



Laborübung

im Fach: Kommunikationselektronik

Aufgabe: Multiplizierer, Mischer, Modulator

Vortestat

Leiter der Veranstaltung: Prof. Dr. Lange

Laboringenieur: Dipl.- Ing. Schwatlo

Modul: K1

Name:

Laborgruppe:

Datum des Versuchs:

Datum der Abgabe:

Testat:

Rücksprache:

1. Einleitung

1.1 Analoge Multiplizierer

Analoge Multiplizierer besitzen in der Regel zwei Signaleingänge (input ports z.B. X und Y) und erzeugen ein Ausgangssignal Z, welches das lineare Produkt der Spannungen an den beiden Signaleingängen ist. Damit das Ausgangssignal weiterhin die Dimension Volt hat, wird das Produkt mit einem Rechenbeiwert (E) versehen, so daß $V_z = V_x \cdot V_y / E$ ist. In einigen Fällen kann der Rechenbeiwert über einen dritten Eingang zugeführt werden um somit eine analoge Division durchführen zu können.

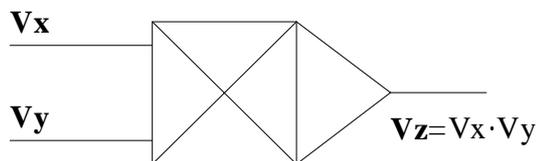


Abb. 1 Multiplizierer

Man unterscheidet zwischen 1- Quadranten, 2- Quadranten und 4- Quadranten Multiplizierer. Im ersten Fall des 1-Quadranten Multiplizierers müssen beiden Eingangsspannungen V_x und V_y unipolar sein. Das heißt beide Spannungen müssen das gleiche Vorzeichen besitzen. Im zweiten Fall, des 2- Quadranten-Multiplizierers, darf eine Eingangsspannung bipolar sein, das heißt sie darf ein positives sowohl auch ein negatives Vorzeichen aufweisen. Im letzten Fall, des 4- Quadranten- Multiplizierers, dürfen beiden Eingangsspannungen bipolar sein.

1.2 Modulatoren

Modulatoren, manchmal auch Balance- Modulatoren genannt, können als Schaltkreis betrachtet werden, welcher von einer Eingangsgröße fortlaufend das Vorzeichen umschaltet. Gehen wir wieder von Abb.1 aus, so besitzt auch ein Modulator zwei Eingangsspannungen V_x und V_y , welche eine Ausgangsspannung V_z erzeugen. Die Spannung V_z ist vereinfacht gesagt z.B. die Spannung V_x multipliziert mit dem Vorzeichen von V_y . $V_z = V_x \cdot \text{sign}(V_y)$ Ein guter Modulator zeigt hinsichtlich seiner Signalfade sehr hohes lineares Verhalten. Der Verstärkungsfaktor für positive und negative Signalspannungen ist genau gleich. Idealerweise wird am Y- Eingang nur eine kleine Spannung benötigt, um das Vorzeichen der Spannung V_x am Ausgang des Modulators umzuschalten. Der Y- Eingang zeigt hier Komparator ähnliches Verhalten.

1.3 Mischer

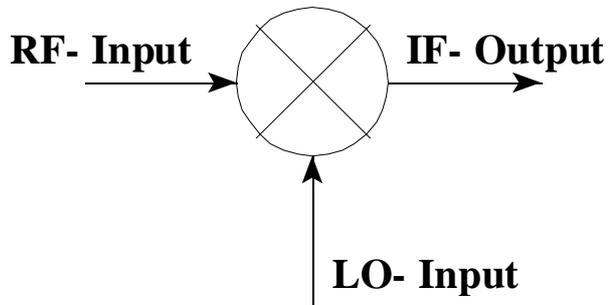


Abb. 2 Mischer

Mischer sind ebenfalls Modulatoren, welche optimiert sind um Signale von einem gegebenen Frequenzbereich in einen anderen Frequenzbereich zu bewegen. Mischer haben auch zwei Eingänge, wobei ein Eingang als RF-Input bezeichnet wird (RF radio frequency). Diesem Eingang wird in der Regel ein hochfrequentes Signal zugeführt. Der zweite Eingang wird meistens mit LO-Input (LO local

