

Seitenbandunterdrückung mit einfachen Mitteln

1. Grundsätzliches, Historisches

In allen kommerziellen Geräten dominiert das Verfahren, unerwünschte Signalanteile frequenzabhängig durch Filter zu eliminieren. Die Vorteile sind nicht von der Hand zu weisen: einfache Konfiguration, Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, beinahe beliebige Wahl der Parameter (Mittenfrequenz, Bandbreite, Formfaktor usw.). Mit dem Aufkommen der Leiter (Abzweig)-Filter hat auch der Amateur die Möglichkeit, brauchbare Quarzfilter aufzubauen.

Im Gegensatz hierzu hat die Methode, unerwünschte Signalanteile frequenzabhängig durch Phasenkompensation auszulöschen, kaum noch Bedeutung. In erster Linie sind es hierbei die Phasenschieber, deren Wirkung theoretisch nur für eine Frequenz optimal ist, die der Effektivität solcher Anordnungen schnell Grenzen setzen.

Als die SSB-Technik aufkam und geeignete Filter kommerziell gefertigt noch kaum erhältlich waren, waren die beiden Verfahren in etwa gleich populär. Eine Vielzahl von Konzepten erschien, wurde diskutiert, erprobt und - damals - vor allem auf Nachbau-sicherheit getestet. Gerade hier schien die Phasenmethode einige Zeit verlockend einfach: keine teuren Quarze, die individuell ausgemessen und eventuell nachgeschliffen werden mussten, kein HF-Messplatz, an dem die Durchlasskurve zu testen war, kein Stochern im Nebel hinsichtlich der passenden Eingangs- und Ausgangsimpedanz, sondern:

nur ein paar NF-Trafos und das Hinmessen einiger ohmscher Widerstände auf seltsam krumme Werte mit 1% Toleranz (oder man ließ sich industriell gefertigte NF-Schieber aus den USA kommen), „einfaches Umpolen“ der NF-Leitungen und schon war das Seitenband gewechselt, und vor allem kein HF-Kram!

Spätestens seit dem Erscheinen der Transceiver ab Mitte der 60er, die *ein* gutes (teures) Quarzfilter für Sendung und Empfang nutzten und einigen Bedienkomfort boten, war der Wettbewerb zuungunsten der Phasenmethode entschieden, auch weil selbst mit viel gutem Willen die Sperrtiefe (50-60 dB) der Quarzbrückenfilter nicht erreicht werden kann. 40 dB scheint das Maximum zu sein, das mit amateurmäßigen Mitteln erreichbar ist.

Mit Hilfe von recht komplexen Phasenschiebern, realisiert durch Ketten von OPs, und sehr genauer Dimensionierung der eingangs- und ausgangsseitigen Belastung beider Phasenglieder konnten angeblich auch 50 dB realisiert werden. (1)

