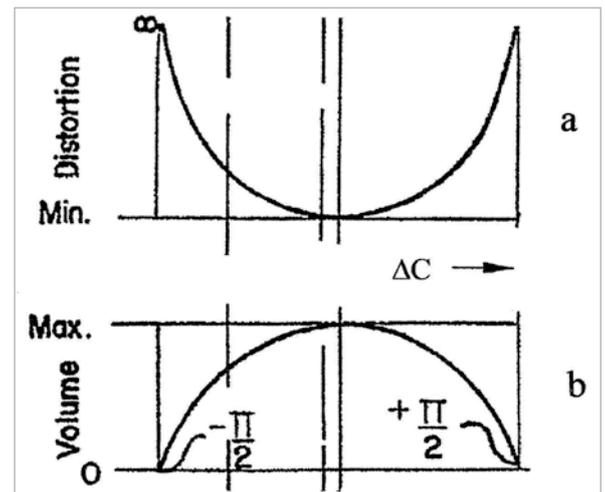
$$u_m \sim \cos(\omega_m t + \varphi), \quad (2)$$

was bei $\varphi \neq 0$ zu nichtlinearen Verzerrungen führt (Bild 6 a). Bei multiplikativer Demodulation dagegen ergibt sich für das Ausgangssignal

$$u_m \sim \cos \varphi. \quad (3)$$

Verzerrungen treten hier nicht auf. Je nach Größe von φ kommt es aber zu einer Abnahme der Amplitude. Bei $\varphi = \pm 90^\circ$, das heißt am Beginn und am Ende des Mitnahmebereichs, ist das Signal völlig ausgelöscht (Bild 6 b). Der Oszillator sollte deshalb möglichst auf die Mitte des Bereichs abgestimmt sein.

Bestehend ist beim Homodyn-Empfänger die Festlegung der Selektion allein durch den Durchlassbereich des NF-Verstärkers hinter dem Demodulator. In der Praxis, jedenfalls für Rundfunk-Empfang, lässt sich dieser Vorteil ohne großen Aufwand kaum nutzen. Für die Oszillator-Synchronisation und für den Demodulator ist in beiden Fällen ein Empfangssignal von etwa 100 mV zweckmäßig (siehe Abschnitte „Unmittelbare Nachkriegszeit“ und „Eigene Homodyn-Experimente“). Wird zum Beispiel eine Empfindlichkeit von 50 μ V angestrebt, der Wert eines besseren Zweikreisempfängers, erfordert dies eine breitbandige aperiodische Vorverstärkung um immerhin den Faktor 2 000. Diese Forderung ist schwer zu erfüllen. Selbst bei Beschränkung auf den Mittel- und Langwellenbereich, das heißt auf eine Bandbreite von 1,5 MHz, sind noch drei bis vier Verstärkerstufen mit steilen Pentoden nötig. Folglich wird man eher eine abgestimmte Vorstufe verwenden. Günstiger liegt es beim schon erwähnten Mobilfunk-Empfang, wo die Betriebsfrequenzen einige hundert MHz bis zu einigen GHz betragen und Nutzbänder von 50 MHz typisch sind. Das abzudeckende Band beträgt relativ also weniger als 10% der Betriebsfrequenz. Hier lassen sich aperiodische Verstärker mit hohem Verstärkungsgrad (LNAs) gut realisieren.



Im Folgenden werden zunächst die wichtigsten über die Jahre entwickelten Schaltungen geschildert [6]. Hilfreich war eine von A. STOLL erstellte Literatur- und Patentliste [7].