oscillator) bezeichnet. Der Ausgang wird als IF-Output oder ZF-Ausgang bezeichnet. Ein Mischer nimmt die Spannung am RF-Eingang und mischt diese mit der Spannung am LO-Eingang und erzeugt ein ZF-Ausgangssignal, welches die Frequenzkomponenten $f_{RF}+f_{LO}$ sowie $f_{RF}-f_{LO}$ enthält. Mit einem Bandpass können die gewünschten Signalkomponenten heraus gefiltert werden. Wird die Summenfrequenz weiter verwendet so spricht man von einem upconverter und im Fall das die Differenzfrequenz verwendet wird von einem downconverter. In einem Radio zum Beispiel, werden Mischer eingesetzt um Signale von der Antenne (nach dem Vorverstärker) aus der HF-Lage z.B. bei 102.4MHz mit einer Oszillatorfrequenz in die niederfrequente ZF-Lage bei 10.7MHz herunter zu mischen. In dem Antennensignal sind neben dem erwünschten Signal oftmals auch unerwünschte Signale (meistens mit großer Amplitude) enthalten. Daher müssen Mixer zwischen IF-Output und RF-Input eine sehr hohe Linearität aufweisen. Steigt das Signal am RF-Input um x- dB so muß das IF-Signal um den gleichen Wert steigen und das bis zum größtmöglichen Eingangspegel. Eine Aussage über diese Aussteuerungsfestigkeit sowie der Linearität bei Mixern und Verstärkern wird mit dem 1dB Kompressionspunkt und dem 3. Ordnung Intercept-Point getroffen. Erläuterung zu diesem Thema folgen später. Ferner ist es erwünschenswert, die Leistung am LO-Input so gering wie möglich zu halten, um ein Übersprechen zwischen den drei Signalen am Mischer zu minimieren. Die Verstärkung zwischen RF-Inputsignal und dem IF-Outputsignal bei spezifizierten RF und LO-Frequenzen wird als conversion gain bezeichnet. Passive Mischer (Diodenbrücken) haben eine conversion gain von -4dB. Aktive Mischer dagegen haben meistens eine relativ hohe conversion gain und eine gute Port to Port Isolation, allerdings geht das auf Kosten der Linearität und der Rauschzahl.

1.4 Multiplizierer im Einsatz als Mischer

Zusammenfassend kann man sagen das sowohl Multiplizierer, Modulatoren und auch Mischer eine multiplizierende Wirkung haben. Jedoch sind ihre Ergebnisse unterschiedlich. Betrachten wir eine Sinusschwingung bei 11MHz die mit einer LO-Frequenz von 11 MHz in die ZF- Lage von 1MHz herunter gemischt werden soll. Verwenden wir einen Multiplizierer mit idealem Verhalten (kein Rauschen, lineares Übertragungsverhalten) so ergeben sich folgende Eingangs- und Ausgangszeitensignale und ihre dazu gehörende Spektren.