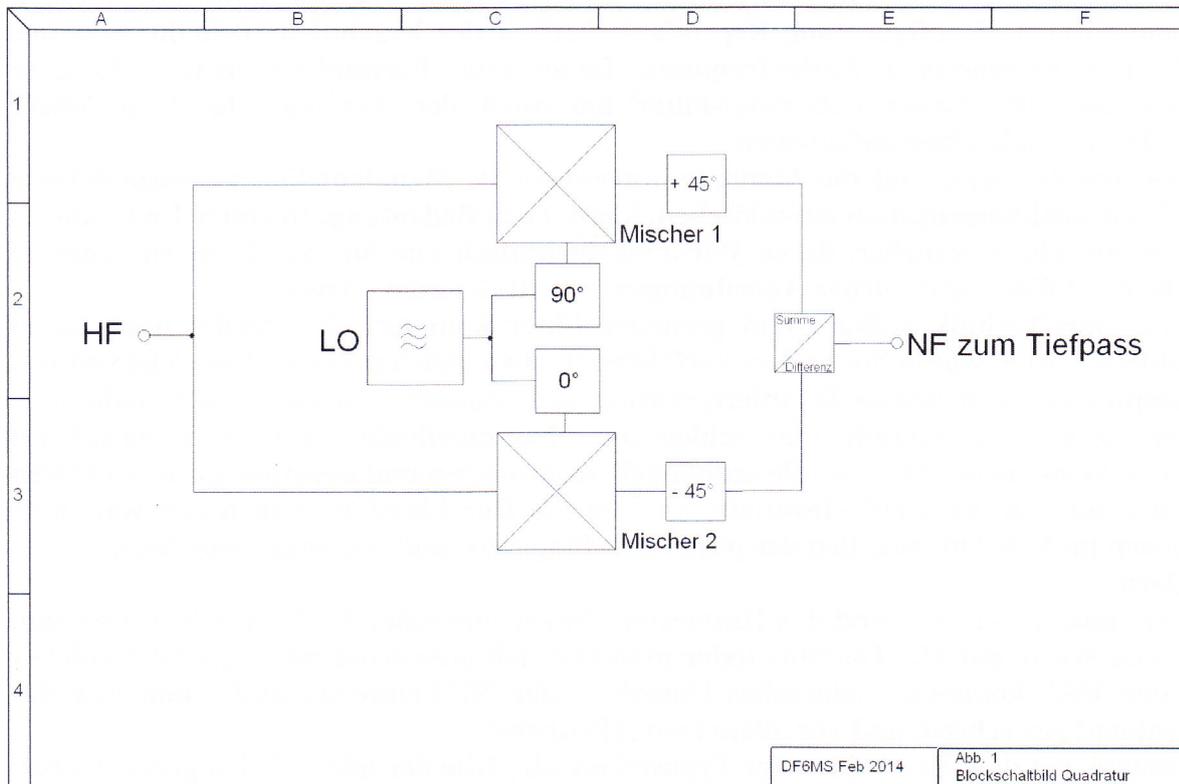
Auch der Kardinalmangel, die selten „symmetrisch gelingende“ Umschaltung der Seitenbandlage, wurde hinreichend gut beseitigt, jedoch mit hohem Schaltungsaufwand.

Attraktiv wurden solche Schaltungen wieder, als die Direktmisch-Empfänger aufkamen, mit denen ja prinzipbedingt kein Einzeichenempfang ermöglicht werden kann - links und rechts vom Schwebungsnull tauchen identische NF-Signale auf, die exakt dem Phänomen des Spiegelfrequenz-Empfanges beim Superhet entsprechen, dort aber mit altbekannten Techniken bei der Bedienung des BFOs unterdrückt werden können.

Man suchte also beim Direktmischer nach einer Möglichkeit, ausschließlich auf der NF-Ebene eine Auslöschung oder zumindest Unterdrückung der Spiegelfrequenz bzw. des unerwünschten Seitenbandes zu erzielen - und fand sie in der geschmähten „veralteten“ Phasenmethode.

