

Anmerkungen zu dem Beitrag „Homodyn-Demodulation“, der von der Redaktion der *Funkgeschichte* gestaltet wurde nach einem Manuskript und Briefen von W. Häusle † 2003, welche B. Kohler (GFGF) der Redaktion zur Verfügung gestellt hatte.

Im Frühjahr 1996 hat W. HÄUSLE mir in einem kurzen Briefwechsel über seine Homodyn-Empfänger Entwicklungen berichtet und er hat seine Erfahrungen mit diesen Geräten und die erzielbaren Empfangsergebnisse beschrieben. Ich habe Herrn Häusle ermuntert, seine Kenntnisse und Erfahrungen über den Homodyn-Empfänger in einem Bericht für die *Funkgeschichte* niederzuschreiben, leider wurde sein Manuskript damals nicht zur Veröffentlichung angenommen.

1995/96 hatte ich selbst nur rudimentäre Kenntnisse über Homodyn-Empfänger, erst im Jahr 2006, für Herrn Häusle leider viel zu spät, habe ich begonnen, mich intensiver mit dieser Thematik zu beschäftigen. Und nachdem ich eine Reihe von historischen Homodyn-Empfängern in der Literatur, vorwiegend aber in Patentschriften ausfindig gemacht und ihre Funktionsweise verstanden hatte, wurde mir klar, dass der kohärente Demodulator, den sich W. HÄUSLE ausgedacht hatte, etwas besonderes ist; jedenfalls taucht diese Schaltung in der mir bekannten Literatur nirgends auf.

In dem Beitrag „Homodyn-Demodulation“, welcher in der *Funkgeschichte*, Nr. 180 (Aug., Sept. 2008), posthum veröffentlicht wurde, finden sich etliche Aussagen, die Widerspruch herausfordern können. Ich selbst werde dazu aber keine kritischen Anmerkungen machen, weil der Autor keine Stellungnahmen mehr abgeben kann; davon ausgenommen seien nur die folgenden Feststellungen.

▷ Die Unterschrift zu Bild 1 muss lauten: „Ansicht des Homodyn-Empfängers, wie ihn B. Kohler aus dem Nachlass von W. Häusle erhalten hat.“

▷ Statt „Homodyn-Demodulation“ sollte die Überschrift lauten „Homodyn-Empfänger“. Es heißt ja auch nicht „Heterodyn-Demodulation“ sondern „Heterodyn-Empfänger“. Am ZF-Ausgang eines Heterodyn-Empfängers kann man inkohärente Demodulation anwenden z.B. durch einen Gitter-, Anoden- oder Diodengleichrichter, oder man benutzt kohärente Demodulation, indem man das ZF-Signal mit einer lokal erzeugten Schwingung multipliziert, welche die gleiche Frequenz wie die Träger-schwingung besitzt und phasenstarr mit dieser verkoppelt ist. Ein Homodyn-Empfänger ist streng genommen demzufolge ein Geradeaus-Empfänger mit kohärenter Demodulation des Empfangssignals. Die Unterschrift zu Bild 2 „Homodyn-Superhet“ ist recht unglücklich gewählt. Es handelt sich um einen Heterodyn- also um einen Überlagerungs-Empfänger mit kohärenter Demodulation des ZF-Signals, also um einen Homodyn-Empfänger im weiteren Sinne.

Im folgenden sollen zwei Schaltungsdetails hervorgehoben werden, die nach meiner Meinung in diesem Manuskript von W. HÄUSLE nicht oder nicht genügend behandelt werden.

▷ In dem Abschnitt, der mit den Worten beginnt „Ein zunächst gebauter 2(3)-Kreis-Geradeausempfänger für Mittelwelle . . .“, heißt es am Ende „Zudem ist die Selektivität über das ganze Band hinweg dieselbe. Sie . . . ist offensichtlich eine Konstante der Homodyndemodulation.“ In diesem Homodyn-Empfänger wird die Selektivität nicht durch die HF-Schwingkreise bewirkt, wie W. HÄUSLE selbst feststellt, sondern die Bandbreite (Grenzfrequenz) eines Tiefpasses mit hoher Flankensteilheit ist für die Kanaltrennung verantwortlich. Der Tiefpass, den W. HÄUSLE zu diesem Zweck entworfen hat, ist es durchaus wert, separat betrachtet zu werden.