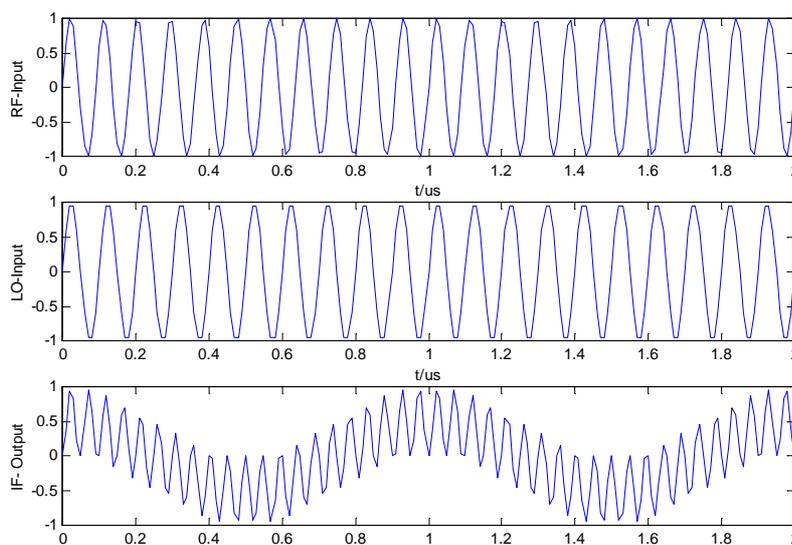


Abb. 3 Eingangssignale und Ausgangssignal eines Multiplizierers

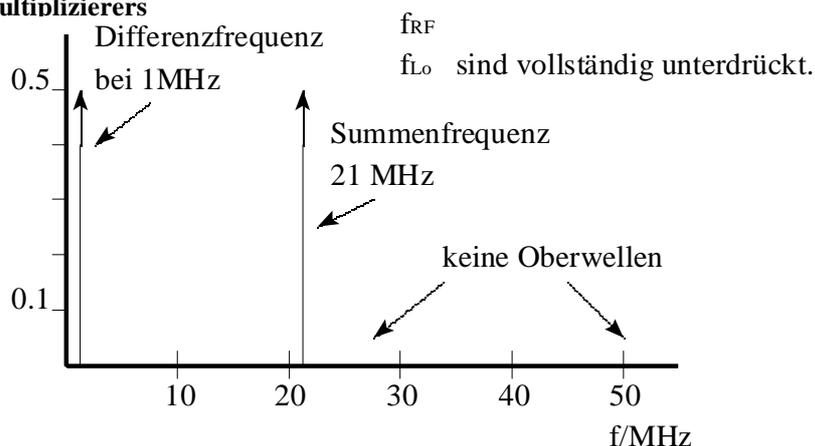


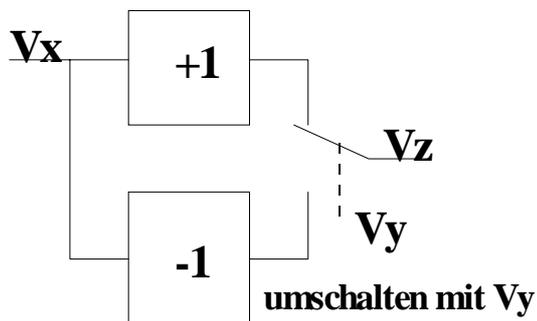
Abb. 4 Spektrum des IF- Outputsignals

Mathematisch ist dieser Vorgang sehr leicht abzuleiten.

$$IF_{out} = \sin(\omega_{RF}t) \cdot \sin(\omega_{LO}t) = \frac{1}{2} [\cos(\omega_{RF} + \omega_{LO})t + \cos(\omega_{RF} - \omega_{LO})t] \quad \text{Gl. 1}$$

Setzt man den Rechenbeiwert $E = 1V$ so entstehen bedingt durch die Additionstheoreme zwei Frequenzlinien bei der Differenzfrequenz und bei der Summenfrequenz. Die Höhe der Frequenzlinien beträgt $0.5V$ wenn die Amplituden der Eingangssignale $1 V$ betragen.

1.5 Mischung mit einem idealen Schaltmischer (switching Mixer)



Ein idealer Schaltmischer kann im Prinzip als ein Schaltkreis aufgefaßt werden, der in Abhängigkeit der Spannung am LO- Eingang , die Spannung am RF- Eingang hinsichtlich des Vorzeichens umschaltet (siehe auch Erläuterung Modulator). Das Signal am RF- Eingang wird aufgeteilt in ein IN-phase Signal (0°) und ein Anti- Phase Signal(180°).

Abb. 5 Modulator

Ein Umschalter der durch das LO- Signal gesteuert wird, gibt abwechselnd das IN-Phase und das Anti- Phase an den IF- Ausgang weiter. Ein idealer Mischer würde kein zusätzliches Rauschen produzieren, der Umschalter würde einen 0 Ohm Durchgangswiderstand aufweisen, es würde keine Begrenzung der maximalen Amplitude geben, außerdem würde keine Intermodulation zwischen den verschiedenen RF- Signalen (Radioband mit vielen benachbarten Trägerfrequenzen) entstehen. Unter diesen idealen Voraussetzungen lassen sich sehr leicht die Zeitsignale und Spektren für diesen Mischvorgang zeigen und ableiten. Im anderen Fall wird das Spektrum

