

Warum funktioniert die Weaver-Methode zur SSB-Erzeugung

Volker Aurich

DK3PK

SSB-Erzeugung

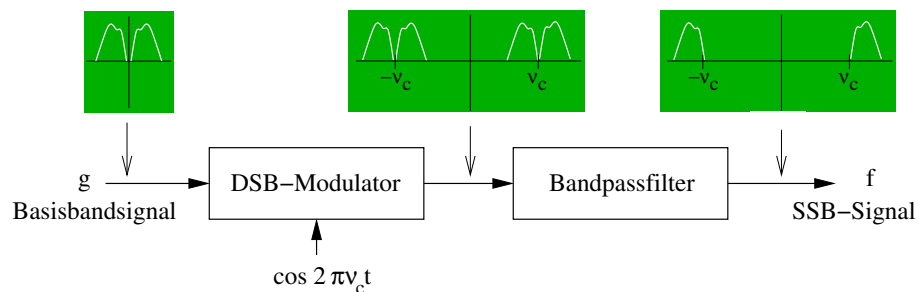
Es gibt im Wesentlichen drei Arten, ein SSB-Signal zu erzeugen. Wir versuchen, zu veranschaulichen, wie die Signalverarbeitung jeweils verläuft, indem wir für jedes Signal das Spektrum ein wenig symbolisch darstellen.

Vereinbarung über die Diagrammdarstellung

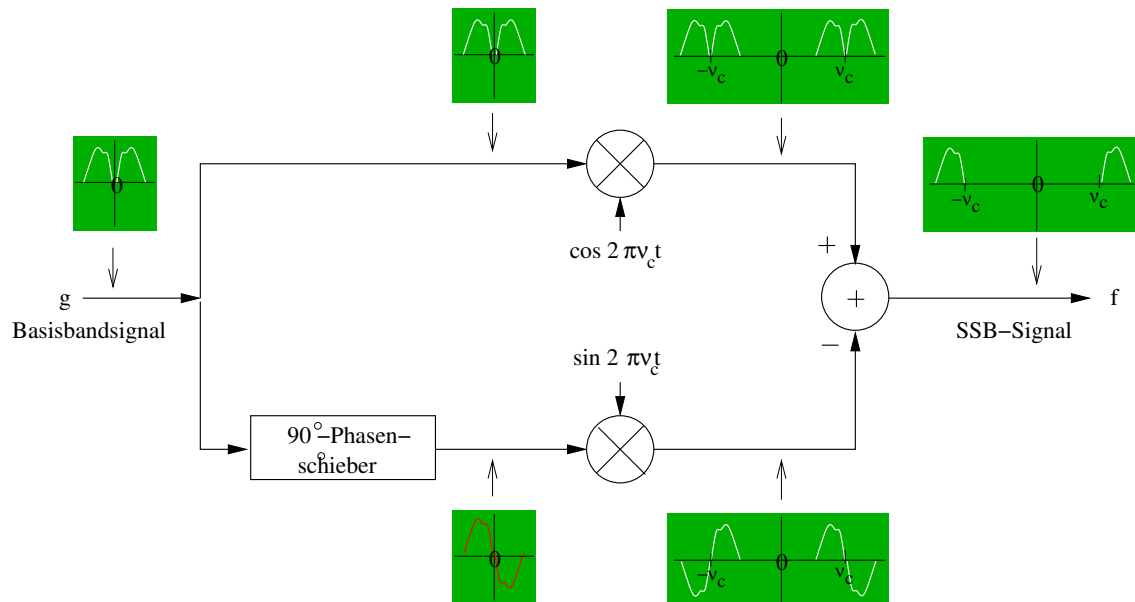
Die verwendeten Verarbeitungsschritte sind Mischung, Tiefpassfilterung und Phasenverschiebung um 90° . Die Veränderungen, die das Spektrum eines Signals dadurch erfährt, lassen sich aus Verschieben, Abschneiden und Multiplizieren mit -1 und mit i beschreiben. Um das in Diagrammen zu veranschaulichen, wird das Spektrum des Basisbandsignals als eine Kurve dargestellt, die aus zwei bezüglich des Nullpunkts spiegelbildlichen Hälften besteht. Alle Kurvenwerte sind nicht negativ gewählt. Tatsächlich können die Werte natürlich komplex sein. Wir wollen aber darstellen können, wenn ein Teil des Spektrums mit -1 multipliziert wird; dazu spiegeln wir ihn an der x-Achse, d.h. wir klappen wir ihn nach unten. Alle Werte, die mit i zu multiplizieren sind, sind rot gezeichnet.

