

Einführung in die Einseitenbandmodulation G. Fietsch

1.1 Allgemeines

Diese Einführung in die SSB-Technik soll als Anregung für unsere Amateure dienen, sich mit diesem interessanten Gebiet der Sendertechnik zu befassen und SSB-Versuche durchzuführen. Das ist einmal notwendig, um den Anschluß an das internationale technische Niveau nicht zu verlieren, zum anderen erfordert die immer stärker werdende Überbelegung der Amateurbänder neue Methoden, um die Freude am Amateurfunk nicht in QRM untergehen zu lassen. Eine theoretische Behandlung dieses Themas wird nicht geboten, die Interessenten seien hier auf die entsprechende Spezialliteratur verwiesen (siehe Literaturverzeichnis).

Viele Amateure haben eine vollkommen unbegründete Furcht vor SSB. Das Verfahren ist jedoch bei genauer



Bild 1: a) Normales AM-Signal, 2 Seitenbänder mit Träger; b) Zweiseitenbandsignal, 2 Seitenbänder ohne Träger; c) Einseitenbandsignal ohne Träger

Betrachtung gar nicht so kompliziert, wie es auf den ersten Blick erscheint. Jeder Amateur, der beim Aufbau und Abgleich seiner Geräte sein Können unter Beweis gestellt hat, kann sich auch an Versuche mit SSB wagen. Der Aufwand eines SSB-Senders ist jedoch um einiges größer als der eines normalen amplitudenmodulierten Senders.

Welche Vorteile ergeben sich nun beim Einseitenbandbetrieb gegenüber der normalen Amplitudenmodulation?

Betrachten wir uns zuerst einmal eine normale AM-Modulation. Bei der Amplitudenmodulation wird bekanntlich der Träger mit seinen beiden Seitenbändern abgestrahlt. Dieses Verfahren besitzt jedoch einige schwerwiegende Nachteile.

1. Der amplitudenmodulierte Träger verursacht das gefürchtete BCI und TVI, welches oft durch den sorgfältigsten Aufbau nicht vermieden werden kann.

2. Wird das Signal auf seinem Übertragungsweg von selektivem Schwund betroffen, so ergeben sich im Empfänger starke Verzerrungen und Lautstärkeschwankungen.

3. Durch die starke Überbelegung der Bänder werden die erforderlichen Frequenzabstände zwischen den Stationen nicht eingehalten, dadurch kommt es zu starkem Interferenzpfeifen.

1.2 Prinzip des Einseitenbandsenders

Bei genauen Untersuchungen hat sich nun ergeben, daß es durchaus möglich ist, den Träger fortzulassen, da er nur den „Mittelpunkt“ für die beiden Seitenbänder bildet, die das eigentliche Signal enthalten. In der Praxis unterdrückt man den Träger so weit, daß er nur noch 2 bis 5 Prozent der vollen Trägerleistung entspricht. Dieser Trägerrest reicht aus, um beim Empfang den BFO zu synchronisieren, denn beim Empfang ersetzt man den Träger durch die HF-Schwingung des 2. Oszillators (BFO).

Da jedes Seitenband für sich, unabhängig vom anderen, denselben Nachrichteninhalte besitzt, genügt es, nur ein Seitenband zu übertragen. Man hat damit bereits das Prinzip der Einseitenbandmodulation. Diese Modulationsart wurde bereits im Jahre 1915 von J. R. Carson entwickelt. Die Einseitenbandmethode stellt eine sehr wirtschaftliche Modulationsart dar. Die Hochfrequenzbandbreite eines SSB-Senders ist dabei genauso groß wie die NF-Bandbreite des zu übertragenden Nachrichteninhalts. Die Zweiseitenbandmethode dagegen benötigt die doppelte hochfrequente Bandbreite.

Um am Empfangsort eine bestimmte Feldstärke zu erzeugen, erfordert die trägerlose Einseitenbandmodulation den kleinsten Leistungsaufwand. Die Telefonleistung beim SSB-Sender ist aber wesentlich höher als beim AM-Sender, da die gesamte Senderleistung in dem Nutzseitenband auftritt.

