

Labor-4 Übung

"AM amplitude modulation"

mit OTA, Gilbert-Zellen und Diodenring-Mischern

Nov+Dez.2011, XH

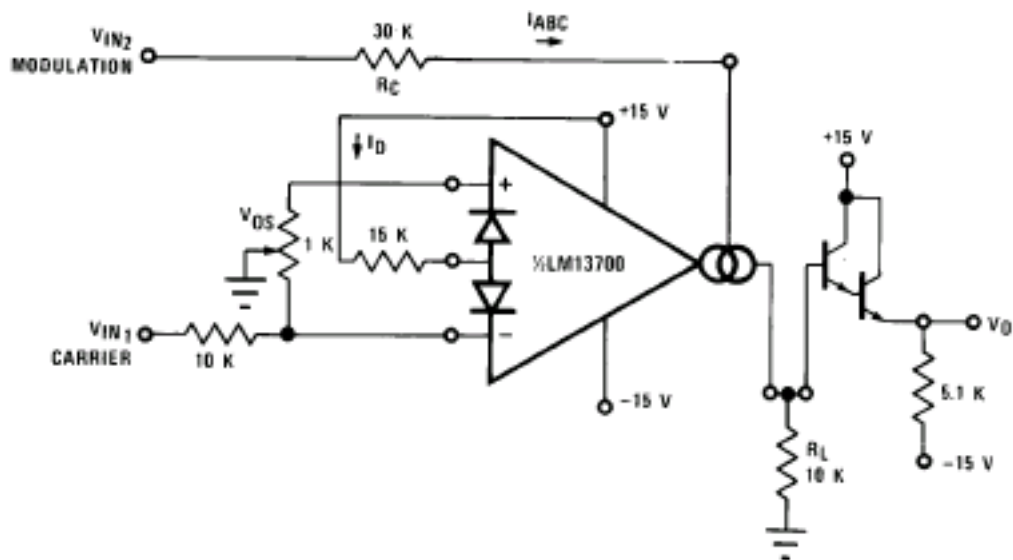


FIGURE 5. Amplitude Modulator

Abbildung 1: AM modulator with LM13700 OTA

Inhaltsverzeichnis

1	Xh - Vorwort	2
2	Aufgabe-1: Übertragungskennlinien des LM13700 (AM)	3
3	Aufgabe-2: 100mV Modulationstrapez mit LM13700 (AM)	4
4	Aufgabe-3: 1000mV Modulationstrapez mit LM13700 (AM)	5
5	Aufgaben 4 bis 99: Eine der Labor-Übungen aus den Unterlagen	6
6	Modulieren - Mischen - Sampling	6
6.1	AM, DSB, SSB	6
6.2	additives Mischen: <i>out</i>	7
6.3	multiplikative Mischer und Schaltmischer	7
7	Unterlagen	9
7.1	Labor-Übung 122-AM	9
7.2	Labor-Übung 123-AM-Demodulation	19
7.3	LM13700 twin OTA Datenblatt	25
7.4	de.wiki "Mischer" pdf	30
7.5	en.wiki "RingModulation" pdf	40
7.6	de.wiki "Amplitudenmodulation" → Modulationstrapez	44

1 Xh - Vorwort

Liebe Innen und Kandidaten:

Da sein viel z viele Teilaufgaben in den Labor-Aufgaben-Dokumenten drin. Das geht sich nit amol in 3 Wochen für Enk aus. **Deshalb schlagi vor:**

Jede *Gruppe* sucht sich ein(1) **aussagekräftiges (!)** gemeinsames Experiment aus. Alle Innen und Kandidaten machen *einzel*n *alleine* *individuell* (=ohne Abschreiben und Betrug) dann die Auswertung mit

- ☐ Meßprotokoll,
- ☐ Diagramm
- ☐ und Fehlerrechnung.

Dazu

kriege iXH unter "Diskussion" eine kurz - Zusammenfassung der lernwürdigen Erkenntnisse aller hier folgenden Inhalte (genau 1 Seite = ohne Aufblase-Tricks ;-)

Danke!

2 Aufgabe-1: Übertragungskennlinien des LM13700 (AM)

Bitte der Reihe nach

1. Den $R=15k$ zu den *linearizing Diodes* wecklassen.
2. Den $R_{ABC=AmplifierBiasCurrent}=30k$ für I_{ABC} nachrechnen!
3. nur mit $\pm 10 V_{DC}$ betreiben reicht.
4. Die **Übertragungskennlinien**

$$U_a = f(U_{e,Carrier}) \quad (1)$$

für $U_{e,Carrier} = [0 \dots 5V_{dc}]$

(Tip: Dreieck- oder Ramp-Signal)

des LM13700 OTA (s. Abb.1)

für $I_{abc,Pin1,16} = 5\mu A, 50\mu A$ und $500\mu A$ (NG^1 + Vorwiderstand)

bei Speisung mit $V^+ = +10V_{DC}, V^- = -10V_{DC}$

punktweise ermitteln.

5. Meßwert-Protokolle angeben.
6. die **Genauigkeiten** aller relevanten Elemente angeben
7. das **Diagramm** zeichnen
8. die Genauigkeit des Ergebnisses (Kennlinie)
nach Gaußscher **Fehlerfortpflanzung** errechnen
9. die **Genauigkeitsgrenzen** in der Kennlinie einzeichnen

Danke!

3 Aufgabe-2: 100mV Modulationstrapez mit LM13700 (AM)

Bitte der Reihe nach

1. Den $R=15k$ zu den *linearizing Diodes* wecklassen.
2. Den $R_{ABC=AmplifierBiasCurrent}=30k$ für I_{ABC} nachrechnen!
3. nur mit $\pm 10 V_{DC}$ betreiben reicht.
4. Die dynamische **Modulationskennlinie**

$$\frac{y : \widehat{U_a}}{x : \widehat{U_{e,Mod}}} \quad (2)$$

("x" ... Amplitude)

des LM13700-AM-Modulators (s. Abb.1)
bei $\widehat{U_{e,Carrier}} = 100mV_{ss}$ *punktweise* ermitteln.
(Speisung mit $V^+ = +10V_{DC}$, $V^- = -10V_{DC}$,
 $f_{HF} = 10..100kHz$, $f_{NF} = 1kHz$)

5. Meßwert-Protokolle angeben.
6. die **Genauigkeiten** aller relevanten Elemente angeben
7. das **Diagramm** zeichnen
8. die Genauigkeit des Ergebnisses (Kennlinie)
nach Gaußscher **Fehlerfortpflanzung** errechnen
9. die **Genauigkeitsgrenzen** in der Kennlinie einzeichnen

Danke!

4 Aufgabe-3: 1000mV Modulationstrapez mit LM13700 (AM)

Bitte der Reihe nach

1. Den $R=15k$ zu den *linearizing Diodes* wecklassen.
2. Den $R_{ABC=AmplifierBiasCurrent}=30k$ für I_{ABC} nachrechnen!
3. nur mit $\pm 10 V_{DC}$ betreiben reicht.
4. Die dynamische **Modulationskennlinie**

$$\frac{y : \widehat{U_a}}{x : \widehat{U_{e,Mod}}} \quad (3)$$

("x" ... Amplitude)

des LM13700-AM-Modulators (s. Abb.1)
bei $\widehat{U_{e,Carrier}} = 1000mV_{ss}$ *punktweise* ermitteln.
(Speisung mit $V^+ = +10V_{DC}$, $V^- = -10V_{DC}$,
 $f_{HF} = 10..100kHz$, $f_{NF} = 1kHz$)

5. Meßwert-Protokolle angeben.
6. die **Genauigkeiten** aller relevanten Elemente angeben
7. das **Diagramm** zeichnen
8. die Genauigkeit des Ergebnisses (Kennlinie)
nach Gaußscher **Fehlerfortpflanzung** errechnen
9. die **Genauigkeitsgrenzen** in der Kennlinie einzeichnen

Danke!

5 Aufgaben 4 bis 99: Eine der Labor-Übungen aus den Unterlagen

bitte durchlesen. . .