Die Filtermethode

Erzeuge ein DSB-Signal und eliminiere das unerwünschte Seitenband durch ein steilflankiges Bandpassfilter, das nur das erwünschte Seitenband durchlässt. Solche Filter kann man mit Hilfe von Quarzen oder keramischen Resonatoren konstruieren, allerdings nur für einen fest vorgegebenen Durchlassbereich. Üblich sind Filter mit 2,7 kHz Breite des Durchlassbereichs. Ihre Mittenfrequenz liegt selten höher als circa 10 MHz. SSB-Signale mit höheren Signalen erhält man durch Mischung.



Die Phasenmethode

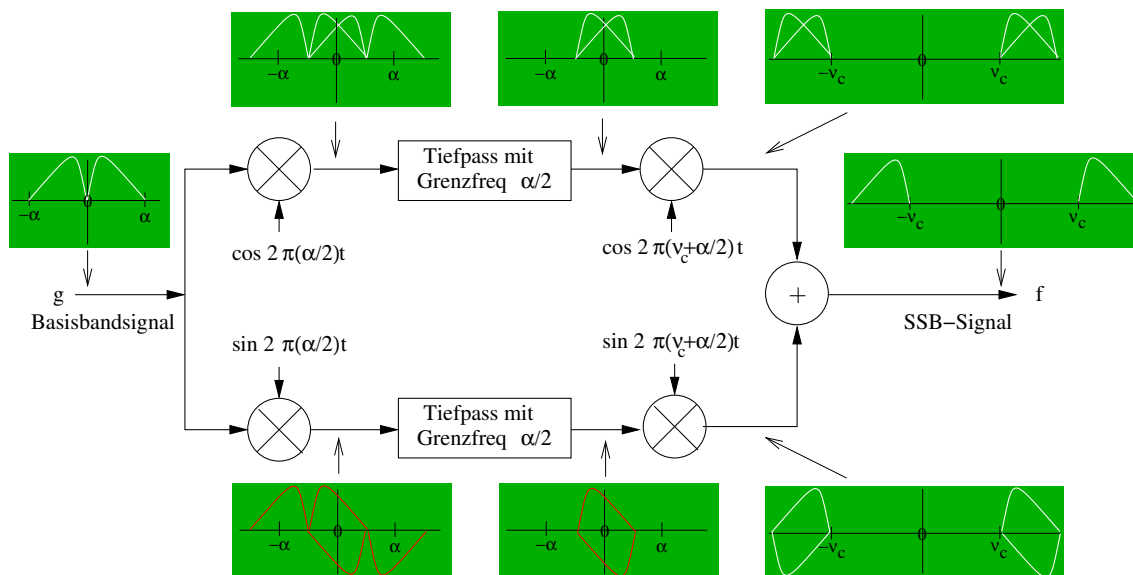


Vorteil: Man braucht kein steilflankiges Bandpassfilter.

Nachteil: 90° -Phasenschieber lassen sich nicht perfekt realisieren, außer für eine einzelne Frequenz. Weil die zu übertragende Information in dem Basisbandsignal codiert ist, hat dieses zwangsläufig eine positive Bandbreite. Selbst wenn es sich um ein Audiosignal mit nur ein paar kHz Bandbreite handelt, ist es sowohl mit analogen elektronischen Bauteilen als auch mit Digitalrechnern schwierig, dafür einen 90° -Phasenschieber zu bauen. Es entstehen immer kleine Phasenabweichungen, die dazu führen, dass bei der Summation zum Schluss das unerwünschte Seitenband nicht vollständig ausgelöscht wird.

Die Weaver-Methode oder dritte Methode

Es sei α die höchste im Basisbandsignal g enthaltene Frequenz. Das folgende Diagramm zeigt den Aufbau eines Weaver-Modulators.



Die grünen Bildchen sollen die Spektren in den Signalpfaden andeuten; es sind aber nicht wirklich die Spektren, weil die Mischung mit \sin eine Multiplikation mit $\frac{1}{i} = -i$ bewirkt und somit imaginäre Werte entstehen. Infolge der zweimaligen Mischung entstehen im unteren Signalpfad letztendlich wieder reelle Werte. Die Halbierung der Amplitudenwerte bei der Mischung ist nicht dargestellt.