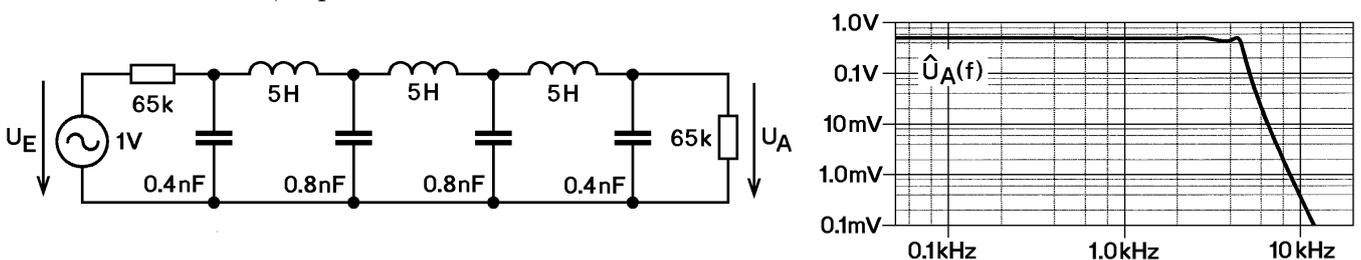


Abbildung 1: Tiefpass zur Kanaltrennung im Homodyn-Empfänger. Der Innenwiderstand der Quelle und der Abschlusswiderstand wurden beide grob zu $65\text{ k}\Omega$ abgeschätzt, theoretisch ergeben sich rund $\sqrt{2,5\text{ H}/0,4\text{ nF}} \approx 80\text{ k}\Omega$. Der Tiefpass 7. Ordnung besitzt jenseits der Grenzfrequenz eine Flankensteilheit von $7 \cdot 20\text{ dB/Dekade}$. Der Amplitudengang wurde mit dem Simulationsprogramm PSpice ermittelt, in der Berechnung sind die Verlustwiderstände der 5 H -Spulen nicht berücksichtigt.

▷ Der kohärente Demodulator in dem 2(3)-Kreis-Geradeausempfänger von W. HÄUSLE

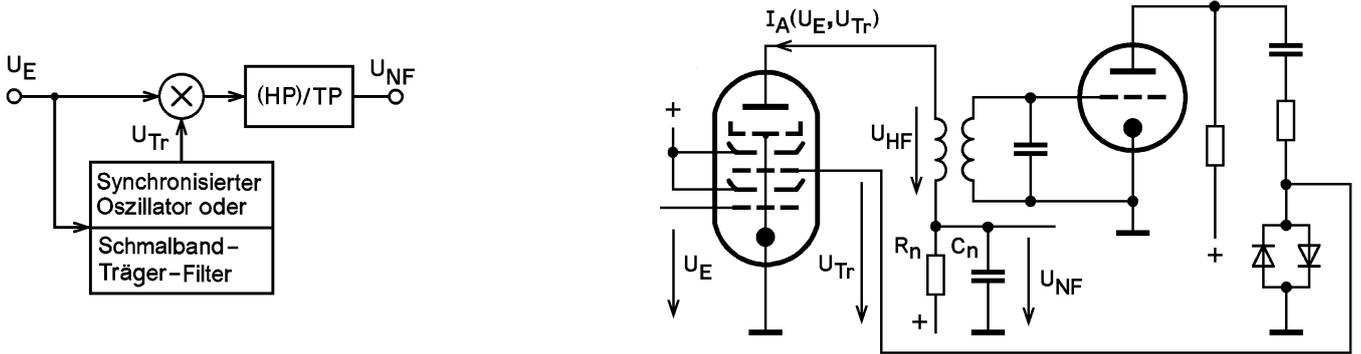


Abbildung 2: *Links:* Prinzipschaltung eines kohärenten Demodulators. Die NF-Ausgangsspannung $u_{NF} \sim (HP)/TP\{u_E \cdot u_{Tr}\}$ ergibt sich aus dem Produkt $u_E \cdot u_{Tr}$ nach Tiefpassfilterung TP und gegebenenfalls Hochpassfilterung (HP) zur Unterdrückung des Gleichanteils.

Zur lokalen Erzeugung der kohärenten Trägerschwingung u_{Tr} aus dem AM-Eingangssignal u_E sind hier der synchronisierte Oszillator und das schmalbandige Trägerfilter, aber nicht die Begrenzung¹ des Eingangssignals als alleinige Methode angeführt.

Rechts: Wie in Mischerschaltungen üblich dient auch hier in dem kohärenten Demodulator von W. HÄUSLE der Heptodenteil der Verbundröhre ECH 81 zur multiplikativen Mischung = Multiplikation der Spannungen u_E und u_{Tr} . Die NF-Komponente dieses Produkts im Anodenstrom $i_{A, NF} \sim u_E \cdot u_{Tr}$ liefert die NF-Ausgangsspannung u_{NF} als Spannungsabfall an den Widerstand R_n .