Früher Rundfunkempfang

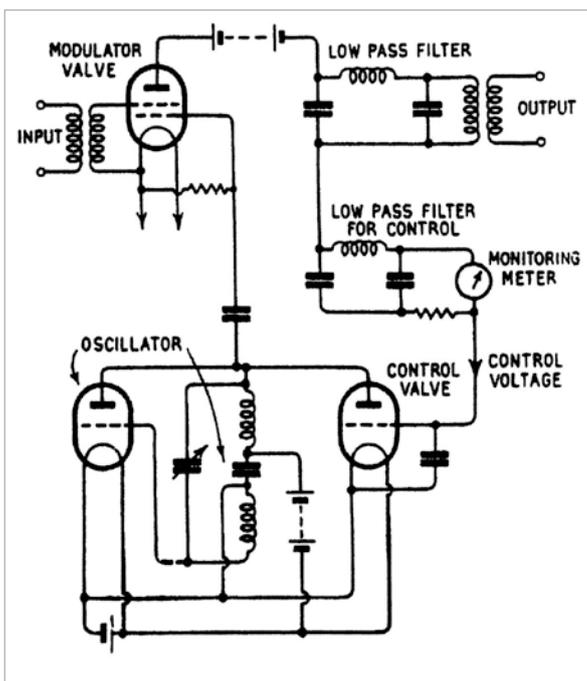
Ein Schwingaudion mit induktiver Rückkopplung benutzte H. G. MÖLLER 1922 für Homodyn-Empfang, allerdings von Telegrafie-Sendungen. Dabei stieß er auf „die merkwürdige Erscheinung, dass ein Fremdsender die lokal erzeugte Schwingung mitnehmen“ konnte und im Mitnahmebereich der Anodengleichstrom deutlich absank [8]. Den Effekt der Anodenstrom-Änderung bei Einfallen eines synchronisierenden Signals bezeichnete er als Gleichstromempfang. MÖLLER stellte überrascht fest, dass der Homodyn-Empfang empfindlicher und störungsfreier war als der mit normalem Audion.

Frühe Bastler, denen es um Homodyn-Emp-

fang ging, verwendeten oft die einfache Schaltung nach KENDALL, Bild 3. Sehr engagiert beim Homodyn-Empfang war 1923/24 F. M. COLEBROOK, der die üblichere Schaltung mit induktiver Rückkopplung bevorzugte [9]. Er konnte den 20 km entfernten Londoner Sender 2 LO hören, und zwar mit „vollem, reichen“ Ton. Fernempfang und erhöhte Trennschärfe wurden nicht erwähnt. Die Notwendigkeit einer Vorverstärkung war ihm bewusst. Wenn das Einrasten nicht gelang, traten manchmal überraschende Verzerrungen auf. „Ein Bariton-Solo hörte sich dann wie ein misstönendes Duett aus Bass und Sopran an.“ Aber ein Pfeifton entsprechend dem Frequenzversatz zwischen

Seitenbändern und Oszillator hätte eigentlich die Gesangsdarbietung übertönen müssen. Dass sich in den 20er und 30er Jahren nicht nur Amateure, sondern auch Radio-Hersteller im In- und Ausland mit Homodyn-Empfang befassten, geht aus zahlreichen Patentanmeldungen hervor.

Die Zeitschrift „Radio für Alle“ berichtete 1932 über einen von F. REIMANN entwickelten Synchron-Empfänger [10]. An seinem Wohnort Erfurt sei der 100 km entfernte Sender Leipzig „im herrschenden Wellenchaos völlig frei von benachbarten Sendern“ zu hören gewesen. Reimann verwendete ein rückgekoppeltes Audion, das synchronisiert wurde und auf eine Vorstufe folgte. Dem Hauptdrehko lag ein Feindrehko von 10 pF parallel. Weitere Schaltungsdetails fehlen. REIMANN verfasste das Heft 35 der Deutschen Radio-Bücherei, welches den Titel „Der Vier-Röhren-Synchronempfänger“ trägt. Ich habe dieses Heft nicht auftreiben können.