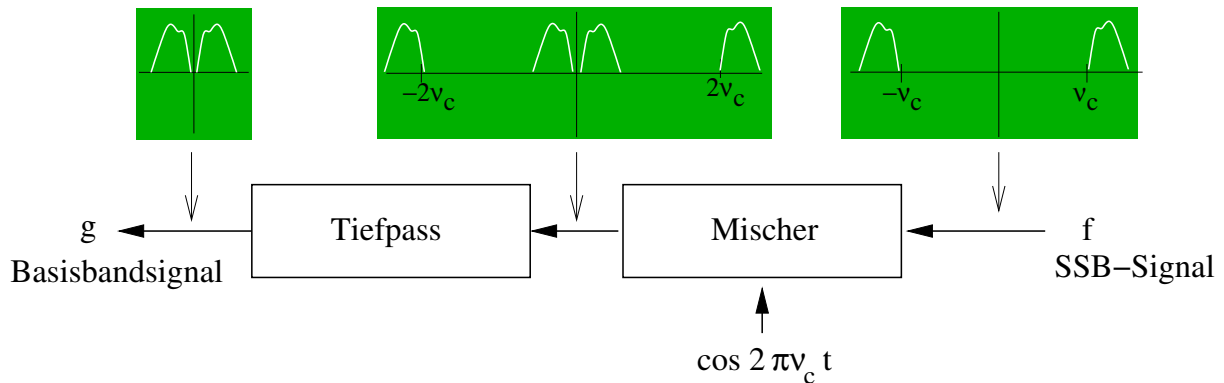
Vorteil: Man braucht weder ein steilflankiges Bandpassfilter auf einer höheren Frequenz noch einen 90° -Phasenschieber. Steilflankige Tiefpassfilter auf niedrigen Frequenzen lassen sich leichter realisieren.

Nachteile: Die beiden Signalzweige müssen in ihren Eigenschaften möglichst identisch sein, damit bei der Summation zum Schluss das unerwünschte Seitenband ausgelöscht wird. Insbesondere müssen die beiden Tiefpassfilter sowohl im Phasen- als auch im Amplitudengang sehr exakt übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, so treten im Ausgangssignal Verzerrungen auf. Denn anders als bei der Phasenmethode,

wo Phasenfehler lediglich dazu führen, dass das unerwünschte Seitenband nur wenig unterdrückt ist, entstehen hier innerhalb des Frequenzbereichs des erwünschten Seitenbandes Störungen. Außerdem erfolgt die erste Mischung mit einer Frequenz, die mitten im Spektrum des Basisbandsignals liegt. Dadurch entstehen Mischprodukte mit sehr tiefen Frequenzen. Deshalb ist das Verfahren empfindlich gegen Einstreuungen von z.B. Netzbrumm, selbst wenn das Basisbandsignal eine Sprachsignal ist, das nur Frequenzen oberhalb von 300 Hz enthält. Deshalb fügt man manchmal noch ein Hochpassfilter ein, das die sehr tiefen Frequenzen unterdrückt. Dies bedeutet dann aber, dass dem SSB-Signal in der Bandmitte Frequenzanteile fehlen.

SSB-Demodulation

Superhet, Filtermethode



Durch die Mischung mit der Frequenz ν_o entstehen zwei Signalanteile bei den Frequenzen $\nu_{\text{in}} - \nu_o$ und $\nu_{\text{in}} + \nu_o$. Die VFO-Frequenz ν_o wählt man so, dass ein Anteil im Durchlassbereich des Bandpassfilters liegt; seine Frequenz wird Zwischenfrequenz (ZF) genannt (IF = intermediate frequency). Der andere Anteil wird nicht weiter verwendet und durch das Bandpassfilter unterdrückt.

Vorteil: Die Frequenz ν_o des Oszillatorsignals kann je nach gewünschter Empfangsfrequenz so gewählt werden, dass das ZF-Signal immer in dem gleichen Frequenzbereich liegt. Das Bandfilter kann somit optimal für diesen festen Frequenzbereich konstruiert werden.

Nachteil: Spiegelfrequenzempfang Hat das Oszillator-Signal die Frequenz ν_o , so gibt es zwei Eingangsfrequenzen, die von dem Mischer in die ZF ν_{ZF} umgesetzt werden, nämlich $\nu_o - \nu_{\text{ZF}}$ und $\nu_o + \nu_{\text{ZF}}$. Die eine liegt unterhalb der VFO-Frequenz, die andere oberhalb. Es werden also zwei verschiedene Eingangssignale gleichzeitig empfangen, was meist unerwünscht ist. Deshalb muss man vor den Mischer noch ein Tief- oder Hochpassfilter, das den jeweils nicht erwünschten Frequenzbereich unterdrückt. Weil die beiden Spiegelfrequenzen den Abstand $2\nu_{\text{ZF}}$ haben, muss dieses Filter keine extrem hohe Flankensteilheit haben, zumindest wenn die ZF nicht all zu niedrig ist.