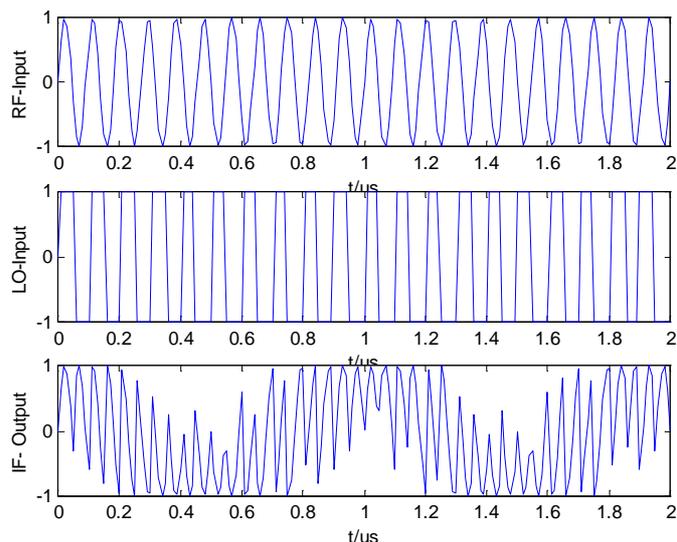


Abb. 6 Zeitsignale eines idealen

sehr komplex und ist wesentlich schwieriger abzuleiten. Setzen wir wieder die Frequenz des RF- Signals auf $f_{RF} = 11 \text{ MHz}$ und die des LO- Oszillators auf $f_{LO} = 10 \text{ MHz}$ so ergeben sich die Zeitsignale nach Abb.6 und die Spektren nach Abb.7.

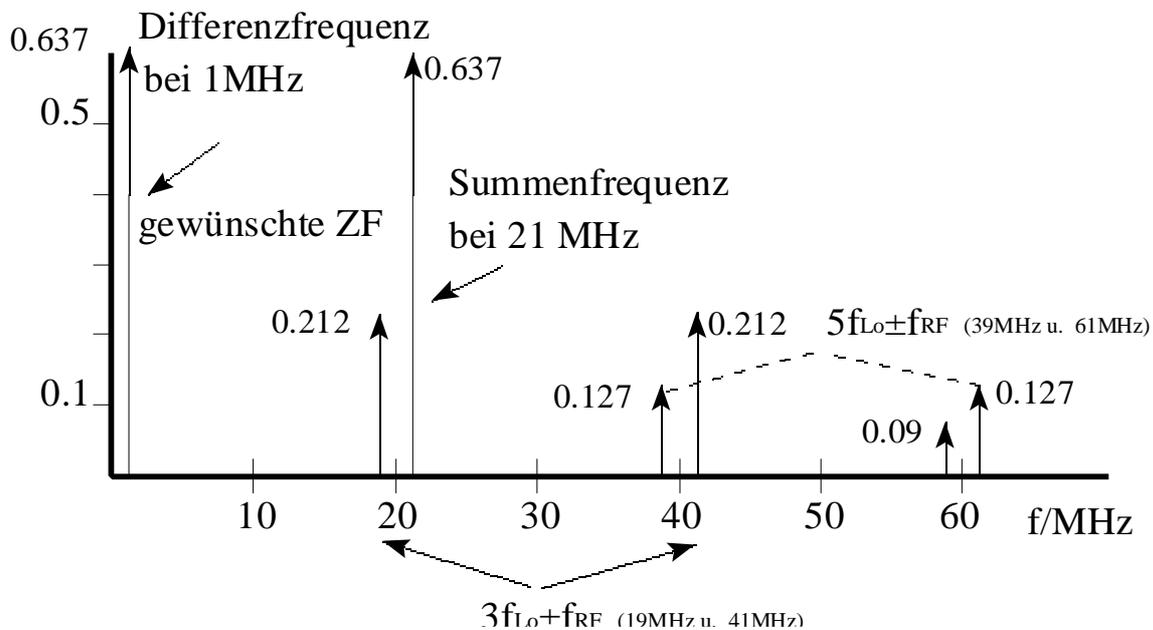


Abb. 7 Spektrum am Ausgang des Schaltmischers

Im Prinzip wird auch in diesem Fall eine Multiplikation durchgeführt. Am LO- Eingang liegt jetzt aber keine sinusförmige Spannung mit der Frequenz f_{LO} sondern eine Spannung die nur die Werte $+1$ und -1 annehmen kann. Das entspricht einer Rechteckspannung mit der Frequenz f_{LO} . Im Spektralenbereich kann eine Rechteckschwingung durch ihre Fourierreihe beschrieben werden. Demnach setzt sich eine Rechteckschwingung aus der Grundwelle und ihren Oberwellen zusammen.