Sehen wir uns dazu ein Beispiel an:

Ein Sender hat eine Oberstrichleistung von 100 Watt. Bei AM mit 100prozentiger Modulation würden etwa 50 Watt für die Trägerleistung und 25 Watt für die Seitenbandleistung benötigt. Würde der gleiche Sender im trägerlosen Einseitenbandbetrieb gefahren,

ist er in der Lage, eine Einseitenbandleistung von etwa 100 Watt zu liefern. Es ist bei diesem Verfahren gegenüber der üblichen Zweiseitenbandmodulation mit Träger eine Erhöhung der Seitenbandleistung im Verhältnis von 4:1 im Vergleich zur angeführten AM-Anodenmodulation zu verzeichnen (siehe Bild 1).

Sagt man, daß das Verhältnis der Gesamtenergie eines Senders zur Seitenbandenergie den Nutzwirkungsgrad der jeweilig angewendeten Modulationsart darstellt, so ist der Nutzwirkungsgrad bei einer Anodenmodulation sehr gering. Der Nutzwirkungsgrad läßt sich aber sofort auf 100 Prozent bringen, wenn der Träger wegfällt und nur ein Seitenband zum Transport der Nachricht verwendet wird.

1.3 SSB-Betriebsarten (Single-Side-Band)

Man unterscheidet im allgemeinen zwischen vier verschiedenen Betriebsarten:

1. SSB mit unterdrücktem Träger, im Englischen als SSSC (single-sideband-suppressed-carrier) bezeichnet. Bei diesem Verfahren wird der Träger auf etwa 30 bis 50 db des Oberstrichwertes reduziert. Diese Methode wird fast ausschließlich im Amateurfunkwesen verwendet.

2. SSB mit reduziertem Träger bezeichnet man als SSRC (single-sideband-reduced-carrier). Hierbei wird der Träger auf etwa 10 bis 20 db des Oberstrichwertes reduziert.

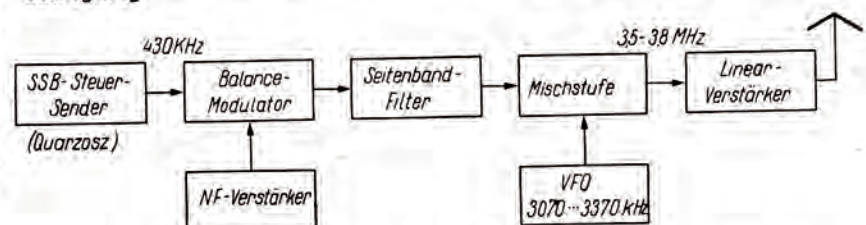
3. SSB mit gesteuertem Träger, als SSCC bezeichnet (single-sideband-controlled-carrier). Bei diesem Verfahren wird der Träger mit 3 bis 6 db des Oberstrichwertes während der Dauer einer Modulationspause abgestrahlt.

4. SSB mit vollem Träger bezeichnet man als SSFC (single-sideband-full-carrier). Der Träger wird hierbei während der ganzen Ausstrahlungsperiode mit 3 bis 6 db unter dem Wert der Oberstrichleistung ausgestrahlt.

2.1 Methoden zur Erzeugung des SSB-Signals

Es gibt in der Praxis zwei Möglichkeiten, um ein SSB-Signal zu erzeugen: 1. die Filtermethode, 2. die Phasenmethode.

Bild 2: Blockscha eines Einseitenbandsenders nach der Filtermethode mit einfacher Überlagerung



Bei der Filtermethode wird mit Hilfe von Quarzfiltern oder mechanischen Filtern das eine Seitenband unterdrückt. Der finanzielle und materielle Aufwand ist bei diesem Verfahren jedoch verhältnismäßig hoch. Der Sender ist einfacher im Aufbau und läßt sich leichter abgleichen. Außerdem bleibt die eingestellte Träger- und Seitenbandunterdrückung über längere Zeiträume konstant.

Bei der Phasenmethode wird durch die Erzeugung geeigneter Phasenlagen der Träger und ein Seitenband kompensiert. Hierbei vermeidet man teure Filter, muß jedoch einen höheren Schaltaufwand betreiben. Allerdings ist die Trägerunterdrückung nicht so wirksam wie bei der Filtermethode.