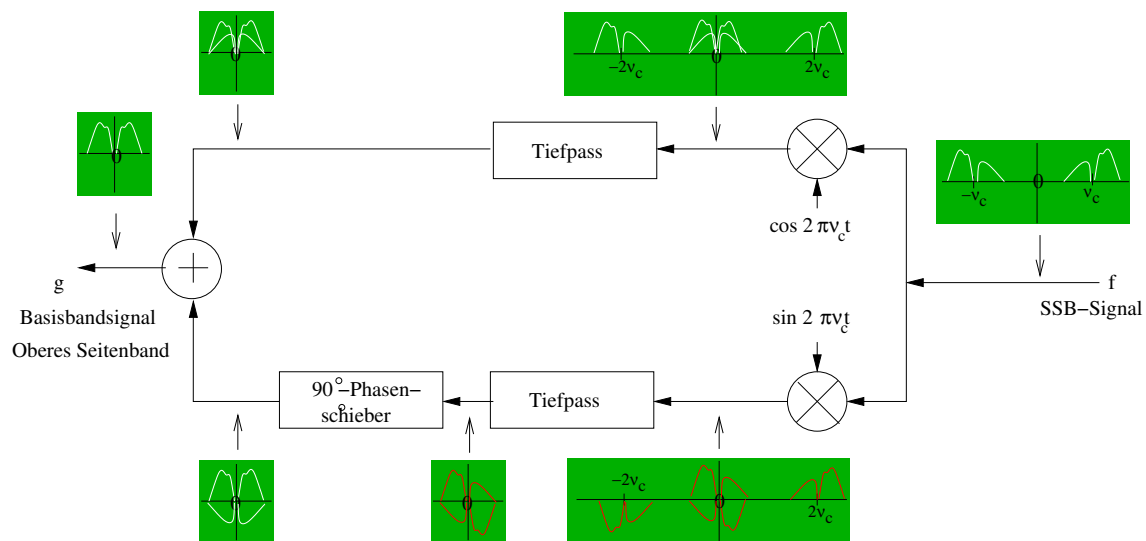
Empfänger mit direkter Umsetzung

Direct Conversion, Zero-IF

Phasenmethode

Das zu empfangende Signal f belege den Frequenzbereich von $[\nu_c, \nu_c + \alpha]$; man betrachtet es als oberes Seitenband (USB) eines SSB-Signals und versucht das entsprechende Basisbandsignal wiederzugewinnen. Mischt man das Signal f mit einer Sinusschwingung der Frequenz ν_c , so wird es in den Frequenzbereich $[0, \alpha]$ heruntergemischt. Die Spiegelfrequenzen belegen den Frequenzbereich $[\nu_c - \alpha, \nu_c]$, also das untere Seitenband LSB, das ebenfalls nach $[0, \alpha]$ heruntergemischt wird. Beide Anteile überlagern sich also. Sie lassen sich trennen, indem man die zur SSB-Erzeugung verwendete Phasenmethode umkehrt. Das Eingangssignal wird also zwei Mischern zugeführt, von denen der eine mit $\cos 2\pi\nu_c t$ mischt, der andere mit $\sin 2\pi\nu_c t$. Die beiden Ausgangssignale der Mischer (I- und Q-Komponenten eines Costas-Mischers) werden mit Tiefpassfiltern von höheren Frequenzkomponenten befreit und um 90° gegeneinander in der Phase verschoben. Dazu schaltet man in den Q-Signalfeld einen 90° -Phasenschieber (Hilberttransformator). Wenn man die beiden entstehenden Signale addiert, heben sich die Spiegelfrequenzanteile gerade auf und man erhält das dem USB entsprechende Basisbandsignal. Wenn man sie subtrahiert, bleiben umgekehrt die Spiegelfrequenzanteile erhalten und man bekommt das dem LSB entsprechende Basisbandsignal. Durch die Tiefpassfilterung werden Eingangssignale mit Frequenzen, die weiter als α von ν_c wegliegen, unterdrückt.

Bei der Mischung mit \sin und der Phasenverschiebung werden die Spektren teilweise imaginär; diese Multiplikation mit i ist nur durch die rote Färbung angedeutet. Dass bei zweimaliger Multiplikation mit i sich einfach das Negative ergibt, ist aber berücksichtigt.