2. Prinzip

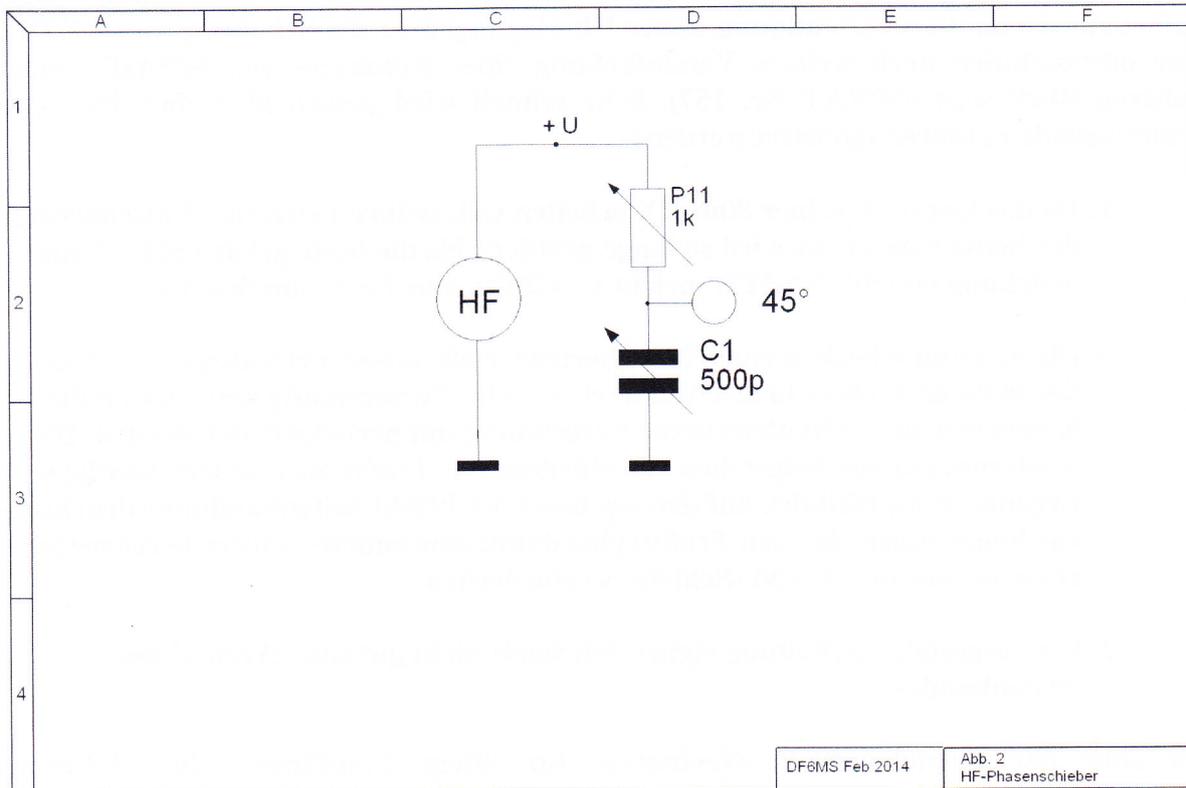
Während die meisten Handbücher - wenn überhaupt noch - die senderseitige Aufbereitung der Phasenmethode zeigen, stellt Abb. 1 das Blockschaltbild eines Demodulatorzuges dar, wie es dann auch mehr oder weniger komplex realisiert werden kann. Ohne auf die Theorie (Hilbert-Transformation) näher einzugehen, soll doch der Weg des SSB-Signals erläutert werden.



Man erkennt zunächst einen Oszillator, dessen Signal so gesplittet wird, dass zwei um 90 Grad verschobene Ausgänge entstehen. Hinzu kommt das Eingangssignal, das parallel zwei identischen Mischern (Produkt-Detektoren) zugeführt wird, wobei die Oszillatorfrequenz, wie gesagt, um 90 Grad phasenverschoben ist. Wir haben also zwei Direktmisch-Vorgänge und als Ergebnis zwei NF-Signale.

Diese enthalten jedoch je zwei Seitenbänder (Spiegelfrequenzen). Es entstehen somit insgesamt vier Seitenband-Lagen. Um nun nur jeweils einen einzigen NF-Kanal zu erhalten, führt man dieses Signalgemisch einem NF-Phasenschieber zu bzw. einem Netzwerk, welches, bezogen auf Masse, einmal um +45 und einmal um -45 Grad schiebt. Es wird nun klar, dass nur ein Seitenband verstärkt wird (dasjenige, dessen Teilkomponenten phasenrichtig zusammengeführt wurden), während das andere dann komplett ausgelöscht wird, wenn dessen Teilkomponenten exakt mit gleicher Amplitude und gegenphasig zusammengeführt wurden.

Das Problem der HF-Phasenverschiebung kann auf verschiedene Weise realisiert werden, beispielsweise kritisch gekoppelte Bandfilter, definiert verstimmt Schwingkreise oder durch RC-Glieder (Abb. 2).