2.2 Die Filtermethode

Bild 2 zeigt einen SSB-Sender nach der Filtermethode. Der Quarzgenerator erzeugt die Grundfrequenz des SSB-Oszillators, die man zweckmäßigerweise um 450 bis 470 kHz legt. Man ist somit in der Lage, im Quarzfilter normale Rundfunkbandfilter verwenden zu können. Die Quarzfrequenz gelangt dann zum Balancemodulator. In dieser Stufe wird moduliert und gleichzeitig der Träger unterdrückt, es sind nur noch die zwei Seitenbänder am Ausgang vorhanden (DSB = Doppelseitenband). Das DSB-Signal wird einem Seitenbandfilter zugeführt, wo ein Seitenband abgeschnitten wird. Das so erhaltene SSB-Signal gelangt dann an die Mischstufe, wo es mit einem VFO überlagert wird. Am Ausgang der Mischstufe erhält man dann das gewünschte Amateurband. Soweit das Prinzip des Filtersenders. Die genaue Beschreibung der einzelnen Stufen soll nun folgen.

Eine genaue Beschreibung und Schaltungshinweise für den SSB-Generator erübrigen sich, da es sich hier um einen normalen Quarzoszillator handelt.

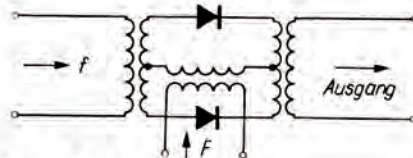


Bild 3: Gegentakmodulator

2.21 Der Balancemodulator

Der Balancemodulator stellt das Herz des gesamten SSB-Senders dar, ihm ist daher auch besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Bei der Modulation mit einer normalen Modulationseinrichtung erscheinen im Ausgangskreis außer dem Produkt der zugeführten Schwingungen, welches sich in die zwei Seitenbandfrequenzen zerlegen läßt, auch noch die beiden ursprünglichen Frequenzen selbst. Das soll ja beim Einseitenbandbetrieb mit Trägerunterdrückung verhindert werden. Betrachten wir uns deshalb einmal die Arbeitsweise eines Gegentakmodulators (siehe Bild 3). Der Gegentakmodulator unterdrückt die zugeführte Schwingung F im Ausgang. Nehmen wir an, F sei die Trägerfrequenz und f die Niederfrequenz. Die positive Halbwelle der Niederfrequenz macht den oberen Gleichrichter leitend für die HF und sperrt gleichzeitig den unteren Gleichrichter. Bei der negativen Halbwelle der NF sind die Verhältnisse umgekehrt. Daher erscheint die Hochfrequenz am Ausgang nicht mehr. Es sind nur noch die beiden in den Trägerfrequenzbereich transponierten Seitenbänder vorhanden. Die im Modulator auftretenden Oberwellen der Frequenz f erscheinen ebenfalls nicht als Seitenfrequenz. Der Balancemodulator stellt im Prinzip ebenfalls einen solchen Gegentakmodulator dar.

Dem Balancemodulator werden zwei Spannungen gleicher Frequenz zugeführt, jedoch um 180° phasenverschoben.

ben. Gleichzeitig gelangt die Frequenz des Quarzgenerators an den Modulator. Ist keine Modulation vorhanden, so heben sich beide Spannungen auf, bei Modulation wird das Gleichgewicht gestört, und am Ausgang entstehen beide Seitenbänder. Die Modulation wird meist im Gegentak vorgenommen, während die HF entweder im Gitterkreis oder im Anodenkreis im Gegentak auftritt (Bild 5 und 6).