$$S_{LO}(w) = \frac{4}{\pi} \left(\sin(\omega_{LO}t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_{LO}t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_{LO}t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega_{LO}t) + \dots \right)$$

Setzt man am RF- Eingang eine sinusförmige Spannung mit der Frequenz f_{RF} an, so ergibt sich für das Ausgangssignal des Mixers folgender Ausdruck:

$$S_{IF}(f) = \frac{4}{\pi} \left(\sin(\omega_{RF}t) \cdot \sin(\omega_{LO}t) + \frac{1}{3} \sin(\omega_{RF}t) \cdot \sin(3\omega_{LO}t) + \frac{1}{5} \sin(\omega_{RF}t) \cdot \sin(5\omega_{LO}t) + \dots \right)$$

Berechnet man die einzelnen Produkte und klammert aus erhält man das in Abb.7 dargestellte Spektrum.

$$\begin{aligned}
 S_{IF}(f) = & \frac{2}{\pi} (\cos(\omega_{RF} + \omega_{LO})t + \cos(\omega_{RF} - \omega_{LO})t \\
 & + \frac{1}{3} \cos(\omega_{RF} + 3\omega_{LO})t + \cos(\omega_{RF} - 3\omega_{LO})t \\
 & + \frac{1}{5} \cos(\omega_{RF} + 5\omega_{LO})t + \cos(\omega_{RF} - 5\omega_{LO})t + \dots)
 \end{aligned}$$

Vereinfacht ausgedrückt :

$$S_{IF}(f) = \frac{2}{\pi} (\cos(\omega_{RF} + \omega_{LO})t + \cos(\omega_{RF} - \omega_{LO})t + \text{Harmonische})$$

Am Mischerausgang erhält man im Vergleich zum Multiplizierer neben der Summen- und Differenzfrequenz auch um die Harmonischen der Oszillatorfrequenz eine Summen- und Differenzfrequenz.

1.6 Praktische Ausführungen von Mischern

1.6.1 Dioden- Ringmischer

Für eine sehr lange Zeit war der Dioden- Ringmischer (Abb.8) die am meisten verbreitete Schaltungsvariante für Mischer. Zum Einsatz kommen Silicium Schottky-Barrier oder Gallium Arsenid Dioden. Die Anforderung an die Symmetrie der beiden Transformatoren ist sehr hoch wenn man eine ausreichende Unterdrückung der unerwünschten Spektralanteile erreichen will. Ferner benötigt man große Spannungen am LO-Eingang damit die Dioden ausreichend genug durchschalten. Außerdem besitzt diese Variante des Mixers keine conversion gain, sondern dämpft das IF-Signal um 3.92dB (0.637).