6 Modulieren - Mischen - Sampling

Modulation, (multiplikative) Mischung und Abtastung

sind weitgehend **dasselbe** und unterscheiden sich nur durch Randbedingungen:

- ⊞ beim Modulator
hat man die Input-Signal-Pegel im Griff und kann den günstigsten Mischerarbeitspunkt einstellen. Das gewöhnlich im 100mV-Bereich liegende NF-Signal kann nicht über HF-Trafos geführt werden, und Ring-Dioden schaltet es auch nicht durch.
- ⊞ bei der Demodulation sind die Input-Pegel ebenfalls konstant (HF-Pegel durch AGC-Regelkreis). Das NF- Outputsignal kann simpel und wirksam mit NF-Selektionsmitteln gefiltert werden.
- ⊞ die Frequenz-Umsetzung von HF-Signalen mit HF-Mischern ist Teil jedes "Superheterodyne" - Funksignal-Empfängers, wo die Eingangspegel extreme Unterschiede aufweisen. Hier ist die "Großsignalfestigkeit" (gegen Übersteuerung) *das* Qualitätsmerkmal der Mischung. Man gibt einen IMDR "Intermodulation Dynamic Range" von z.Zt. bis zu ca. 110dB an (erst ein > 110dB stärkeres Nebkanal-Störsignal erzeugt ein dem Nutzsignal ebenbürtiges "aliasing"- Signal im Empfangskanal) oder einen " IP_3 " - den Pegel des rechnerischen Schnittpunkts der Übertragungskennlinien von Nutz- und Störsignal von z.Zt. bis zu +40dbm (=10 Watt! Störsignal-Leistung). Ein solcher Kurzwellen-Empfänger kostete 2010 ca. 3000EUR, aber da kannst ein paar Kilohertz daneben 100 Watt rausblasen und der RX hört davon absolut null. Schlechtere Empfänger erzeugen Geister-Pfeiftöne oder werden "zugestopft" d.h. "taub" = hören die leisen Signale nicht mehr.
- ⊞ Sampling = Abtastung,
zumeist in Zusammenhang mit ADC oder DAC, liefert am Ausgang einzelne Werte des Eingangssignals mit Zeit-Lücken dazwischen. Das ist somit so, als hätte man das Eingangssignal im zyklischen Rhythmus einer Schaltfrequenz = Abtastrate alternierend² **mit NULL oder EINS multipliziert**. Somit ist enge Verwandtschaft zur intentionellen³ Signal-Mischung gegeben. Die Mischprodukte werden hier allerdings **Aliasing** - Signale genannt und mit allen Mitteln unterdrückt.

6.1 AM, DSB, SSB

Mischer ist nicht gleich Mischer! Sie unterscheiden sich qualitativ

- o durch den Oberwellengehalt des Mischproduktes,
- o die Mischverstärkung (aktiv: +xx dB, passiv: -xx dB typ. -5..-8dB)

²abwechselnd

³absichtlich, vorsätzlich

- o die Übersteuerungsfestigkeit (" IP_3 " InterceptPunkt 3.Ordg.)
- o und insbesondere die **Träger-Unterdrückung**

Wenn bei der Modulation die Trägerschwingung unterdrückt wird, dann kommt **DSB statt AM** heraus: DSB... DoubleSideBand = AM ohne Träger - das machen symmetrische und doppelt symmetrische Mischer "balancedModulator" und "DBM = DoubleBalancedModulator", SSB... SingleSideBand = nur mehr ein Seitenband erhält man durch Quarz-Filterung oder Quadraturmodulator (auch I/Q-Modulator) mit zwei 90° phasenverschobenen LOs.

Also Achtung!:

Der Diodenring-Schaltmischer als DBM erzeugt DSB und kein AM!
Für AM muß man diesen mit Gleichspannungs-Offset erst aus der Balance bringen
- dann geht's doch.

6.2 additives Mischen: *out*

Die (im AM-Laboraaufgaben-PDF angeführte) Methode, Trägersignal ("carrier") und Modulation zuerst zu addieren und dann aus an einer nichtlinearen Kennlinie (quadratische FET- und Röhrenkennlinie oder exponentielle Diodenkennlinie) produzierten Oberwellensauerei die multiplikativen Mischprodukte herauszufiltern, ist veraltet und kommt nur noch im oberen Mikrowellenbereich zur Anwendung, wo man keine anderen schnellen Bauteile hat.

6.3 multiplikative Mischer und Schaltmischer

Im nunmehrigen Zeitalter (2011) der Miniaturisierung hat man mit wenig Mehraufwand die weitaus bessere Möglichkeit der multiplikativen Mischung mit

- analog - Multiplizierern (zB AD633, AD835),
Steilheitsmultiplizierern/Gilbert-Zellen ("Transistor-Tree"):
OTA: CA3080, LM13600, LM13700, NE5517,...
Mixer: NE602/SA602/NE612/SA612, MC1496, SL6440, SO42P, TBA120, TCA440, CA3028, AD831, AD8342 ua.
- passiven DBM- Dioden-Ring oder quad-FET-Ring- SchaltMischern (DBM = "Double Balanced Mixer") wie IE500, MiniCircuits ADE-1, SBL-1, TUF-1

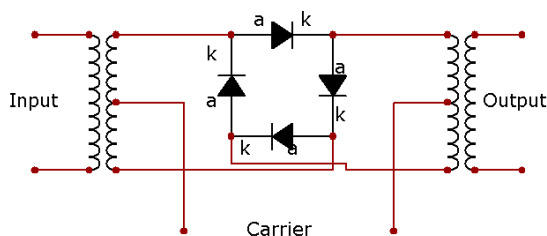


Abbildung 2: Dioden-Ring-Mischer

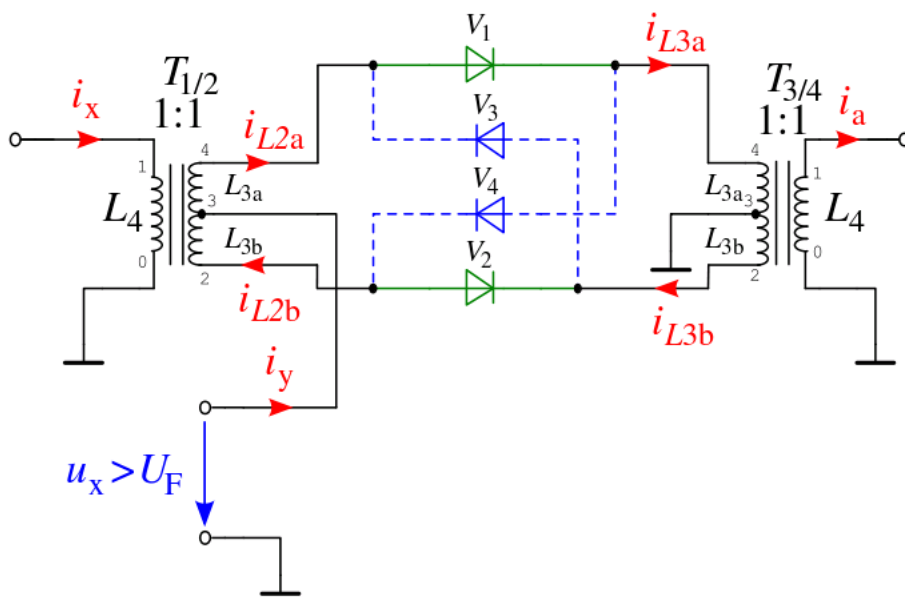


Abbildung 3: Dioden-Ring-Mischer in LO=plus Phase

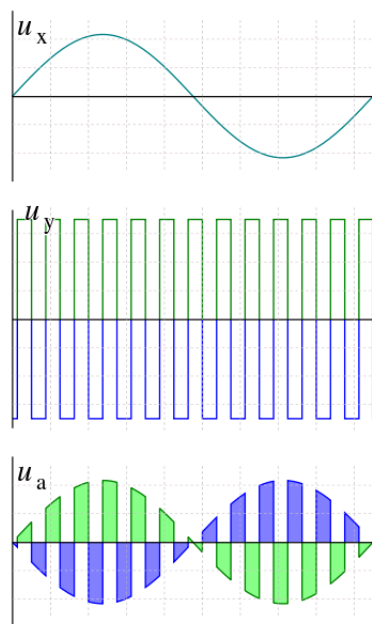


Abbildung 4: Schaltmischer Signale: LF(NF), LO und IF(Mod.)