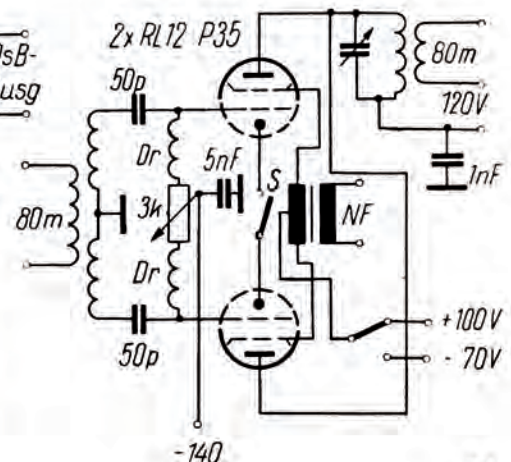
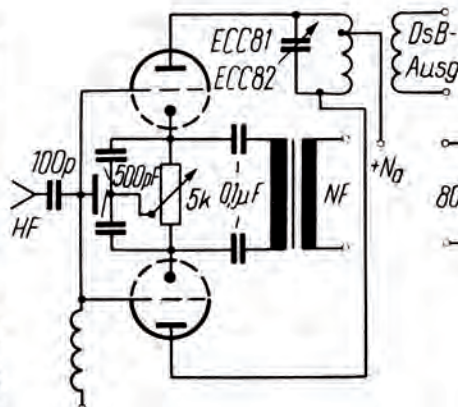
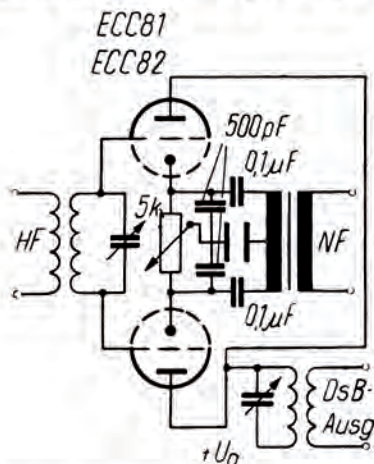
Damit ist die Aufgabe des Balancemodulators klar umrissen. Er dient beim SSB-Sender zur Trägerunterdrückung. Am Ausgang des Modulators befinden sich bei Modulation praktisch die beiden Seitenbänder ohne Träger, „trägerloses Doppelseitenbandverfahren“ oder DSB (double-side-band). Man kann diese Modulationsart auch in der Praxis anwenden, jedoch rufen die geringsten Abweichungen des für einen Empfang im Rx zugeführten „Kunstträgers“, wofür der BFO verwendet wird, völlig untragbare Verzerrungen der Nachricht hervor.

Wer aber eine derartige Modulation versuchsweise anwenden will, der findet in Bild 7 eine derartige Schaltung. Diese Schaltung, die von DJ 1 HC angegeben wurde, läßt sich leicht aufbauen und an jeden vorhandenen Tx anschließen. Die beiden RL 12 P 35 arbeiten hier als Balancemodulator. Die Steuergitter werden im Gegentak angesteuert. Die Anoden sind parallelgeschaltet. Die Gitter erhalten eine Vorspannung von -140 V bis zu einer Anodenspannung von $1,2$ kV. Das 3-kOhm-Potentiometer dient zur Symmetrierung der Ansteuerung. Die Modulation erfolgt am Schirmgitter im Gegentak. Als Modulationstrafo eignet sich gut ein kleiner NF-Trafo 1:2 bis 1:5. Die Mittelanzapfung liegt je nach Ruhestrom an einer negativen Spannung von -70 V oder an Masse.

Bild 5: Balancemodulation, Gitter im Gegentak, Anoden parallelgeschaltet (links);

Bild 6: Balancemodulation, Gitter parallelgeschaltet, Anoden im Gegentak (Mitte);

Bild 7: Endstufe mit DSB-Modulation (rechts)



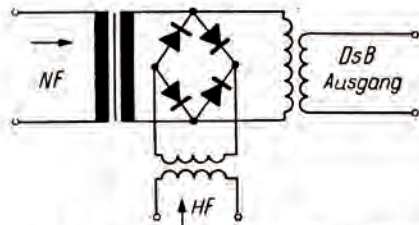
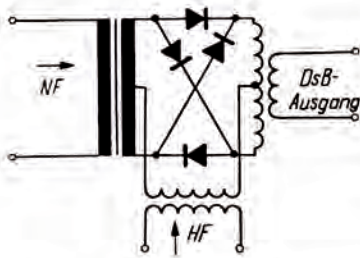


Bild 8: Balancemodulator, Ringmodulator mit Halbleiterbauelementen
Bild 9: Balancemodulator, Brückenmodulator

Am Ausgang des DSB-Modulators treten nur noch die beiden Seitenbänder auf. Soll der Träger wieder zugesetzt werden, so wird eine der beiden Kationen abgeschaltet und den Schirmgittern eine positive Spannung von +100 V zugeführt.