Beseitigung von Schwachstellen

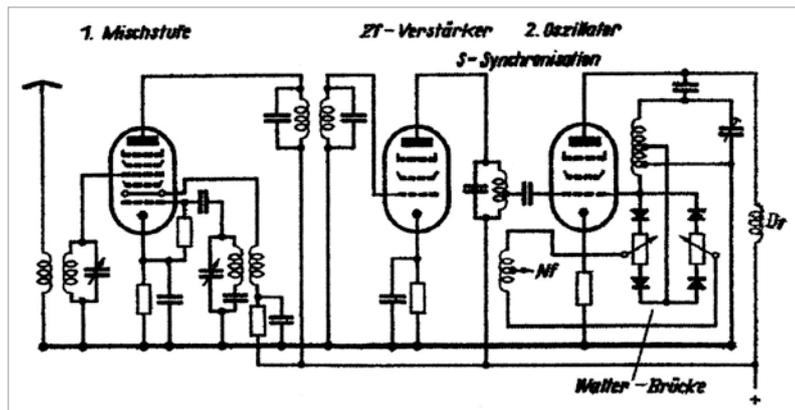
Einen deutlichen Fortschritt bedeutete die von H. DE BELLESCIZE in einer Patentanmeldung von 1930 (Brit. Patent 392 567) vorgeschlagene Schaltung [11], deren wesentlichen Teil Bild 7 zeigt. Der synchronisierte Oszillator ist nicht mehr gleichzeitig Demodulator. Vielmehr ändert eine kapazitiv wirkende Reaktanzröhre die Oszillatorfrequenz solange, bis Synchronisation erreicht ist. Unklar ist mir, wie die „control valve“ in Bild 7 als Reaktanzröhre wirkt. Dieses Prinzip der Oszillator-Nachstimmung wurde zu einem Standardverfahren.

In einem 1932 angemeldeten Patent machte R. URTEL den Vorschlag, multiplikative Demodulation in einer Pentode anzuwenden (DRP 670 585). Dabei soll die Empfangsspannung dem ersten Gitter und die getrennt erzeugte, synchronisierte Oszillatorspannung dem Hilfgitter (Bremsgitter) zugeführt werden. Die Hilfgitterspannung ändert dabei im Rhythmus der Oszillatorfrequenz die Steilheit der Röhre.

Bild 7:
BELLESCIZES
Homodyn-
Anordnung
mit Reaktanz-
röhre [6, 11].

Bild 8:
Isodyn-Emp-
fänger nach
HEITIN [12].

fang ging, verwendeten oft die einfache Schaltung nach KENDALL, Bild 3. Sehr engagiert beim Homodyn-Empfang war 1923/24 F. M. COLEBROOK, der die üblichere Schaltung mit induktiver Rückkopplung bevorzugte [9]. Er konnte den 20 km entfernten Londoner Sender 2 LO hören, und zwar mit „vollem, reichen“ Ton. Fernempfang und erhöhte Trennschärfe wurden nicht erwähnt. Die Notwendigkeit einer Vorverstärkung war ihm bewusst. Wenn das Einrasten nicht gelang, traten manchmal überraschende Verzerrungen auf. „Ein Bariton-Solo hörte sich dann wie ein misstönendes Duett aus Bass und Sopran an.“ Aber ein Pfeifton entsprechend dem Frequenzversatz zwischen



K. W. JARVIS empfahl in einer Patentanmeldung von 1933, den Empfänger im ersten Teil als gewöhnlichen Superhet auszuführen und dann auf der ZF-Ebene eine Homodyn-Modulation vorzunehmen (U.S. Patent 2 166 298). So benötigte man einen synchronisierten Oszillator mit lediglich fester (ZF-)Frequenz. Dieses Empfängerkonzept erlangte große Bedeutung. Eine einfache Version, die der betreffende Autor als Isodyn-Empfänger bezeichnete und mit einem Ring-Modulator versehen, wurde 1949 beschrieben [12], (Bild 8).

Eine interessante Schaltung findet sich in einer Patentanmeldung von L. F. CURTIS aus dem Jahr 1939 (Britisches Patent 536 917), Bild 9. Die Schaltung verfügt über eine Reaktanzröhre zur Oszillatorabstimmung in einem Phasenregelkreis (PLL). Der Aufwand an Bauelementen ist stark gewachsen.

MENDE mit nur kleinen Änderungen für einen Bauvorschlag in seinem 1949 erschienenen Radio-Baubuch [14], (Bild 10). Ein Vorverstärker mit abstimmbarem Leitkreis (Gitter-Parallelkreis bei TUCKER) ist vorgesehen. Das verstärkte Empfangssignal wird am Katodenwiderstand der zweiten Vorstufenröhre abgenommen und als Synchronisierspannung der Oszillatorröhre zugeführt, außerdem dem Demodulator. Die erzeugte Oszillatorspannung steuert einen Ringmischer zur Demodulation, der mit der Oszillatorfrequenz getaktet wird. Leider wird nicht über erzielte Ergebnisse berichtet. In MENDES Gerät fehlt eine bei TUCKER vorgesehene Zusatzschaltung zur Unterdrückung des Interferenz-Pfeifens. Diese bestand aus einer im nicht-synchronisierten Zustand wirkenden, einfachen NF-Stummschaltung.