- aktiven Schaltmischemern mit MosFET - AnalogSchaltern (ICs wie 4066, 4051/52/53, MAX4614, 74F3253)

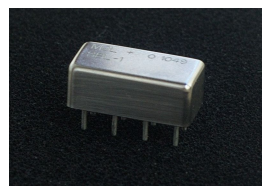


Abbildung 5: Dioden-Ring-Mischer SBL-1

Der Großteil der Ring- und Schaltmischer arbeitet mit HF-Transformatoren, wodurch sich die Unterdrückung von harmonischen Mischprodukten höherer Ordnung (bes. der geradzahligen) wesentlich verbessert.

7 Unterlagen

7.1 Labor-Übung 122-AM

Name: Jahrgang: Gruppe:

 Namen der Mitarbeiter:

HN - LABOR

Abteilung Elektronik

an der Höheren technischen Bundeslehranstalt 1
 Innsbruck, Anichstraße 26 – 28

Übungsnummer:	AM-Modulation	Ausgeführt am
Betreuer:		Abgegeben am

Lehrziele

Kennenlernen der charakteristischen Größen und Eigenschaften verschiedener AM-Modulationsschaltungen und vergleichende Gegenüberstellung an Hand ihrer typischen Kennlinien.

Theorievoraussetzungen

Lehrstoff aus HFTE-Kapitel: „Amplitudenmodulation“ und „Rundfunktechnik“

Aufgabenstellungen

- 1) Messung der Modulationskennlinien eines Stromflusswinkelmodulators
- 2) Messungen an einem Kollektormodulator (Modulationstrapez, dynamische Modulationskennlinie)

- 3) Messungen an einem Verstärkermulator (Modulationstrapez, dynamische Modulationskennlinie)
- 4) Untersuchung eines Ringmodulators

Gerätebedarf

2 NF-Funktionsgeneratoren, 1 Speicheroszilloskop, 1 Analoges Oszilloskop,
1 Universalfilter (Fa. KEMO), 1 Doppelnetzgerät

Oszilloskop. Für die NF-Frequenz nimmt man zweckmäßigerweise eine Frequenz zwischen 10 Hz und 100 Hz.

*Interpretieren Sie die Form des Trapezes bei größeren NF-Amplituden.
Welche Schlussfolgerung können Sie daraus ziehen ?*

Messen Sie die **dynamische Modulationskennlinie** durch Auswertung des Trapezes für verschiedene Werte der NF-Amplitude:

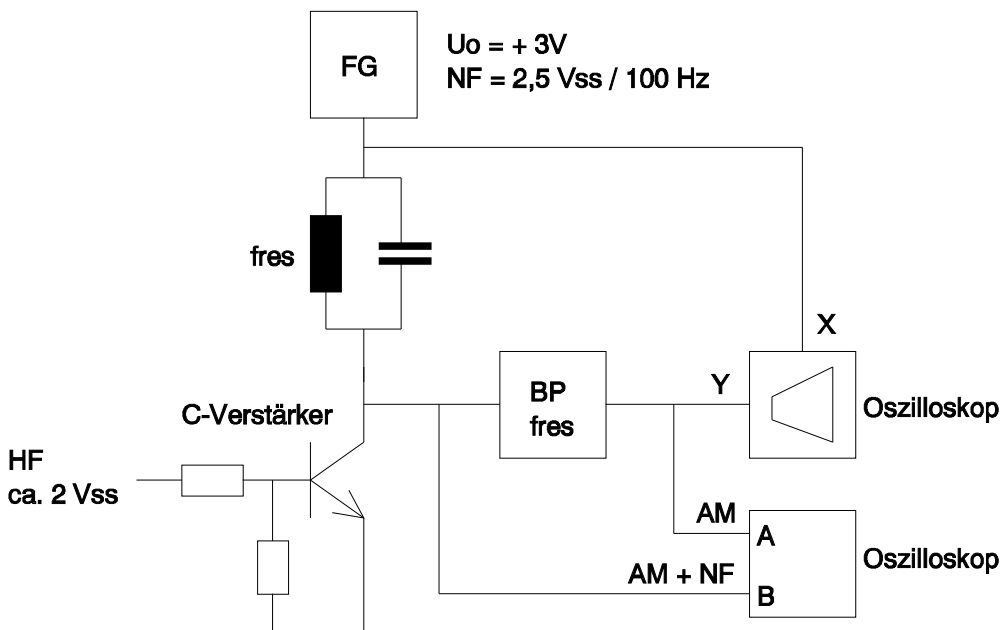
U_{NF}/V_{SS}														
$U_{T \max}/V_{SS}$														
$U_{T \min}/V_{SS}$														
m														

$$m = \frac{U_{T \max} - U_{T \min}}{U_{T \max} + U_{T \min}}$$

Interpretieren Sie den Verlauf der dynamischen Modulationskennlinie $m = f(U_{NF})$

2) Messungen an einem Kollektormodulator (Modulationstrapez, dynamische Modulationskennlinie)

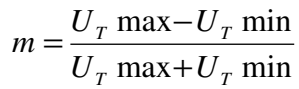
Messaufbau:



Erzeugen Sie eine AM mit Hilfe eines „Kollektormodulators“.

Stellen Sie das Modulationstrapez am Oszilloskop dar und nehmen Sie die **dynamische Modulationskennlinie** auf.

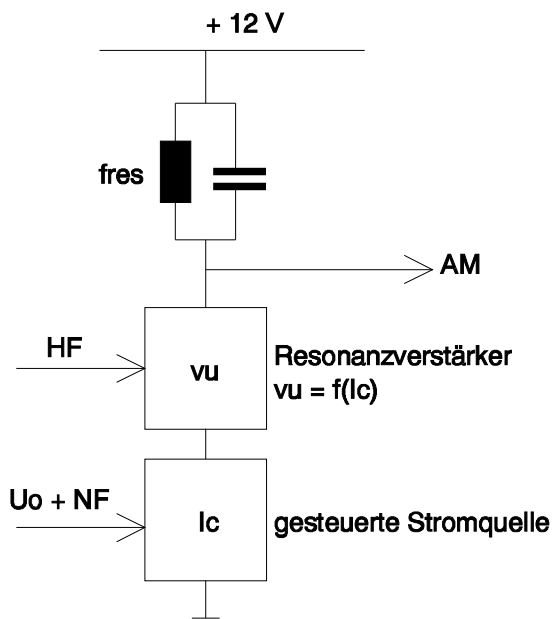
U_{NF}/V_{SS}														
$U_{T \max}/V_{SS}$														
$U_{T \min}/V_{SS}$														



The graph shows the relationship between collector current I_c and collector-emitter voltage U_{ce} . The load line (RL) is a straight line with a negative slope. The operating point (AP) is marked at $+3\text{ V}$ on the U_{ce} axis. The negative feedback (NF) is represented by a curve that shifts the operating point to $AP + NF$. The horizontal distance from the origin to the operating point is $2u$. The horizontal distance from the operating point to the point where the load line intersects the U_{ce} axis is $2(1+m)u$. The horizontal distance from the origin to the point where the load line intersects the U_{ce} axis is $2(1-m)u$.

Untersuchen Sie auch die Auswirkung einer zu kleinen HF-Trägerspannung an der Basis des Transistors. Was können Sie dabei am Ausgangssignal beobachten ?

3) Messungen an einem Verstärkermulator (Modulationstrapez, dynamische Modulationskennlinie)



Erzeugen Sie mit Hilfe des Verstärkermulators eine AM und beurteilen Sie diese über das **Modulationstrapez**.

Finden Sie dazu die besten Werte für die HF-Eingangsamplitude, den Offset U_0 sowie die NF-Amplitude..

HF-Eingangsspannung $u_{HF} = \dots\dots\dots \text{mV}_{SS}$

HF-Resonanzfrequenz $f = \dots\dots\dots \text{kHz}$

NF-Offsetspannung $U_0 = \dots\dots\dots \text{V}$

NF-Steueramplitude $u_{NF} = \dots\dots\dots \text{V}_{SS}$

Geben Sie für diese Werte die **dynamische Modulationskennlinie** an

U_{NF}/V_{SS}														
$U_T \text{ max}/V_{SS}$														
$U_T \text{ min}/V_{SS}$														
m														

$$m = \frac{U_T \text{ max} - U_T \text{ min}}{U_T \text{ max} + U_T \text{ min}}$$

4) Untersuchung eines Ringmodulators

Stellen Sie bei einem gegebenen Ringmodulator die erforderliche HF-Trägeramplitude für die Erzeugung einer möglichst unverzerrten **Doppelseitenbandmodulation** fest und untersuchen Sie das Ausgangssignal am Oszilloskop (Zeitfunktion bzw. Trapez).