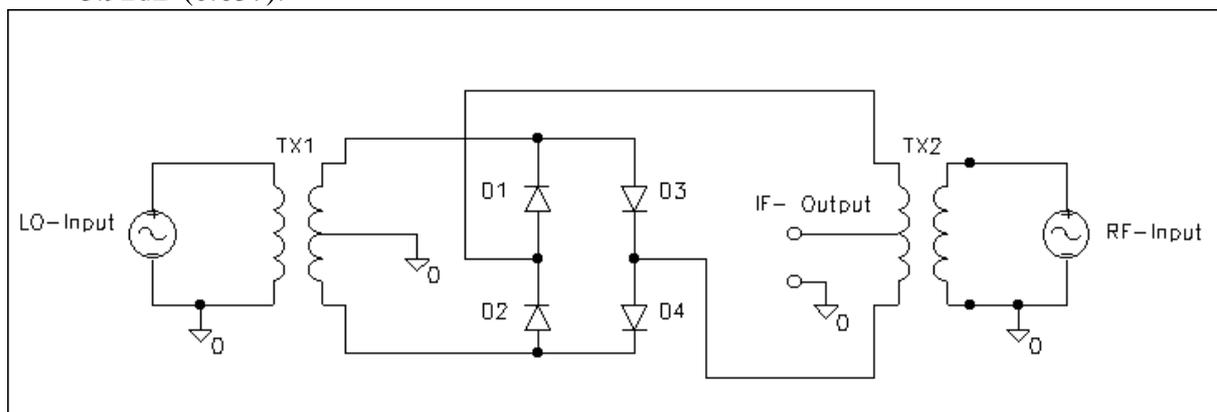


Abb. 8 Dioden- Ringmischer

Mitte der 60er Jahre kam man auf die Idee die 4 Dioden durch Transistoren zu ersetzen und mit diesen die gleiche Schaltfunktion nachzubilden. Der Vorteil ist, daß alle Komponenten in einem Chip integriert werden können. Außerdem ist durch die aktiven Bauelemente eine conversion gain möglich. Seit ca. 25 Jahren werden diese Aktiven Mischer eingesetzt. Abb.9 zeigt den klassischen Aufbau eines aktiven Mischers der in der Literatur auch als Gilbert Zelle bezeichnet wird.

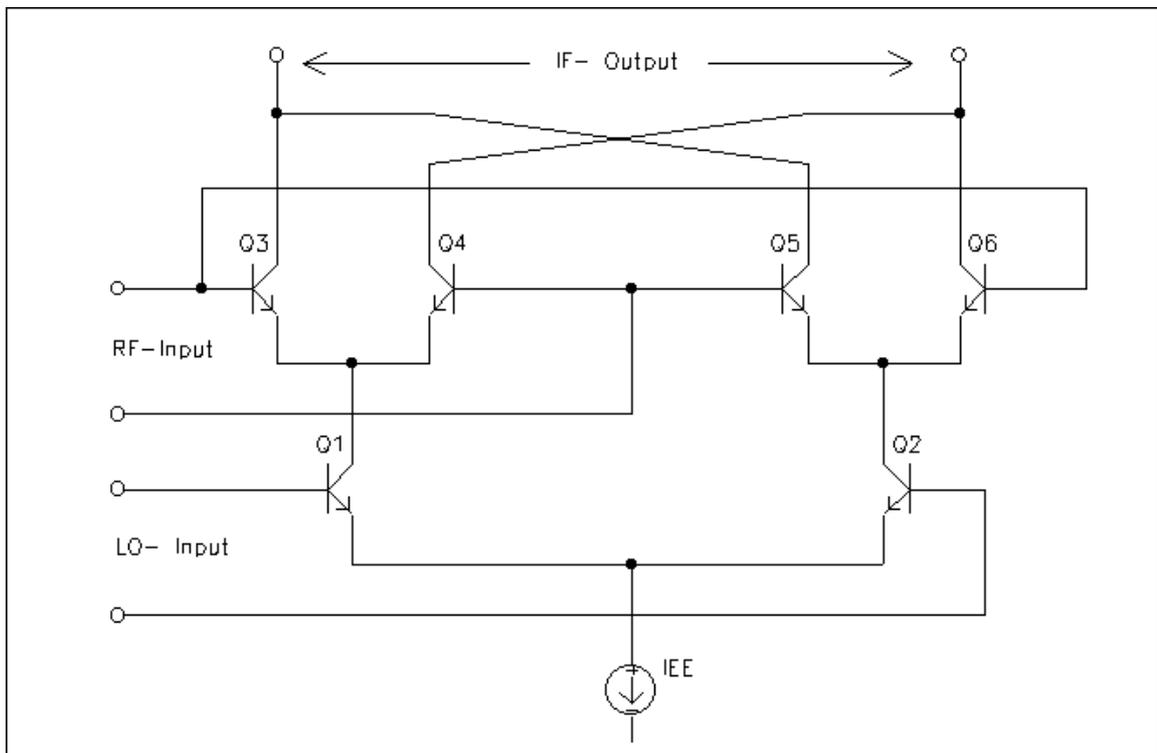


Abb. 9 Aufbau einer Gilbert Zelle

1.7 Kenngröße von Mixern

1.7.1 1dB Kompressionspunkt

Geht man von einem Mischer aus und legt den Pegel am LO- Eingang fest, so wird der Pegel am IF- Ausgang stetig einer Pegelerhöhung am RF- Eingang folgen. Die Übertragungskennlinie des Mischer, ist solange diese Tatsache zutrifft, quasi linear. Ab einem bestimmten Eingangspegel kann der Mischer keinen größeren Ausgangspegel mehr liefern, da er bedingt durch die Versorgungsspannung und den inneren Aufbau der Transistoren in die Sättigung geht. Der 1dB Kompressionspunkt ist der Punkt, wo