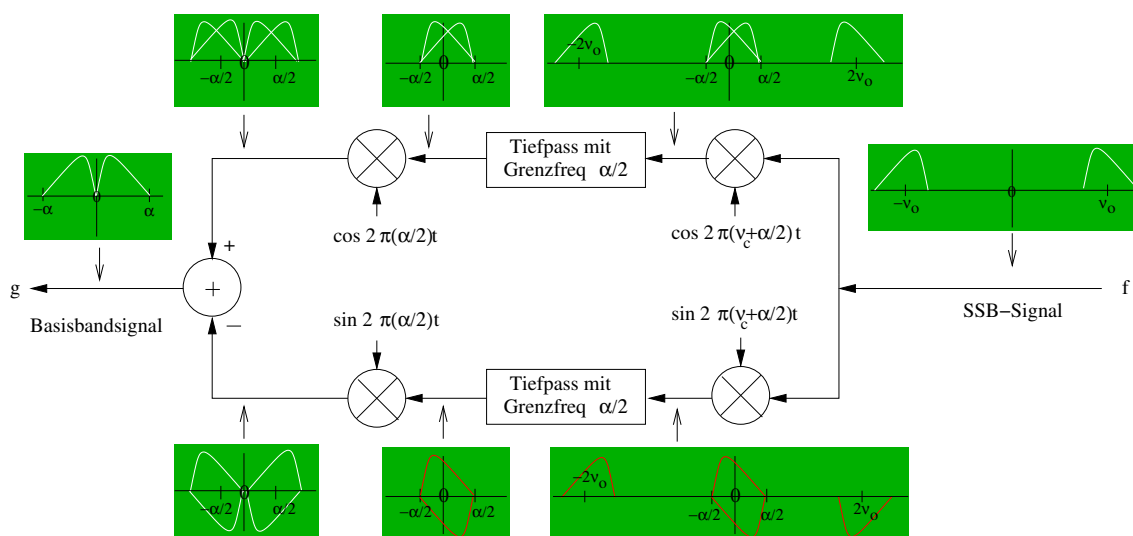


Vorteile: Es wird kein steilflankiges ZF-Bandpassfilter benötigt, sondern nur Tiefpassfilter in niedrigem Frequenzbereich, die leichter zu realisieren sind.

Probleme: Man braucht einen Phasenschieber, der den gesamten Frequenzbereich des Basisbandsignals um 90° in der Phase schiebt. Solche Phasenschieber sind aber nicht exakt realisierbar. Kleine Phasenfehler bewirken, dass das unerwünschte Seitenband (also die Spiegelfrequenzen) nicht mehr exakt eliminiert wird.

Weavermethode

Das zu empfangende Signal f belege den Frequenzbereich von $[\nu_c, \nu_c + \alpha]$. Es wird in zwei Mischern mit $\cos 2\pi\nu_o t$ bzw. mit $\sin 2\pi\nu_o t$ gemischt, wobei $\nu_o = \nu_c + \frac{\alpha}{2}$ ist. Im Gegensatz zur obigen Phasenmethode wird hier die Oszillatorfrequenz mitten im Frequenzbereich von f gewählt. Während bei der Phasenmethode die Spiegelfrequenzen außerhalb des Spektrums von f liegt, sind hier alle heruntergemischten Frequenzen Anteile von f .



Vorteile: Durch die Tiefpassfilter mit Grenzfrequenz $\frac{\alpha}{2}$ hinter den Mixern werden alle Eingangssignale mit Frequenzen außerhalb von $[\nu_c, \nu_c + \alpha]$ unterdrückt. Es gibt somit überhaupt keinen Empfang unerwünschter Spiegelfrequenzen. Es wird kein schwer realisierbarer Phasenschieber und auch kein steilflankiges ZF-Filter benötigt. Die Tiefpassfilter bestimmen nur die empfangene Bandbreite.

Probleme: Die beiden Signalpfade müssen in Verstärkung und Phasenlage sehr genau übereinstimmen. Während bei der Phasenmethode kleine Fehler nur eine mangelhafte Unterdrückung des unerwünschten Seitenbandes bewirken, verursachen bei der Weavermethode kleine Fehler Verzerrungen des demodulierten Basisbandsignals. Weil Signalanteile in der

Mitte des Frequenzbereichs von f zwischendurch auf sehr tiefe Frequenzen heruntergemischt werden und überdies die Signalamplituden in einem Empfänger sehr klein sind, besteht die Gefahr von Einstreuungen des 50 Hz-Netzbrumms. Deshalb ersetzt man oft die Tiefpassfilter durch Bandpassfilter, die tiefe Frequenzen stark dämpfen. Dann entsteht aber in der Mitte des Spektrums des demodulierten Basisbandsignals eine Lücke.