Wie groß ist die **Trägerunterdrückung** beim Ringmodulator ?

(Die NF-Amplitude wird bei dieser Messung auf Null gestellt)

$u_a = \dots\dots\dots \text{mVss}$

$u_T = \dots\dots\dots \text{mVss}$

$20 \cdot \log(u_a/u_T) = \dots\dots\dots \text{dB}$

Diskutieren und vergleichen Sie das Ergebnis der Messung 4) mit den Messungen 1) 2) u. 3)

7.2 Labor-Übung 123-AM-Demodulation

Name: Jahrgang: Gruppe:

 Namen der Mitarbeiter:

HN - LABOR

Abteilung Elektronik

an der Höheren technischen Bundeslehranstalt 1
 Innsbruck, Anichstraße 26 – 28

Übungsnummer:	AM-Demodulation	Ausgeführt am
Betreuer:		Abgegeben am

Lehrziele

Kennenlernen der charakteristischen Größen und Eigenschaften verschiedener AM-Demodulationsschaltungen und vergleichende Gegenüberstellung an Hand ihrer typischen Kennlinien.

Theorievoraussetzungen

Lehrstoff aus HFTE-Kapitel: „Amplitudenmodulation“ und „Rundfunktechnik“

Aufgabenstellungen

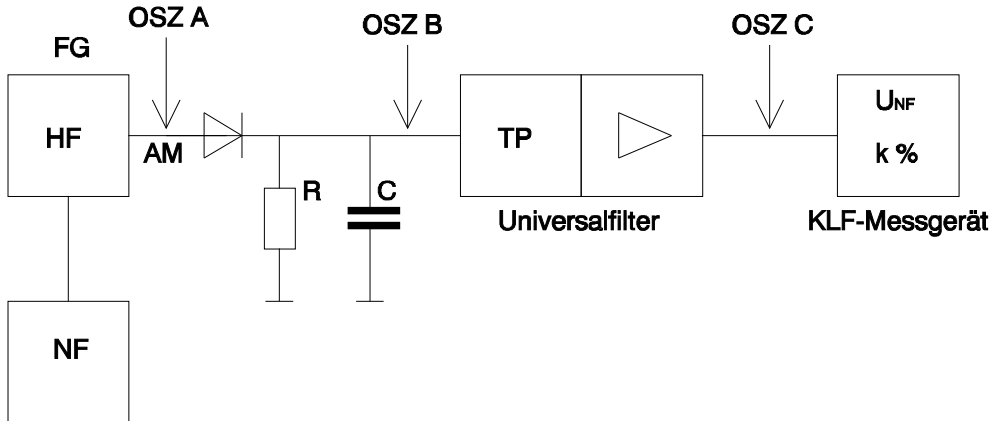
- 1) Messung der Kenngrößen eines Hüllkurvendemodulators
- 2) Untersuchung eines Transistordemodulators
- 3) Untersuchung eines Synchrondemodulators

Gerätebedarf

2 NF-Funktionsgeneratoren (einer davon AM-modulierbar), 1 Speicheroszilloskop,
2 Widerstandsdekaden, 2 C-Dekaden, 1 FZ, 1 Klirrfaktormessgerät (Fa. Krohn-Hite),
1 Universalfilter (Fa. Kemo), 1 Doppelnetzgerät, 1 DMM

Übungsdurchführung

Messaufbau:



1) Messung der Kenngrößen eines Hüllkurvendemodulators

- Berechnen Sie R und C für eine Grenzfrequenz $f_g = \dots\dots\dots$ kHz

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} \quad R = \dots\dots\dots \quad C = \dots\dots\dots$$

- Geben Sie eine 100-kHz-Trägerschwingung (unmoduliert) mit 8 V_{ss} an den Eingang.
- Untersuchen Sie die Spannungsverläufe am Demodulator-Ausgang (Osz B) für verschiedene Trägerfrequenzen. Legen Sie dabei die beiden Kurven Osz A und Osz B bei gleichen Y-Maßstäben übereinander !

Welche Träger-Restamplitude in V_{ss} ergibt sich bei $f_T = 100$ kHz ?

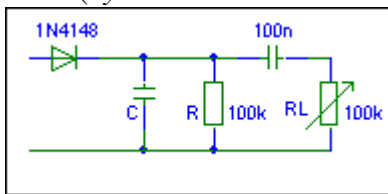
$$u_{\text{Trest}} = \dots\dots\dots \text{mV}_{\text{ss}}$$

- Messen Sie die DC-„Richtspannung“ am Demodulator-Ausgang (Osz B) für verschiedene Trägeramplituden von 0 bis 8 V_{ss} und stellen Sie den Zusammenhang graphisch als Kennlinie dar (*statische Demodulatorkennlinie*).
- AM-Signal mit NF= 1 kHz und $m = 80\%$ herstellen und am Oszilloskop sauber darstellen (mit der NF triggern)
- Untersuchen Sie die Verhaltensweise des Demodulators (Spannung an Osz B) bei kleinen und großen Trägeramplituden ($m = 80\%$ belassen)
- Messen Sie den Frequenzgang der demodulierten NF und des Klirrfaktors (Spannung an Osz C).

Welche Ursache haben die bei höheren NF-Frequenzen auftretenden Verzerrungen ?

- Messen Sie die Abhängigkeit der demodulierten NF vom Modulationsgrad

(dynamische Demodulatorennlinie): $u_{NF} = f(m)$

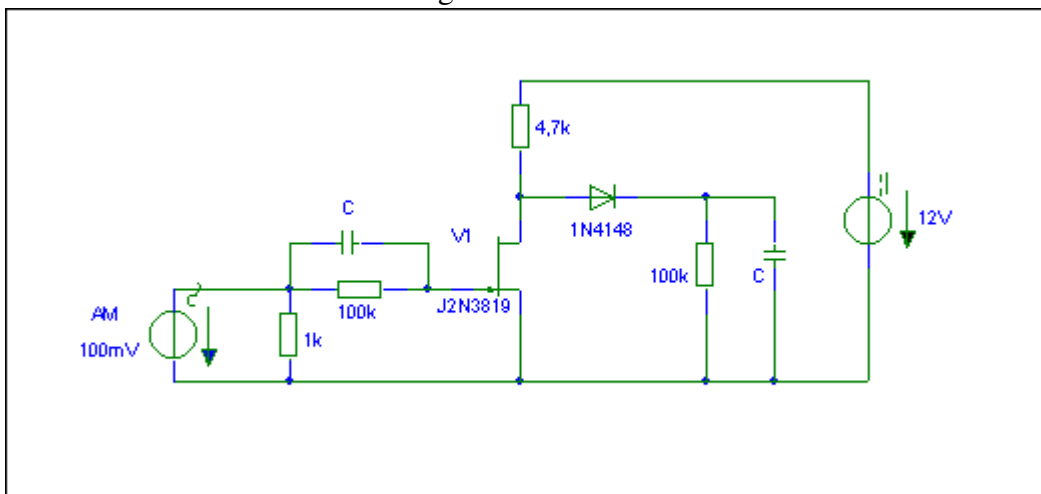


- Untersuchen und diskutieren Sie das Verhalten des Demodulators bei einer kapazitiv angekoppelten ohmschen Belastung mit R_L :

Diskutieren Sie die Verhaltensweise des belasteten Demodulators jeweils bei kleineren und größeren Modulationsgraden sowie bei kleineren und größeren Werten von R_L .

2) Untersuchung eines FET-Demodulators

Der FET bewirkt eine Klemmung des Arbeitspunktes und auch eine Verstärkung der AM. Da die Diode einen Ruhestrom in Durchlassrichtung besitzt, ist eine gute Demodulation auch bei kleinen Werten von m möglich.