die reale Übertragungskennlinie von der idealen linearen Kennlinie um 1 dB abweicht, um anschließend in die Sättigung zu gehen.

Der 1 dB Kompressionspunkt, wird in den Datenblätter oft mit P_{1dB} bezeichnet.

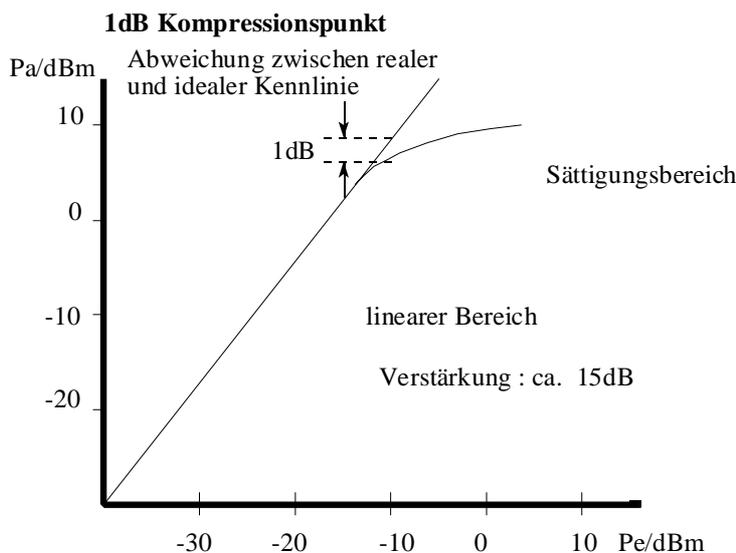


Abb. 10 Übertragungskennlinie

1.7.2 Intermodulation

Unter Intermodulation versteht man die Mischung zweier Nachbarsignale f_1 und f_2 an den Nichtlinearitäten des Mischers oder Verstärkers. Es entstehen Intermodulationsprodukte höherer Ordnungen.

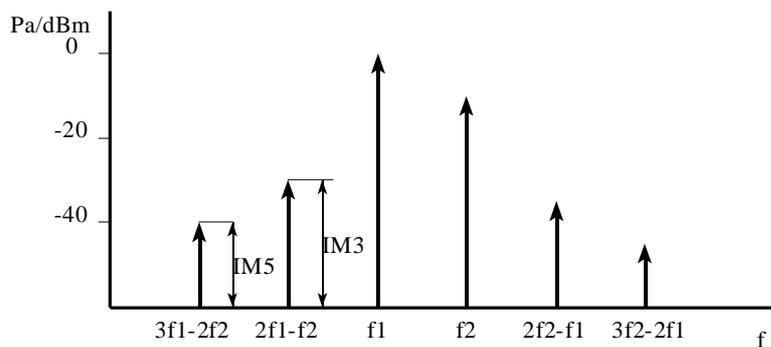


Abb. 11 Intermodulationsprodukte

- Intermodulationsprodukte 1. Ordnung bestehen aus den Frequenzen f_1 und f_2
- Intermodulationsprodukte 2. Ordnung aus den Frequenzen $2f_1$ $2f_2$ sowie f_2-f_1
- Intermodulationsprodukte 3. Ordnung aus den Frequenzen $2f_1-f_2$, $2f_1+f_2$, $2f_2-f_1$, $2f_2+f_1$ wobei die Differenzfrequenzen am meisten stören.
- Intermodulationsprodukte 5. Ordnung aus den Frequenzen $3f_1-2f_2$ und $3f_2-2f_1$