Da nur eine einzige Frequenz betroffen ist, ist die Verschiebung einwandfrei und problemlos einstellbar. Beim NF-Phasenschieber jedoch häufen sich die Schwierigkeiten. Es ist per se nicht symmetrisch, die Durchgangs-dämpfung ist also in beiden Zweigen unterschiedlich, was eine einfache Umschaltung durch Vertauschen der NF-Eingänge, wie so oft behauptet, unmöglich macht. Zudem muss nicht eine einzige Frequenz verschoben werden, sondern das gesamte NF-Spektrum, was theoretisch zwar möglich, aber praktisch sehr schwer umzusetzen ist. Außerdem drehen die häufig eingesetzten NF-Trafos die Phase zusätzlich unkontrollierbar. Es ist also sinnvoll, das zu übertragene NF-Band zu beschneiden, so, dass gerade die Sprachfrequenzen durchgelassen werden.

Mathematisch kann nachgewiesen werden, dass bereits bei 1,5 Grad Abweichung zwischen den Zweigen des Phasenschiebers diese eine Abschwächung des unerwünschten Seitenbandes um „nur“ 37,5 dB zum Ergebnis hat. In der Praxis ist dieser Wert nur sehr schwer zu erreichen, deshalb auch die ominöse 40-dB-Barriere.

3. Praktische Ergebnisse

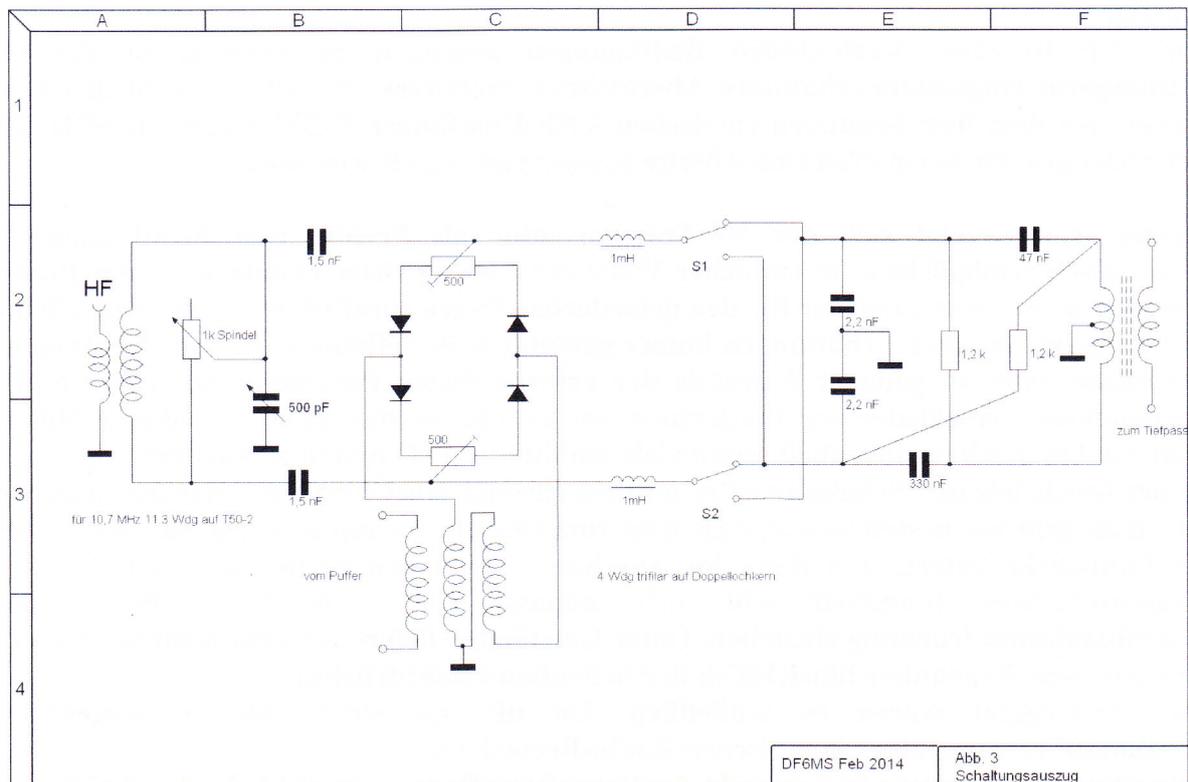
Verschiedene Amateure bemühten sich in jüngerer Zeit um eine praktisch brauchbare „Implementierung“ des Phasenprinzips in einfache Direktmisch-Empfänger. Dabei war klar, dass der Aufwand in einem akzeptablen Verhältnis zum Rest der Schaltung stehen sollte, denn sehr schnell ist ein kleiner Superhet mit Keramikfilter einfacher und billiger aufgebaut. Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen ist die Schaltung von VK3YE, eine offensichtlich noch weitere Vereinfachung eines Konzeptes von SP5AHT, einen näheren Blick wert (SPRAT Nr. 157). Sehr schnell wird jedoch klar, dass hier zwei grundlegende Faktoren ignoriert werden:

- 1. Da das Gerät als reiner 80m-RX arbeiten soll, erübrigt sich eine Umschaltung der Seitenbänder. Es wird so lange probiert, bis die beste gehörmäßige Unterdrückung eintritt. VK3YE spricht von 20dB, eine faire Einschätzung.**
- 2. Die Schaltung bezieht einen NF-Übertrager als impedanzrichtigen Abschluss des Phasenschiebers in das Netzwerk mit ein. Zwangsläufig müssen nun die Kennwerte dieses Bauteils in die Berechnung mit berücksichtigt werden. Dies wiederum hat zur Folge, dass verschiedene NF-Trafos auch unterschiedliche Ergebnisse im Hinblick auf den erwünschten Effekt Seitenbandunterdrückung zur Folge haben. Je nach Trafotyp ist damit eine andere, schwer berechenbare Dimensionierung des NF-Schiebers erforderlich.**
- 3. Die vorgestellte Schaltung eignet sich somit nicht gut zum Wechsel des Seitenbandes.**

Da aber der Betrieb als ZF-Nachsetzer für ältere Empfänger ohne Filterung beabsichtigt war, musste hier nachgebessert werden. Vor allem erschien der Wert 20 dB als maximal erreichbare Unterdrückung doch recht schwach und es wurde versucht, hier eine Verbesserung zu erzielen. Wenige Änderungen genügten indeß, um die angestrebten Ziele zu erreichen.

- Möglichkeit des Seitenbandwechsels ohne Einbußen,**
- Seitenbandunterdrückung im schlechtesten Fall mindestens 30 dB.**

Abb. 3 zeigt die Details eines dergestalt modifizierten „Quadratur-Demodulators“. Es erscheint in der Tat verblüffend, mit welchen einfachen Mitteln die propagierten Kennwerte erreicht werden können, vergleicht man insbesondere die „primitive“ Ausführung des NF-Schiebers mit den komplexen Netzwerken der 50er/60er Jahre.



Auf einige wichtige Dinge soll hier besonders hingewiesen werden:

Es gelingt nicht, durch Umpolen der Detektor-Ausgänge das Seitenband zu wechseln. Auf diese Tatsache wird in (2) explizit hingewiesen. Um hier zu einer symmetrischen Unterdrückung zu gelangen, ist es erforderlich, die oben genannten Bedingungen gleiche Frequenz, gleiche bzw. komplementäre Phase um die oft ignorierte dritte, nämlich

gleiche Spannung (!)
einzuhalten.

Dies geschieht in einfacher Weise dadurch, dass man beide Komponenten des HF-Phasenschiebers veränderlich macht. Unterschiedlichste Kombinationen von R und C ergeben die gewünschte Phasenverschiebung, es ist aber einleuchtend, dass somit in weiten Grenzen beliebige Spannungsabfälle an diesem Netzwerk auftreten.