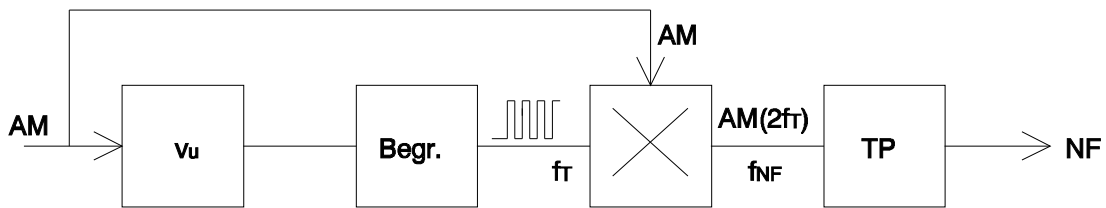
- Untersuchen Sie das Demodulationsverhalten des FET-Demodulators und vergleichen Sie Ihre Messergebnisse mit den Messungen von 1)

3) Untersuchung eines Synchrondemodulators

Funktionsprinzip:

Die AM wird mit dem aus ihr durch Verstärkung und Begrenzung gewonnenen Träger in

einem Produktmodulator gemischt. Am Ausgang kommt eine AM mit der doppelten Trägerfrequenz sowie das demodulierte NF-Signal vor, welches durch einen Tiefpass herausgefiltert wird.



- Untersuchen Sie das Demodulationsverhalten des Synchrodemodulators und vergleichen Sie Ihre Messergebnisse mit den Messungen von 1) und 2)

7.3 LM13700 twin OTA Datenblatt

LM13700/LM13700A Dual Operational Transconductance Amplifiers with Linearizing Diodes and Buffers

General Description

The LM13700 series consists of two current controlled transconductance amplifiers, each with differential inputs and a push-pull output. The two amplifiers share common supplies but otherwise operate independently. Linearizing diodes are provided at the inputs to reduce distortion and allow higher input levels. The result is a 10 dB signal-to-noise improvement referenced to 0.5 percent THD. High impedance buffers are provided which are especially designed to complement the dynamic range of the amplifiers. The output buffers of the LM13700 differ from those of the LM13600 in that their input bias currents (and hence their output DC levels) are independent of I_{ABC} . This may result in performance superior to that of the LM13600 in audio applications.

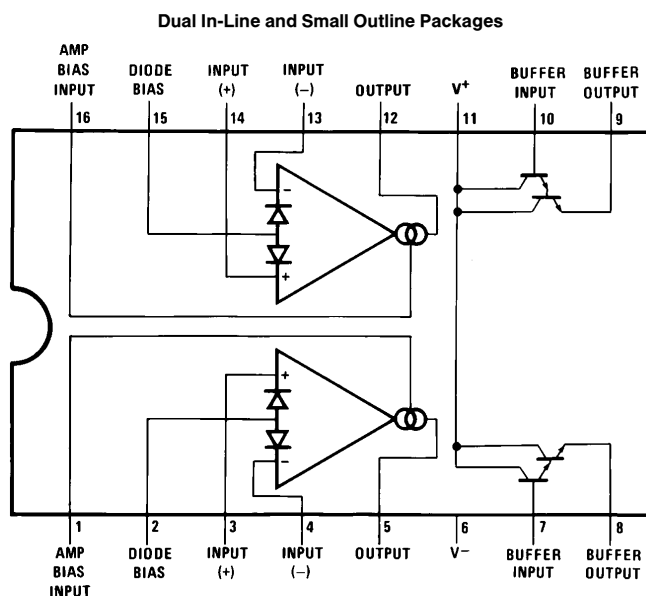
Features

- g_m adjustable over 6 decades
- Excellent g_m linearity
- Excellent matching between amplifiers
- Linearizing diodes
- High impedance buffers
- High output signal-to-noise ratio

Applications

- Current-controlled amplifiers
- Current-controlled impedances
- Current-controlled filters
- Current-controlled oscillators
- Multiplexers
- Timers
- Sample-and-hold circuits

Connection Diagram



Top View

Order Number LM13700M, LM13700N or LM13700AN
See NS Package Number M16A or N16A

TL/H/7981-2

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (Note 1)	
LM13700	36 V _{DC} or ± 18 V
LM13700A	44 V _{DC} or ± 22 V
Power Dissipation (Note 2) T _A = 25°C	
LM13700N, LM13700AN	570 mW
Differential Input Voltage	± 5 V
Diode Bias Current (I _D)	2 mA
Amplifier Bias Current (I _{ABC})	2 mA
Output Short Circuit Duration	Continuous
Buffer Output Current (Note 3)	20 mA

Operating Temperature Range	
LM13700N, LM13700AN	0°C to +70°C
DC Input Voltage	+V _S to -V _S
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Conditions	LM13700			LM13700A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (V _{OS})	Over Specified Temperature Range		0.4	4		0.4	1	mV
	I _{ABC} = 5 μ A		0.3	4		0.3	1	
V _{OS} Including Diodes	Diode Bias Current (I _D) = 500 μ A		0.5	5		0.5	2	mV
Input Offset Change	5 μ A $\leq$ I _{ABC} $\leq$ 500 μ A		0.1	3		0.1	1	mV
Input Offset Current			0.1	0.6		0.1	0.6	μ A
Input Bias Current	Over Specified Temperature Range		0.4	5		0.4	5	μ A
			1	8		1	7	
Forward Transconductance (g _m)		6700	9600	13000	7700	9600	12000	μ mho
	Over Specified Temperature Range	5400			4000			
g _m Tracking			0.3			0.3		dB
Peak Output Current	R _L = 0, I _{ABC} = 5 μ A		5		3	5	7	μ A
	R _L = 0, I _{ABC} = 500 μ A	350	500	650	350	500	650	
	R _L = 0, Over Specified Temp Range	300			300			
Peak Output Voltage	R _L = ∞ , 5 μ A $\leq$ I _{ABC} $\leq$ 500 μ A	+12	+14.2		+12	+14.2		V
	R _L = ∞ , 5 μ A $\leq$ I _{ABC} $\leq$ 500 μ A	-12	-14.4		-12	-14.4		V
Supply Current	I _{ABC} = 500 μ A, Both Channels		2.6			2.6		mA
V _{OS} Sensitivity	$\Delta V_{OS}/\Delta V^+$		20	150		20	150	μ V/V
	$\Delta V_{OS}/\Delta V^-$		20	150		20	150	μ V/V
CMRR		80	110		80	110		dB
Common Mode Range		± 12	± 13.5		± 12	± 13.5		V
Crosstalk	Referred to Input (Note 5) 20 Hz < f < 20 kHz		100			100		dB
Differential Input Current	I _{ABC} = 0, Input = ± 4 V		0.02	100		0.02	10	nA
Leakage Current	I _{ABC} = 0 (Refer to Test Circuit)		0.2	100		0.2	5	nA
Input Resistance		10	26		10	26		k Ω

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Conditions	LM13700			LM13700A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Open Loop Bandwidth			2			2		MHz
Slew Rate	Unity Gain Compensated		50			50		V/ μ s
Buffer Input Current	(Note 5)		0.5	2		0.5	2	μ A
Peak Buffer Output Voltage	(Note 5)	10			10			V

Note 1: For selections to a supply voltage above ± 22 V, contact factory.

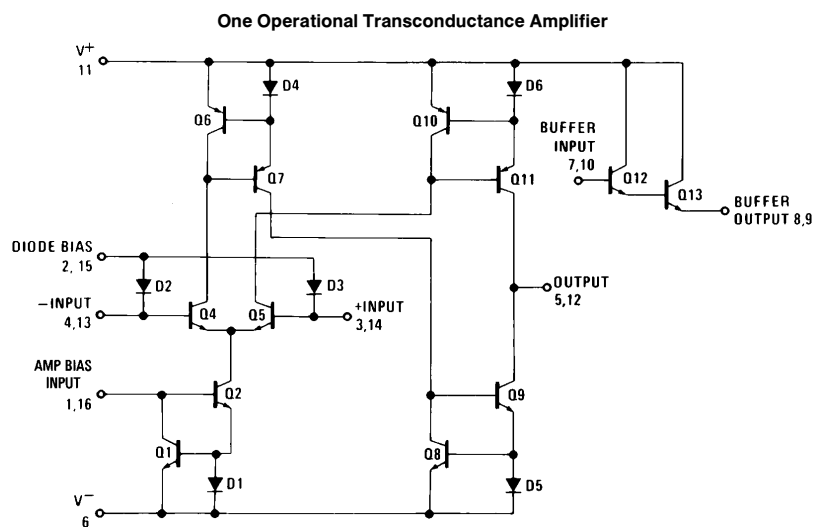
Note 2: For operation at ambient temperatures above 25°C , the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance, junction to ambient, as follows: LM13700N, 90°C/W ; LM13700M, 110°C/W .

Note 3: Buffer output current should be limited so as to not exceed package dissipation.