2. Literatur

- Vorlesungsscript Integrierte Schaltungstechnik, Prof. Dr. Ing. Lange
- High Speed Design Techniques , Analog Devices, ISBN 0-916550-17-6
- Halbleiter Schaltungstechnik Tietze und Schenk, Springer Verlag , ISBN 3-540-56184-6
- Elektronische Schaltungen Köstner, Möschwitzer, Hanser Verlag, ISBN 3-446-16588-6
- Datenblatt von Philips zum SA 602 bzw. NE602 <http://207.87.1.43/> (Philips, Semiconductor)
- Grundlagen der Empfänger- Meßtechnik, interne Arbeitsblätter der FH Kiel, Dipl.-Ing. M. Karger
- UKW- Berichte 2/99 Prof. G. Glasmachers Digitale PM Gilbert- Zelle als Phasenmodulator

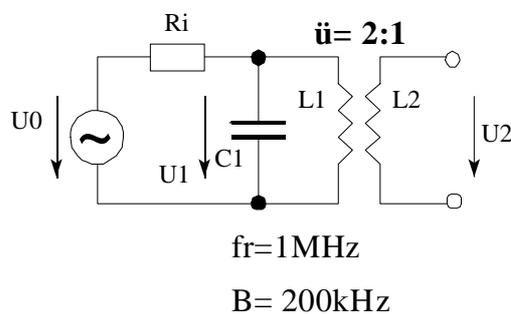
3. Vorbereitung zum Versuch

Bauen Sie den Mischer anhand der Datenblätter auf (Lochrasterplatine).

Dimensionieren Sie den internen Colpitts- Oszillator so, daß er auf einer Frequenz von 27MHz schwingt. Die Eingangsschaltung (RF- Input) soll Untuned, single- ended ausgeführt werden. Der Ausgangskreis kann als Balanced Output mit Schwingkreis $f_{res} = 1\text{MHz}$ und $B = 200\text{kHz}$ ausgelegt werden. Der Oszillator soll als Colpitts Quartzoszillator realisiert werden. (Achtung, Quartz schwingt auf seiner Grundwelle von 9MHz, Saugkreis für diese Frequenz implementieren!!) Der Ausgangsübertrager soll ein Übertragungsverhältnis von 2:1 aufweisen. Die Stromversorgung und die Masseleitung sollen möglichst kurz und dick ausgeführt werden (kleine Leitungsinduktivität, niederohmig). Abblockkondensatoren (100nF) werden möglichst dicht am Mischerbaustein zwischen Versorgungsspannung und Masse eingelötet. (**kurze** Leitungen vom Kondensator zur Versorgungsspannung und Masse)

Sollten diese Empfehlungen ignoriert werden, so können sich auf den Masse- und Versorgungsleitungen Störsignale ausbilden welche die Funktion des Mixers stark beeinflussen.

Grundlagen zur Dimensionierung des Schwingkreises:



$$Q = \frac{f_r}{B} = \frac{R}{\omega_r L}$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$

$$L = N^2 A_L \quad A_L = 250\text{nH} / \text{Wdg}^2$$

R_i : Ausgangswiderstand des Mixers



4. Versuchsdurchführung

- Nehmen Sie den Mischer in Betrieb und überprüfen Sie seine Funktion.
- Benutzen Sie den internen Oszillator und geben Sie als RF- Eingangssignal eine sinusförmige Schwingung mit $f = 28\text{MHz}$ vor. Nehmen Sie die Übertragungskennlinie auf und bestimmen Sie den 1dB Kompressionspunkt.
- Die Amplitude soll jetzt so gewählt werden, daß die Aussteuerung ca. 30 dB unterhalb des Kompressionspunktes liegt. Messen Sie das Zeitsignal und das Spektrum des IF- Ausgangssignals (vor und nach dem Bandpaßfilter).
- Variieren Sie die Frequenz des RF- Signals zwischen 27.5MHz und 28.5MHz und messen Sie die Durchlaßkurve des Bandpaßfilters.
- Geben Sie mit Hilfe eines Testsenders ein FM- moduliertes Signal mit $f_T = 28\text{MHz}$ und einer HF- Bandbreite von 200kHz auf den Mischer. Messen Sie das Spektrum am Ausgang des Mixers (hinter dem Bandpaßfilter).

Kiel, den 20.03.01