Für einen symmetrischen Seitenbandwechsel ist es also nur notwendig, nach Umpolen der NF den kapazitiven Anteil des HF-Schiebers den geänderten Verhältnissen anzugleichen. Dies geschieht durch Betätigen des 500-pF-Drehkondensators. Es lässt sich eine Voreinstellung des 1-kOhm-Spindelpotentiometers finden, mit der bei ca. 90 pF das eine und bei ca. 400 pF das andere Seitenband fast restlos unterdrückt wird.

Die Prozedur erinnert an das Einstellen eines steilflankigen Notchfilters, wobei aber nicht nur ein einziger Ton „in die Kerbe fällt“, sondern in der Tat das gesamte NF-Spektrum des unerwünschten Seitenbandes.

Es ist zudem ratsam, durch einen scharfen NF-Tiefpass ab ca. 2500 Hz abzuriegeln, da naturgemäß diese NF-Anteile zunehmend schwächer unterdrückt werden.

Die Wiedergabe der SSB-Telefonie ist erfreulich klar und sauber, wobei die Qualität der hier eingesetzten Dioden-Demodulatoren einen erfreulichen Dynamikumfang gewährleistet, was angesichts eines oft ungeregelten ZF-Zuges auch dringend notwendig scheint.

Um sich trotzdem wechselnden Bedingungen anpassen zu können, ist das im Mustergerät eingesetzte schaltbare Abschwächer-Netzwerk (0 - 10 - 20 - 30 dB) kein Luxus. Bei dem hier benutzten russischen VHF-Empfänger R-232M (20-100 MHz) ist beispielsweise im Normalfall eine Abschwächung von -10 dB wirksam.

Immer wieder zeigt sich der NF-Transformator als Freund und Feind zugleich. Theoretisch ermöglicht er in einfacher Weise die Lösung vieler Probleme, in der Praxis jedoch nur, wenn er entweder für den geforderten Zweck spezifiziert wurde (deshalb die in US-amerikanischen Schaltungen immer genannten Bestellnummern ganz bestimmter Fabrikate) oder in genauer Kenntnis der erforderlichen Parameter aus einer Reihe vorhandener verschiedenster Bauformen ausgesucht werden kann. An dieser Hürde sind wohl in der Vergangenheit schon viele ambitionierte Projekte gescheitert.

In der beschriebenen Schaltung ist es nun ein einziger NF-Übertrager, der auszusuchen ist - man geht am besten so vor, dass man zunächst ein Exemplar sucht, das die größte NF-Lautstärke liefert, und dann im Anschluss daran den kritischen Wert des NF-Phasenschiebers (nominell 470 nF) anpasst, bis sich beste Werte der Seitenbandunterdrückung einstellen. Unter Umständen liefert auch ein nicht so „lauter“ Trafo bessere Ergebnisse hinsichtlich der Seitenbandunterdrückung.

Im Mustergerät waren es schließlich 330 nF mit einem kleinen Gegentakt-Eingangübertrager eines japanischen Radio-Recorders.

Nur durch Beachtung dieser wechselseitigen Beeinflussungen sind die beschriebenen Ergebnisse möglich.

Unter normalen Verhältnissen (d.h. beim „realen“ Empfang an der Antenne) werden nun die sonst am Messplatz immer zu hörenden Seitenbandreste durch Bandrauschen und Nachbarsignale in erwünschter Seitenbandlage völlig verdeckt - die angestrebte Illusion der filterlosen Seitenbandunterdrückung gelingt.

Literatur:

G-QRP-Club, SPRAT Nr. 157, 2013

Arnoldt, Michael: Geradeaus- und Direktmischempfänger, Aachen 1997

ARRL, Single Sideband for the Radio Amateur, Newington, Conn., 1965

Högemann, H.. DF5FJ, Transistor NF-Teil für einen SSB-Phasenexciter, DL-QTC 1, 1964

Spillner, F.: DJ2KY, Studien über einen Phasen-Exciter, Das DL-QTC 11/12, 1961

Weber, P.. DJ4BR, Einseitenbandsender nach der Phasenmethode, Das DL-QTC 5, 1959