Note 4: These specifications apply for $V_S = \pm 15$ V, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, amplifier bias current (I_{ABC}) = $500\ \mu\text{A}$, pins 2 and 15 open unless otherwise specified. The inputs to the buffers are grounded and outputs are open.

Note 5: These specifications apply for $V_S = \pm 15$ V, $I_{ABC} = 500\ \mu\text{A}$, $R_{OUT} = 5\ \text{k}\Omega$ connected from the buffer output to $-V_S$ and the input of the buffer is connected to the transconductance amplifier output.

Schematic Diagram



TL/H/7981-1

Stereo Volume Control

The circuit of *Figure 4* uses the excellent matching of the two LM13700 amplifiers to provide a Stereo Volume Control with a typical channel-to-channel gain tracking of 0.3 dB. R_P is provided to minimize the output offset voltage and may be replaced with two 510 Ω resistors in AC-coupled applications. For the component values given, amplifier gain is derived for *Figure 2* as being:

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = 940 \times I_{ABC}$$

If V_C is derived from a second signal source then the circuit becomes an amplitude modulator or two-quadrant multiplier as shown in *Figure 5*, where:

$$I_O = \frac{-2I_S}{I_D} (I_{ABC}) = \frac{-2I_S}{I_D} \frac{V_{IN2}}{R_C} - \frac{2I_S}{I_D} \frac{(V^- + 1.4V)}{R_C}$$

The constant term in the above equation may be cancelled by feeding $I_S \times I_D R_C / 2(V^- + 1.4V)$ into I_O . The circuit of *Figure 6* adds R_M to provide this current, resulting in a four-quadrant multiplier where R_C is trimmed such that $V_O = 0V$ for $V_{IN2} = 0V$. R_M also serves as the load resistor for I_O .

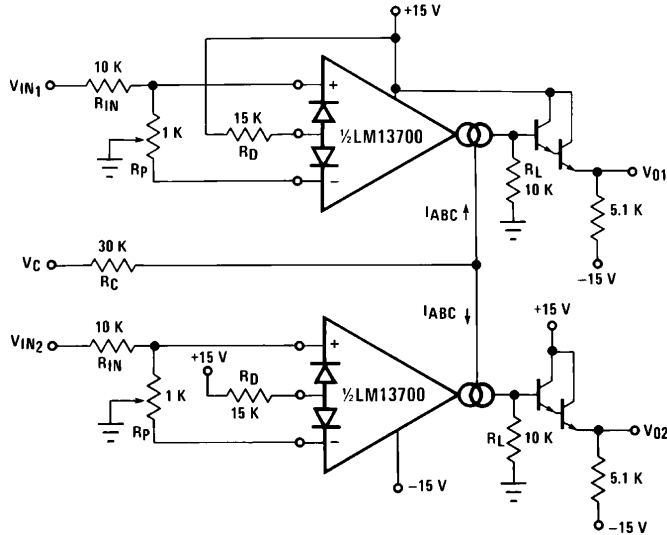


FIGURE 4. Stereo Volume Control

TL/H/7981-11

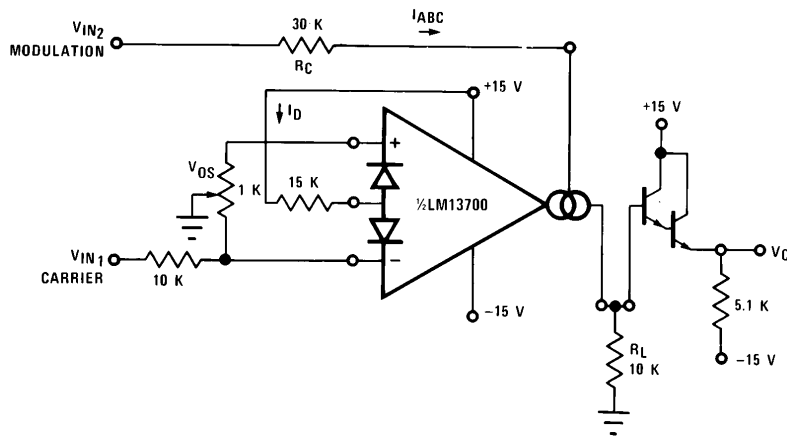


FIGURE 5. Amplitude Modulator

TL/H/7981-12

7.4 de.wiki "Mischer" pdf

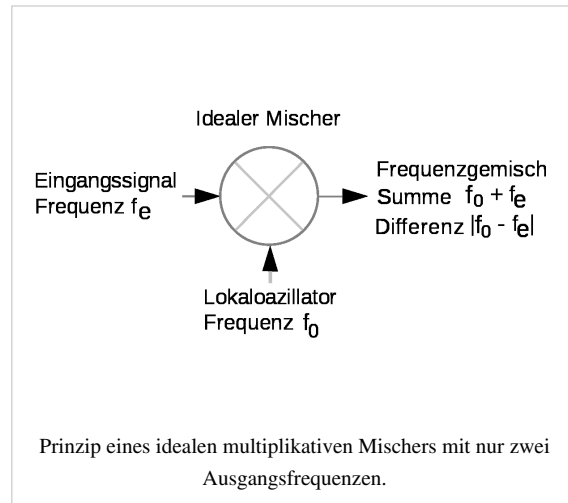
Mischer (Elektronik)

Mischer (englisch: *mixer*) werden in der Kommunikationstechnik zur *Frequenzumsetzung* (engl. *frequency conversion*) von elektrischen Signalen verwendet. Sie bestehen meist aus nichtlinearen Bauelementen wie Dioden oder nichtlinearen Verstärkern wie Transistoren. Im Rahmen der digitalen Signalverarbeitung kann man Mischer auch durch Software in einem Signalprozessor nachbilden. Mischung lässt sich auch durch Unterabtastung erreichen.

Davon zu unterscheiden ist die additive Zusammenführung verschiedener Signalquellen in einem Mischpult - bei diesem ist Frequenzumsetzung, außer bei Sondereffekten, unerwünscht.

Anwendungen

Bei Empfängern spricht man von *Umsetzen* oder *Heruntermischen*, wenn ein hochfrequentes Nutzsignal in einem Überlagerungsempfänger mittels eines Oszillator-Signals auf eine niederfrequente Zwischenfrequenz gemischt wird. Beispiel: Das Signal von Kommunikationssatelliten *muss* noch im LNB der Parabolantenne von 11 GHz auf etwa 2 GHz heruntergemischt werden, weil es sonst nicht durch Koaxkabel übertragen werden kann. Im eigentlichen Empfänger wird die Frequenz in weiteren Mixern meist noch weiter herabgesetzt, weil diese dann einfacher verstärkt und gefiltert werden kann.



Bei manchen Modulationsarten wie SSB kann die Nachricht (Sprache) *nur* durch einen Mischer wieder gewonnen werden. Bei Sendern erfolgt die Modulation häufig zunächst auf einer tiefen Frequenz, weil hier Erzeugung und Prüfung der Qualität einfacher sind. Diese wird dann in einem Mischer auf die höhere Sendefrequenz heraufgesetzt (siehe Exciter (Radar)).

Bei einem Chopper-Verstärker wird ein sehr niederfrequentes Signal durch einen „Chopper“ auf eine wesentlich höhere Frequenz transponiert, weil diese problemloser verstärkt werden kann. Anschließend wird es mit einem zweiten Mischer wieder demoduliert.

In Synchrodemodulator und Lock-in-Verstärker wird die zu messende Wechselspannung *bekannter* Frequenz auf eine erheblich tiefere Frequenz (fast Gleichspannung) heruntergemischt und dann schmalbandig gefiltert. Dadurch lassen sich Störspannungen abweichender Frequenz eliminieren. Das Prinzip entspricht einem Direktmischempfänger.

Im Musikinstrument Theremin entsteht die Niederfrequenz durch Mischung der Ausgangssignale zweier Hochfrequenzoszillatoren unterschiedlicher Frequenz.