Als wichtigste Eigenschaft des Homodyn-Empfängers gilt die erzielbare hohe Trennschärfe, wenn das Verhältnis von injizierter Spannung zur Oszillatorspannung klein ist, etwa 1:10...15 [13]. Eine Grenze setzt die Schrumpfung des Mitnahmebereichs. Das Oszillatorsignal hebt zunächst das Empfangssignal vom quadratischen in den linearen Bereich der Detektor-Kennlinie. Dabei erfolgt eine verstärkte Unterdrückung benachbarter Störsender [15]. Nach TUCKER bewirkt der hochregenerative Oszillator

- eine weitere „Amplituden-Diskriminierung“ von Störsignalen und
- wegen seiner stark frequenzselektiven Nicht-linearität eine zusätzliche, mit kleiner werdender Synchronisierspannung wachsende „Frequenz-Diskriminierung“.

Da die Oszillator-Spannung bei Mitnahme unabhängig vom Injektionspegel konstant bleibt, steigt mit abnehmender Injektionsspannung die „Verstärkung“ bei Mitnahmeschrumpfung (Bild 11). TUCKER erzielte im MW-Bereich eine Trennschärfe bis zu 60 dB, was dem Wert eines 6-Kreis-Superhets entspricht. Die Seitenbänder bleiben dabei unbeschnitten.

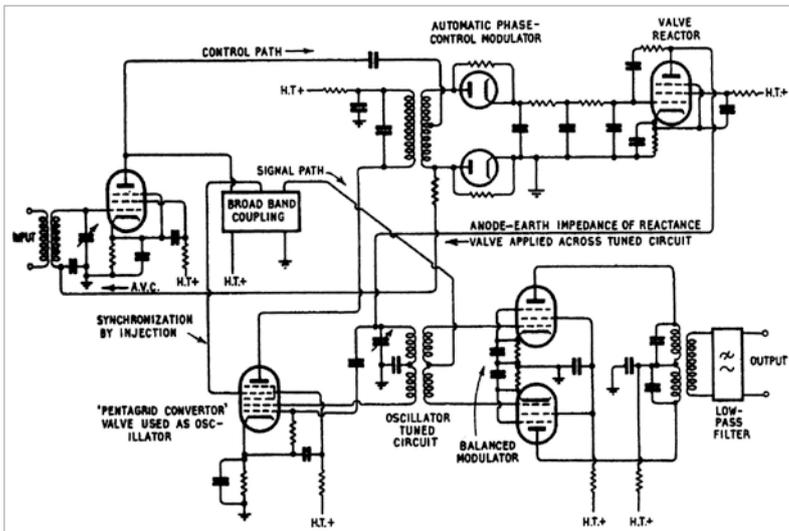


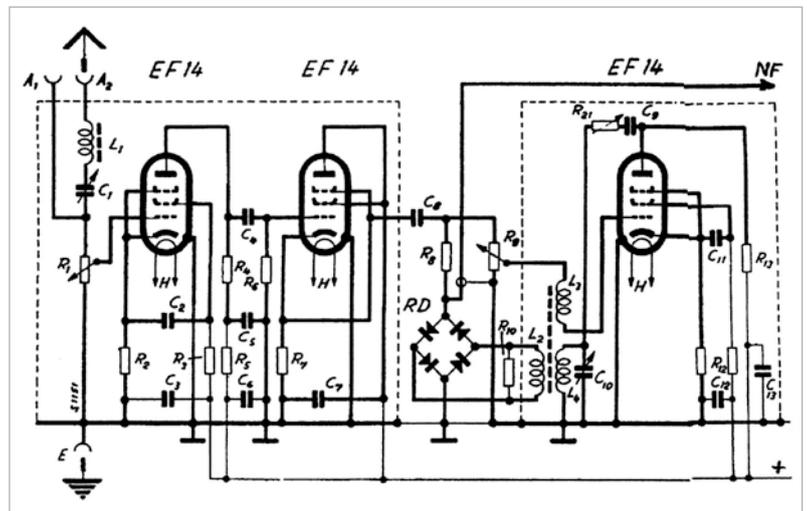
Bild 9:
Homodyn-Empfänger mit PLL nach CURTIS [6], Brit. Patent 536 917 von 1939.