Die Bilder 8 bis 12 zeigen nun einige der gebräuchlichen SSB-Modulatoren. Bild 8 und 9 stellen Balancemodulatoren dar, die mit Halbleiterdioden aufgebaut werden. Es handelt sich im ersten Fall um einen Ringmodulator, im zweiten um einen Brückenmodulator. Bild 10 zeigt einen Modulator, bei dem die Modulation nicht im Gegentakt zugeführt wird. Dabei spart man einen Trafo ein. Die HF-Spannung des Oszillators soll etwa 6 Volt betragen. Die Röhre 6 C 4 entspricht etwa unserer EC 92, sie liefert als Katodenfolger die für das Filter notwendige niedrige Impedanz.

Bild 11 zeigt einen Modulator, der im Eingang keinerlei Gegentaktbetrieb erfordert. Diese Schaltung soll eine ausgezeichnete Modulation liefern und läßt sich ebenfalls auch als Mischer benutzen.

Bild 12 zeigt noch einmal einen Balancemodulator, der mit handelsüblichen Dioden unserer Produktion bestückt ist. Die Frequenz des Quarzoszillators liegt wiederum bei 500 kHz, um normale ZF-Filter verwenden zu können. Zur Anpassung des niederohmigen Mischkreises an das Filter wird ein Koppelkondensator von 1 nF verwendet. Das Potentiometer von 250 Ohm dient zur Einstellung der Trägerunterdrückung. Reicht das Potentiometer nicht aus, kann man mit dem Trimmer von 50 pF nachgleichen. Die HF-Amplitude soll bei dieser Schaltung 16mal größer sein als die NF-

Amplitude (HF etwa 6 bis 7 Volt; NF etwa 0,5 Volt).

Damit soll es mit dem „Balancemodulator“ genug sein. Bei allen diesen Schaltungen ist also am Ausgang des Modulators kein Träger mehr, wohl aber beide Seitenbänder vorhanden.

2.22 Das Seitenbandfilter

Als nächster Schritt ist es nun erforderlich, das überflüssige Seitenband abzuschneiden. Das erfolgt in einfacher Weise mit einem Quarzfilter, z. B. dem Cascaded-half-lattice-Filter. Für dieses Filter wird ein Paar Quarze mit der Frequenz des Trägergenerators benötigt und ein weiteres Paar, dessen Frequenz 1,8 bis 1,85 kHz höher oder tiefer liegt, je nachdem, ob das untere oder das obere Seitenband übertragen werden soll. Die Zwischenfrequenzfilter werden durch Parallelschaltungen geeigneter Festkondensatoren auf die gewünschte Frequenz abgeglichen. Eine Schaltung für ein derartiges Filter zeigt Bild 13. Die beiden Quarze Q 2 liegen 1,85 kHz tiefer als Q 1, wenn das untere Seitenband übertragen werden soll. F 1 bis F 3 sind normale ZF-Filter mit abgeänderten C-Werten. Man erkennt also schon an dieser einen Schaltung, daß der Aufwand an Quarzen sehr groß ist.

Eine weitere Schaltung eines Seitenbandfilters zeigt Bild 14. Hier wird ebenfalls großer Aufwand getrieben. Dieses Filter besteht aus zwei gleichen Brückenfiltern mit den Quarzpaaren Q 1 und Q 2, Q 5 und Q 6, Q 3 und Q 4 und Q 7 und Q 8. Die Schaltung dieses Filters gab DL 1 AU an. Er verwendet für dieses Filter amerikanische Filterquarze vom Typ „FT-243“. Die Quarze besitzen folgende Frequenzen:

$$Q 1 - Q 2 - Q 3 - Q 4 = 457,4 \text{ kHz}$$

$$Q 5 - Q 6 - Q 7 - Q 8 = 458,25 \text{ kHz}$$

Die Trägergeneratorfrequenz liegt bei etwa 459,3 kHz. Die Quarze, die jeweils ein Paar bilden, müssen so ausgesucht