Prinzip eines Mixers

Ein Mischer verarbeitet zwei Eingangssignale:

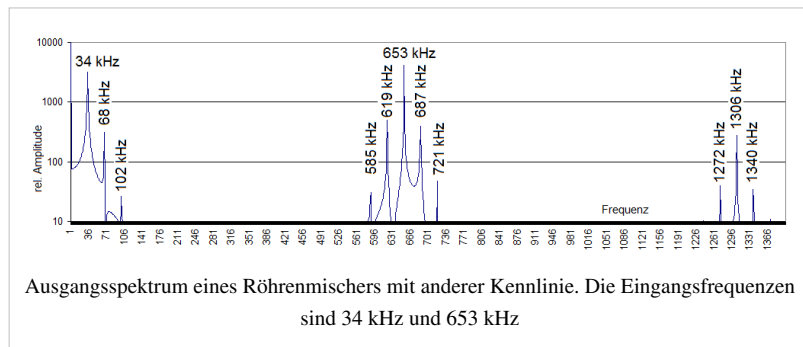
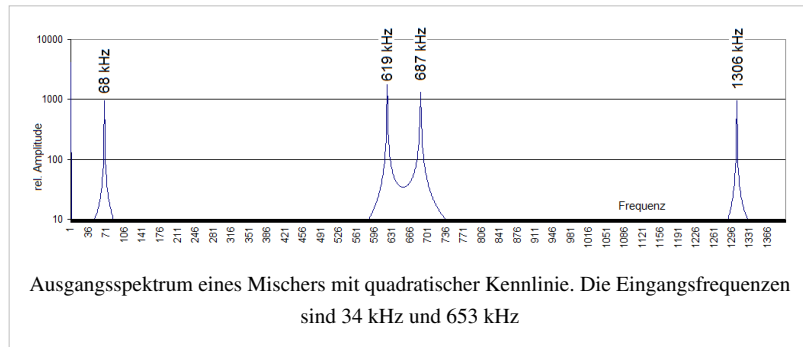
- Die umzusetzende Wechselspannung, das eigentliche „Eingangssignal“ mit der Frequenz f_c . Dieses Signal ist der eigentliche Informationsträger, es enthält die Nutzinformation in Form einer Modulation.
- ein Hilfssignal, das sog. *Lokoszillatorsignal* mit der Frequenz f_{LO} . Dieses wird in aller Regel als sinus- oder rechteckförmiges Signal lokal erzeugt.

Der Mischer produziert daraus ein Ausgangssignal, das stets mehrere Frequenzen enthält. Zwei Anteile, die beiden „Seitenbänder“, sind erwünscht.

Sie enthalten die Modulation des umzusetzenden Signals, haben aber andere Frequenzen. Im Regelfall wird eines der Seitenbänder durch Filter zu den nachfolgenden Verstärkerstufen durchgelassen. Je nach Qualität erzeugt der Mischer aber auch andere Frequenzanteile unterschiedlicher Amplitude, die als unerwünschte Mischprodukte bezeichnet und ebenfalls unterdrückt werden müssen.

Im oberen Bild ist das Frequenzspektrum eines qualitativ hochwertigen Gegentaktmischers aus zwei Feldeffekttransistoren gezeigt. Beide Eingangsfrequenzen $f_c = 34 \text{ kHz}$ und $f_{LO} = 653 \text{ kHz}$ gelangen wegen der Symmetrie der Schaltung nicht zum Ausgang. Dort kann man nur die Harmonischen, also die doppelten Frequenzen messen und die beiden Seitenbänder mit den Frequenzen $f_{LO} + f_c = 687 \text{ kHz}$ bzw. $f_{LO} - f_c = 619 \text{ kHz}$. Bei einem idealen *multiplizierenden* Mischer wären *nur* die beiden Seitenbänder vorhanden.

Das untere Bild zeigt das Spektrum, das eine Elektronenröhre als Mischer aus den gleichen Eingangssignalen auf Grund ihrer anders gekrümmten Kennlinie erzeugt. Die beiden stärksten, unerwünschten Anteile sind die Eingangsfrequenzen f_c und f_{LO} . Neben deren Harmonischen werden bei diesem Mischer weitere unerwünschte Mischprodukte erzeugt, die zum Teil recht nahe bei den gewünschten Seitenbändern liegen und durch erhöhten Filteraufwand unterdrückt werden müssen. Vergleicht man dieses Spektrum mit der folgenden Formel, erkennt man, dass die Bezeichnung „Multiplikativer Mischer“ grob irreführend ist.



Mathematische Darstellung

Das Funktionsprinzip eines Mixers basiert darauf, dass zwei (oder mehr) Eingangssignale sich in ihrer Amplitude gegenseitig beeinflussen, idealerweise miteinander multipliziert werden. Bei zwei Signalen spricht man hierbei meist davon, dass das niederfrequenter Signal dem höherfrequenten Signal aufmoduliert wird. Die Eignung der Multiplikation als Signalverarbeitungsmethode der Wahl beruht auf der Identität

$$a_1 \cos(\omega_e t + \varphi_e) \cdot 2a_2 \cos(\omega_{LO} t) = a_1 a_2 [\cos((\omega_e + \omega_{LO})t + \varphi_e) + \cos((\omega_e - \omega_{LO})t + \varphi_e)]$$

mit

$$\omega_{LO} := 2\pi f_{LO}$$

In diesem Spezialfall einer reinen Sinusschwingung im Eingang, erfüllt ersichtlich jedes der beiden Ausgangssignale rechts - nach Ausfilterung des anderen - die Aufgabenstellung. Der Fall eines allgemeineren Eingangssignals wird via Spektralanalyse (Fourieranalyse) mit umfasst.

Zum Beispiel ist auch der Amplituden-Modulator eines AM-Senders tatsächlich nichts anderes als ein Mischer, bei dem Summen- und Differenzfrequenzen von Sender-Trägerfrequenz und Audiospektrum entstehen. Diese sog. Seitenbänder der Sendung bilden das eigentliche Nutzsignal der Sendung, während das Trägersignal selbst - von der Empfangsfeldstärke einmal abgesehen - keine Information überträgt.

Beim Mischen eines Audiosignales mit einer konstanten Frequenz verschiebt sich das Spektrum des Signals auf der Frequenzachse: die Bandbreite des Nutzsignals ändert sich durch die Umsetzung nicht, wohl aber ändern sich die relativen Verhältnisse der Frequenzen der Signalanteile, und damit die Harmonien. Praktisch erfahrbar ist dies z. B. beim Abhören von SSB-Kurzwellensendungen, die zur Wiedergabe (vereinfacht gesagt) mit einem auf die Trägerfrequenz des Senders abzustimmenden LO gemischt werden. Im Gegensatz dazu spreizt oder staucht ein in anderer Geschwindigkeit abgespieltes Tonband das Spektrum des Nutzsignals, die Harmonien bleiben jedoch erhalten.

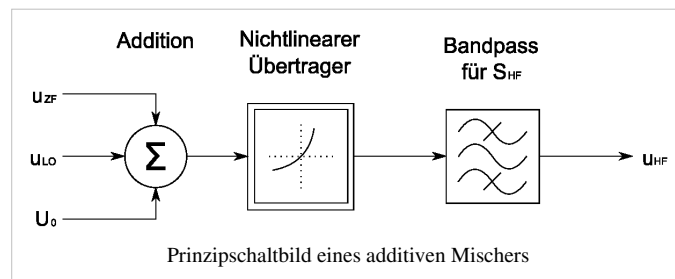
Ein idealer Mischer entspricht einem Analogmultiplizierer und wird daher als Produktmodulator bezeichnet. Er hat, wie oben beschrieben, zwei Eingänge und einen Ausgang und bildet das Ausgangssignal aus dem Produkt der beiden Eingangssignale. Bei einem idealen, symmetrischen Mischer erscheinen die Frequenzen f_e bzw. f_{LO} der Eingangssignale selbst *nicht* am Ausgang, sondern das Ausgangssignal besteht *nur* aus den Summen- und Differenzsignalen mit den Frequenzen $f_e + f_{LO}$ und $f_e - f_{LO}$. Bei realen (unvollkommenen) Mixern entstehen am Ausgang weitere (unerwünschte) Frequenzanteile, die durch geeignete Filter (z. B. Bandpass) eliminiert werden müssen.

Für den Fall, dass das Eingangssignal auf eine höhere Frequenz umgesetzt wird (Summenbildung), spricht man von einem *Aufwärtsmischer* (engl.: *up-converter*), andernfalls (Differenzbildung) von einem *Abwärtsmischer* (engl.: *down-converter*).