Das Besondere an dieser Schaltung ist, dass und vor allen Dingen auch wie die Heptode zur Erzeugung der kohärenten Trägerschwingung u_{Tr} eingesetzt wird. Die HF-Komponente im Anodenstrom unter Kleinsignalbedingungen ist proportional zur Eingangsspannung u_E und zur Trägerschwingung u_{Tr}

$$i_{A, HF} = S_1 u_E + S_2 u_{Tr},$$

wobei S_1 , S_2 die Steilheiten der Steuerkennlinien des ersten und zweiten Steuergitters im Arbeitspunkt sind. Diese Anodenstromkomponente $i_{A, HF}$ erzeugt an dem induktiv angekoppelten Schwingkreis, Resonanzfrequenz gleich Trägerfrequenz des Eingangssignals, einen Spannungsabfall, der die Triode ansteuert. Die Ausgangsspannung der Triode liegt am Eingang des spannungsabhängigen Spannungsteilers an, der aus einem Vorwiderstand besteht, 27 k Ω im Bild 2, und den antiparallelen geschalteten Germanium-Dioden OA 96, die als Begrenzer wirken sollen.

Die Trägerschwingung u_{Tr} entsteht hier also *nicht* in direkter Folge aus dem Eingangsspannung u_E , sondern wird quasi rekursiv aus der Eingangsgröße $i_{A, HF} = S_1 u_E + S_2 u_{Tr}$ gebildet. Auch aus dem Schaltbild des kohärenten Demodulators, Abbildung 2, ist ersichtlich, dass die Trägerschwingung u_{Tr} , die am zweiten Steuergitter der Heptode anliegt, einem rückgekoppelten System angehört. Das Vorzeichen der Schleifenverstärkung dieses rückgekoppelten Systems entscheidet darüber, ob Mitkopplung oder Gegenkopplung stattfindet. Dieses Vorzeichen hängt davon ab, wie der induktiv

¹Unter den Voraussetzungen, dass das Eingangssignal ungestört ist und dass der Modulationsgrad immer kleiner als 100% ist, dass also kein selektiver Trägerschwund auftritt, kann man durch Begrenzung eine kohärente Rechteckschwingung erzeugen. Die Schaltung im Bild 2 (*links*) ergibt mit einem Begrenzer allerdings keinen kohärenten Demodulator, vielmehr verhält sich diese Schaltung wie ein Zweiweggleichrichter, also wie ein inkohärenter Demodulator; das wird insbesondere deutlich bei einem gestörten Eingangssignal.

Das ungestörte AM-Eingangssignal sei $u_E(t) = \hat{u}_E(1 + m(t)) \sin \Omega t$, der Modulationsgrad sei $|m(t)| < 1$. Ein idealer Begrenzer kann durch die Vorzeichenfunktion Signum beschrieben werden; es gilt $\text{sign}(x) = +1$, wenn $x > 0$ ist, und $\text{sign}(x) = -1$, wenn $x < 0$ ist. Es ist also $\text{sign}(u_E(t)) = \text{sign}(1 + m(t)) \text{sign}(\sin \Omega t) = \text{sign}(\sin \Omega t)$, und das ist eine Rechteckschwingung mit der Kreisfrequenz Ω . Durch die Bildung des Produkts $u_E(t) \text{sign}(u_E(t))$ werden die negativen Halbschwingungen von $\sin \Omega t$ im Eingangssignal ins Positive geklappt, es gilt $u_E(t) \text{sign}(u_E(t)) \equiv |u_E(t)|$; die Betragsbildung $|u_E(t)|$ beschreibt den idealen Zweiweggleichrichter.

Genau für diese Methode wurde am 25. Sept. 1940 das Patent DRP 728 327 erteilt, Titel „Multiplikativer Demodulator“, Patentinhaber O. TÜXEN, Telefunken. Das AM-Eingangssignal liegt am ersten *und* am zweiten Steuergitter einer Heptode an. Das erste Steuergitter wird linear angesteuert, das zweite Steuergitter soll annähernd eine Begrenzerkennlinie besitzen und kräftig übersteuert werden. Die Heptode arbeitet als nahezu idealer *Einweggleichrichter*, weil der Katodenstrom, proportional zur Spannung am ersten Steuergitter, durch das zweite Steuergitter entweder gesperrt oder zur Anode durchgeschaltet wird.

gekoppelte Schwingkreis angeschlossen wird: der magnetische Kopplungsfaktor zwischen Primär- und Sekundärspule kann positiv sein oder durch Vertauschen der Anschlüsse auch negativ werden. Um das Verhalten des rückgekoppelten Systems qualitativ zu beschreiben, benötigt man noch die Spannungsabhängigkeit des Spannungsteilers (Vorwiderstand, antiparallele Dioden), der auch einer der Faktoren der Schleifenverstärkung ist. Bei kleiner Eingangsspannung u_E kann die Ausgangsspannung an den antiparallelen Dioden nahezu sinusförmig sein, weil noch keine Begrenzung eintritt; dann ist der „Widerstand“ der antiparallelen Dioden groß und der Teilerfaktor ist nahe bei eins. Bei größeren Eingangsspannungen wird die Begrenzung mehr und mehr wirksam, der „Widerstand“ der antiparallelen Dioden nimmt ab, und der Teilerfaktor wird merklich kleiner als eins, und damit wird auch der Betrag der Schleifenverstärkung kleiner.