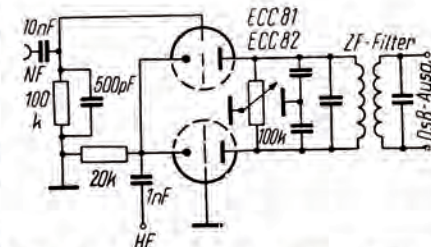
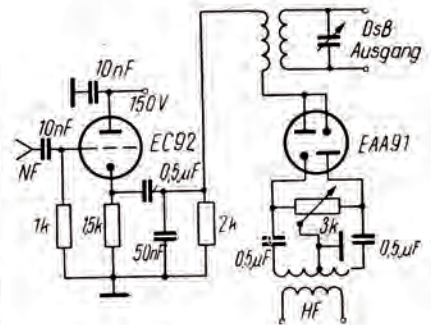
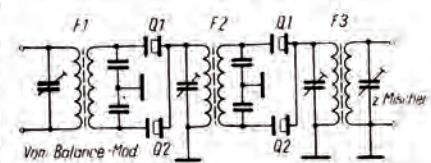
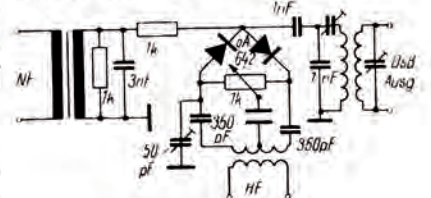


Bild 10: Balancemodulator, „series balanced modulator“
Bild 11: Balancemodulator, auch als Mischer zu verwenden
Bild 12: Diodenmodulator mit handelsüblichen Dioden
Bild 13: „cascaded half lattice“ Filter



werden, daß ihre Frequenzabweichung ≤ 10 Hz ist! Der Überträger Ü 1 transformiert den Ausgangswiderstand des vorhergehenden Ringmodulators (Balancemodulator) von etwa 600 Ohm auf den Filterwiderstand. **Wird fortgesetzt**

Literaturverzeichnis über Einseitenbandtechnik

D. Morgenstern: „Einseitenbandmodulation für Amateure“, Funkschau, Heft 22 - 24/1957
 F. W. Kirchner: „Vor- und Nachteile der Filter- und Phasenschiebermethode bei Einseitenbandbetrieb von KW-Sendern“, Funktechnik, Heft 23 und 24/1960
 F. W. Kirchner: „Eine Betrachtung über SSB“, Funktechnik, Heft 23/1959
 H. Alfke: „Einseitenband - ganz einfach“, Funktechnik, Heft 14/1959
 W. Bartel: „Die Einseitenbandmodulation“, Funktechnik, Heft 13/1958
 P. Alfke: „Ein neuer Einseitenbandmodulator“, Funktechnik, Heft 6/1958
 Gruhle-Lührs: „Mehr Erfolg mit einem Seitenband“, Das DL-QTC, Heft 9 bis 12/1951
 D. Morgenstern: „Steuersender für Einseitenbandmodulation“, Das DL-QTC, Heft 6/1956
 K. Fuhrmann: „Einseitenbandsender nach der Filtermethode“, Das DL-QTC, Heft 2/1958

K. Fuhrmann: „Zur Theorie der SSB-Phasensender“, Das DL-QTC, Heft 2/1959
 P. Weber: „Einseitenbandsender nach der Phasenschiebermethode“, Das DL-QTC, Heft 5/1959
 F. Peukert: „Ein SSB-Filter sender mit VXO“, Das DL-QTC, Heft 12/1960
 Dr. F. Spillner: „Studien über einen SSB-Exciter nach der Filtermethode“, Das DL-QTC, Heft 8/1961
 Beiträge über die SSB-Technik sind noch in folgenden Zeitschriften enthalten:
 Amaterske Radio (CSSR): Nr. 3, 4, 6-9 und 12/1959; Nr. 1, 4 und 11/1960
 Radio i telewisia (VR Bulgarien): Nr. 7/1960; Nr. 1-4/1961
 Radioamator (VR Polen): Nr. 4 und 8/1961
 Radiotechnika (VR Ungarn): Nr. 8/1961
 Die letzten Jahrgänge der sowjetischen Zeitschrift „Radio“ enthalten zahlreiche Beiträge über die SSB-Technik und eine ständige Rubrik „SSB-Chronik“.