Unmittelbare Nachkriegszeit

In den Nachkriegsjahren zeigte sich ein verstärktes Interesse am Homodyn-Verfahren für den Rundfunkempfang. Der Grund waren die damals katastrophalen Verhältnisse im überfüllten Mittelwellenband. Als ab 1949 der UKW-Rundfunk mit Frequenzmodulation seinen Siegeszug antrat und kurz später das Fernsehen zum Publikums-Magneten wurde, schwand das Interesse. Philips, Telefunken, Rhode & Schwarz und andere waren damals mit Homodyn-Studien beschäftigt.

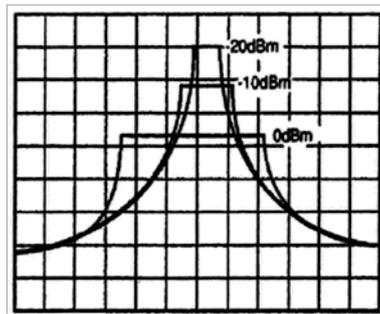
Bild 10:
Homodyn-Empfänger von MENDE [14].

In England beschäftigte sich D. G. TUCKER mit dem Homodyn-Empfang [13]. TUCKERS Schaltung übernahm H. G.



Eine wesentliche Verbesserung der Eigenschaften bedeutete eine 1948 vorgenommene Erweiterung um PLL mit VCO [16]. Das Eingangssignal und der synchronisierte Oszillator wirken auf einen Phasendiskriminator (Kontroll-Modulator), dessen Ausgangssignal über eine Reaktanzröhre den Oszillator nachstimmt. Bei KW-Empfang ist ein solches Verfahren fast Voraussetzung. Mit Röhren realisiert, war TUCKERS Empfänger nun sehr voluminös.

1953 brachte die Firma Körting einen Synthesektor genannten Superhet heraus. Für verbesserten UKW-Fernempfang enthielt dieses Gerät zwischen dem ZF-Verstärker und dem Diskriminator einen auf 2,14 MHz, also einer Subharmonischen der ZF von 10,7 MHz, schwingenden Oszillator, den das ZF-Signal synchronisierte. Das auf diese Weise „mitgenommene“ Oszillatorsignal, das die FM mit reduziertem Hub enthielt, wurde dem Diskriminator zugeleitet. Da Störfrequenzen den Oszillator nicht synchronisieren konnten, ergab sich eine erhöhte Trennschärfe.



in CMOS-Technologie [17].

lierte Signale demoduliert werden können. Durch geringe Erweiterung der Schaltung lässt sich bei AM-Signalen das obere oder untere Seitenband wahlweise allein wiedergeben. Eine solche Schaltung schlug zuerst 1928 R. HARTLEY schon vor. Einfache Homodyn-Empfänger der in Bild 11 skizzierten Art existieren heute bereits als Ein-Chip-Lösungen

Bild 11: „Oszillatorverstärkung“ im Mitnahmebereich bei verschiedenen Injektionspegeln (HICKMANN).

Integrierte Schaltungen machen's möglich

Als ICs Stand der Technik wurden, ließen sich auch komplexe Homodyn-Empfänger mit kleinen Abmessungen realisieren. Neue Anwendungsgebiete taten sich auf. So liefert in der Radartechnik synchrone Demodulation des rückgestrahlten Signals mehr Informationen über das Zielobjekt. Vor allem die Wiederbelebung des Themas „wireless“ durch neue Mobil- und stationäre HF-Anwendungen machte den Homodyn-Empfänger (zero-IF receiver) wieder interessant. Ein Hauptvorteil war der Wegfall platzaufwändiger HF-Filter. Auch bei Satelliten- und optischen Verbindungen findet man Homodyn-Empfänger.