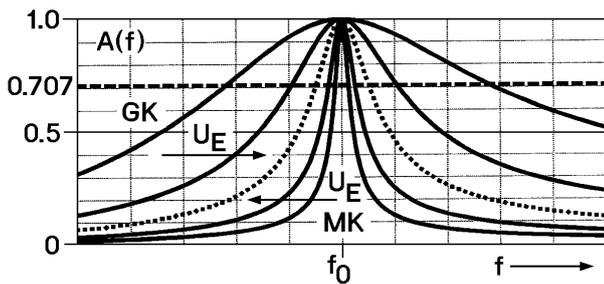


Abbildung 3: Die Amplitudengänge $A(f)$ zeigen das Verhalten eines Parallelschwingkreises in einem rückgekoppelten System. Der punktierte Verlauf ist der Amplitudengang bei offener Schleife. Bei Gegenkopplung GK wird abhängig von der Größe der Schleifenverstärkung die Bandbreite größer; die Pfeilrichtung „ u_E “ zeigt an, wie sich der Amplitudengang beim Anwachsen der Eingangsspannung verändert.

Bei Mitkopplung MK verringert sich die Bandbreite abhängig von der Größe der Schleifenverstärkung.

Der Schaltungsteil, der hier in seiner Funktion qualitativ diskutiert wurde, soll aus dem amplitudenmodulierten Eingangssignal u_E eine kohärente Trägerschwingung u_{Tr} erzeugen, indem entweder durch ein schmalbandiges Filter oder durch Begrenzerwirkung oder durch beide Maßnahmen die Seitenbänder des Eingangssignals u_E so gut wie möglich gedämpft werden.

▷ Bei dem gegengekoppelten System kann diese Aufgabe nur durch die Begrenzerwirkung gelöst werden, wobei diese bei kleinen Eingangsspannungen noch nicht oder nur unvollständig wirksam ist.

▷ Bei dem mitgekoppelten System wird die Aufgabe bei kleinen Eingangsspannungen durch ein schmalbandiges Filter gelöst, bei größeren Eingangsspannungen kommt dann noch die Begrenzerwirkung hinzu. Als weitere Option könnte das mitgekoppelte System auch als synchronisierter Oszillator arbeiten, indem man die Schleifenverstärkung entsprechend justiert.

Es ist sehr schade, dass Herr Häusle keine Messwerte mitgeteilt hat; im nachhinein bleiben nur Spekulationen und die Ahnung, dass er wahrscheinlich das mitgekoppelte System realisiert haben könnte. Für einen experimentierfreudigen Radio-Archäologen mit einer entsprechenden Messgeräte-Ausstattung würde diese Schaltung ein recht ergiebiges Betätigungsfeld bieten.

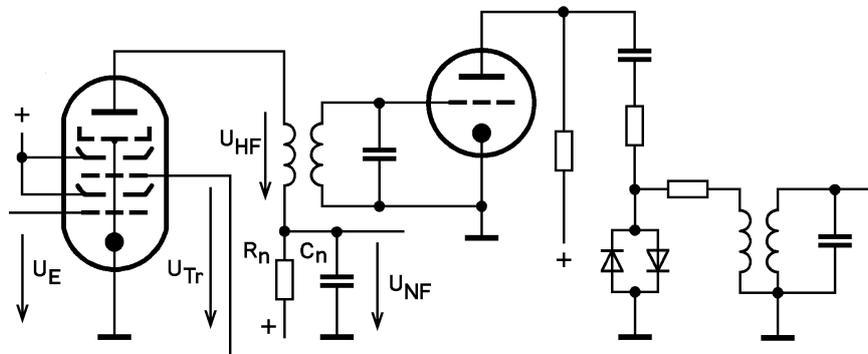


Abbildung 4: Erweiterung des kohärenten Gleichrichters entsprechend der Schaltung des „Homodyn-Superhet“ im Bild 2 des Beitrags „Homodyn-Demodulation“. Die Beschreibung im Text lässt vermuten, dass dieses System unbeabsichtigt als gegengekoppeltes System gearbeitet haben könnte.