Eine moderne Standard-Konfiguration zeigt als Blockschaltung das Bild 12. Mit dieser Schaltung lassen sich sowohl AM- als auch FM-Signale demodulieren. Nach einer Vorverstärkung (LNA) und eventueller Frequenzumsetzung gelangt das Empfangssignal s_E an den oberen Produktmischer, dessen Ausgangssignal in einer PLL einen VCO nachstimmt. Dessen Signal speist sowohl den oberen, als auch – über ein 90°-Phasenstellglied – den unteren Mischer. Am Ausgang des unteren fallen die demodulierten AM-Seitenbänder an. Die 90°-Schiebung ist wegen der Phasendrehung im VCO erforderlich. Im oberen Zweig von Bild 11 erfolgt dagegen eine 90°-Mischung, mit der phasenmodu-

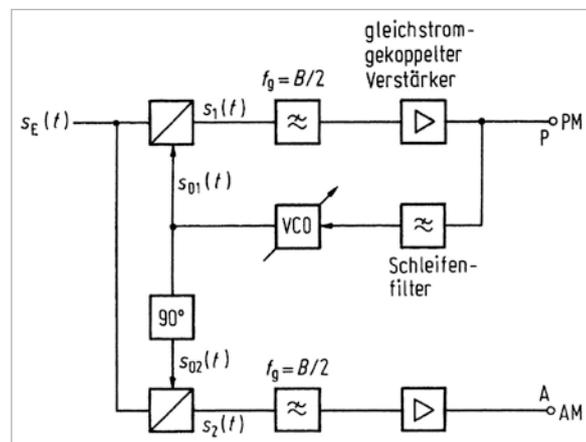


Bild 12: Prinzip eines modernen Homodyn-Empfängers [1].

Im zweiten Teil lesen Sie über die Erfahrungen, die der Autor mit eigenen Homodyn-Experimenten sammeln konnte.

wird fortgesetzt

QUELLEN TEIL 1

- [1] Meinke-Gundlach: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik. Berlin 1986. Band 3, S. Q6.
- [2] A. Stoll: Homodyn-Empfänger. FunkGeschichte Nr. 99 (1994), S. 264 - 267.
- [3] J. Hacks: Empfang gestörter AM-Sendungen. Elektron. Rundschau 1955, S. 256 - 260.
- [4] P. F. Panter: Modulation, Noise, and Spectral Analysis. New York 1965.
- [5] a) R. Adler: A Study of Locking Phenomena in Oscillators. Proc. IRE, 34 (1946) S. 351 - 357; b) L. J. Paciorek: Injection Locking of Oscillators. Proc. IEEE, 53 (1965), S. 1723 - 1727.
- [6] D. G. Tucker: The History of the Homodyne and Synchrodyne. J. Brit. IRE, 1954, S. 143 - 154.
- [7] A. Stoll: Literatur- und Patentliste zum Homodyn-/Synchrodyne-Empfang und zur Oszillator-Synchronisation. Unveröffentlicht.
- [8] H. G. Möller: Über störungsfreien Gleichstromempfang mit dem Schwingaudion. Jb. Drahtlose Telegraphie u. Telephonie, 17 (1922), S. 256 - 287.
- [9] F. M. Colebrook: Homodyne. Wireless World and Radio Rev., Febr. 1924, 645 - 648.
- [10] Radio für Alle. a) Heft 3, 1932, S. 100 - 101; b) Heft 6, 1932, S. 241.
- [11] H. de Bellescize: La Réception Synchrone. L'Onde Électrique 11 (1932), S.209 - 266.
- [12] Th. Heitin: Isodyn-Empfänger. Funkschau, Heft 8, 1949, S. 14.
- [13] D. G. Tucker: The Design of the Synchrodyne Receiver. Part I: Electronic Engineering, Aug. 1947, S. 241 - 245; Part II: Sept. 1947, S. 276 - 277. Referiert von H. Richter in Funkschau, Heft 10, 1948, S. 113 - 114; auch in Funk und Ton, Hefte 3/1947 und 6/1948.
- [14] H. G. Mende: Das Radiobaubuch. Bielefeld 1949
- [15] H. Pitsch: Lehrbuch der Funkempfangstechnik. Leipzig 1948.
- [16] D. G. Tucker, J. Garlick: The Synchrodyne, Refinements and Extensions. Electronic Engineering, Febr. 1948, S. 49 - 54.
- [17] Ch. Dürdott: Untersuchung und Entwurf von Bluetooth-Empfängern für Ein-Chip-Lösungen. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2003.