Additive Mischung

Die „additive“ Mischstufe ist – genau genommen – ein signalverzerrender Analog-Addierer. Die Signale werden auf ein Bauteil mit nichtlinearer Strom/Spannungs-Kennlinie geführt, dabei entstehen unter anderem Summe und Differenz der Signalfrequenzen. Als nichtlineare Kennlinie wird meist die nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinie einer Diode oder eines Transistors verwendet. Das Eingangssignal ist hierbei eine Spannung, das Ausgangssignal ein Strom.

Die Kennlinie wird durch eine Taylor-Reihe im Arbeitspunkt $AP(U_0)$ dargestellt.



$$I(U) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{n!} \frac{\partial^n I}{\partial U^n} \right]_{U_0} (U - U_0)^n$$

Damit wird der Effekt des Inputs der Summe $U_1 + U_2$:

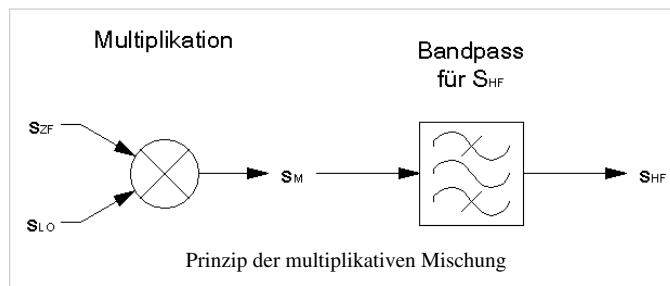
$$I(U_0 + U_1 + U_2) - I(U_0) = \frac{\partial I}{\partial U} \bigg|_{U_0} (U_1 + U_2) + \frac{\partial^2 I}{\partial U^2} \bigg|_{U_0} \left(\frac{U_1^2}{2} + U_1 U_2 + \frac{U_2^2}{2} \right) + \text{Terme}$$

höherer Ordnung

Um hieraus den gewünschten Beitrag $U_1 U_2$ zu isolieren, müssen die u. U. deutlich größeren Anteile U_1 , U_2 , U_1^2 , U_2^2 herausgefiltert werden, und die Anteile höherer Ordnung müssen gering genug sein, um Vernachlässigung zuzulassen.

Multiplikative Mischung

Bei der multiplikativen Mischung wird das ZF-Signal mit dem LO-Signal multipliziert. Das kann zum Beispiel durch einen mit einem Signal regelbaren Verstärker (z.B. eine Mischröhre (Heptode) oder einem Feldeffekttransistor mit zwei Gates) geschehen oder mit einer Logarithmierung, nachfolgenden Addition und anschließender Ent-Logarithmierung (Exponentialfunktion).



Die gewünschte HF-Frequenz muss hierbei mit einem Bandpass herausgefiltert werden. Das Signal $s_M(t)$ am Ausgang des Multiplizierers erhält man durch Fourierreihenentwicklung des LO-Signals:

$$s_M(t) = s_{ZF}(t) \cdot s_{LO}(t) = s_{ZF}(t) \cdot \left[c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} n_n \cos(n \cdot \omega_{LO} \cdot t + \varphi_n) \right]$$

Das ZF-Signal wird dabei mit der Grundwelle c_1 und den Oberwellen $c_1, c_2, \dots, c_n$ multipliziert. Der Gleichanteil c_0 wird direkt übertragen. Dabei wird oft kein sinusförmiges, sondern ein rechteckförmiges LO-Signal mit f_{LO} als Grundfrequenz verwendet.

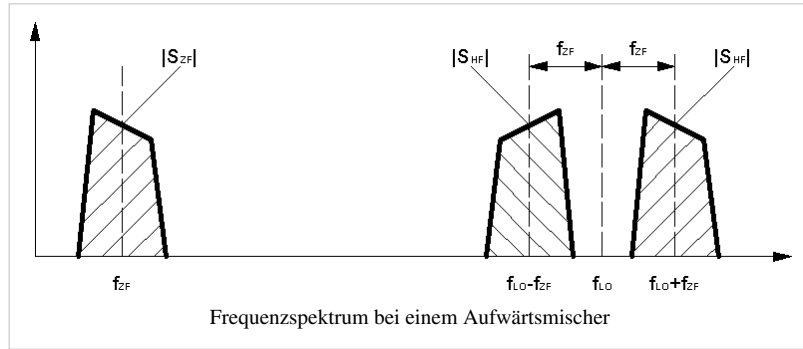
Begriffe

- Die *Zwischenfrequenz* (ZF-Frequenz oder englisch: *intermediate frequency, IF-Frequency*) mit dem Formelzeichen f_{ZF} ist die niedrigere Trägerfrequenz.
- Die *Hochfrequenz* (HF-Frequenz oder englisch: *radio frequency, RF-Frequency*) mit dem Formelzeichen f_{HF} ist die höhere Trägerfrequenz.
- Die *Lokaloszillatorfrequenz* (LO-Frequenz oder englisch: *local oscillator frequency*) mit dem Formelzeichen f_{LO} entspricht dem Frequenzversatz der Umsetzung.

Die Signale werden dementsprechend als ZF-, HF- und LO-Signale (s_{ZF} , s_{HF} und s_{LO}) bezeichnet.

Aufwärtsmischer

Beim Aufwärtsmischer wird am Eingang das ZF-Signal angelegt und mit dem LO-Signal multipliziert.



$$s_{ZF}(t) = i(t) \cdot \cos(\omega_{ZF} \cdot t) - q(t) \cdot \sin(\omega_{ZF} \cdot t) = a(t) \cos[\omega_{ZF} \cdot t + \varphi(t)]$$

$$s_{LO}(t) = 2 \cos(\omega_{LO} \cdot t)$$

Im Weiteren wird nur die Darstellung mit der Amplitudenmodulation $a(t)$ und der Winkelmodulation $\phi(t)$ angegeben, da diese kürzer ist als die Darstellung mit den Quadraturkomponenten.

Am Ausgang erhält man das HF-Signal s_{HF} .

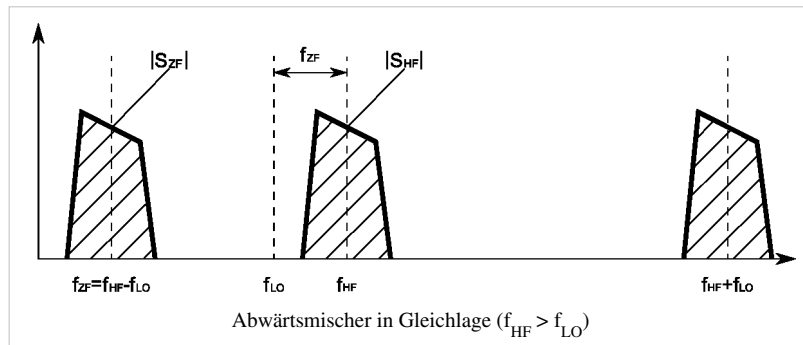
$$s_{HF}(t) = s_{ZF}(t) \cdot s_{LO}(t) = a(t) \cos[\omega_{ZF} \cdot t + \varphi(t)] \cdot 2 \cos(\omega_{LO} \cdot t)$$

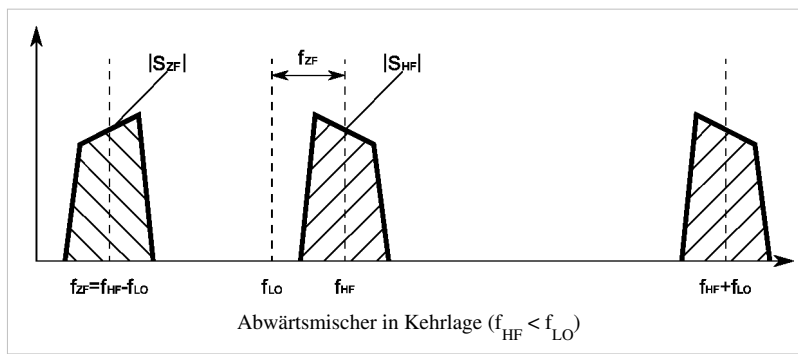
$$s_{HF}(t) = \underbrace{a(t) \cos[(\omega_{LO} + \omega_{ZF}) \cdot t + \varphi(t)]}_{\text{Oberband (f > f_{LO}) in Gleichlage}} + \underbrace{a(t) \cos[(\omega_{LO} - \omega_{ZF}) \cdot t - \varphi(t)]}_{\text{Unterband (f < f_{LO}) in Kehrlage}}$$

Der als *Oberband* bezeichnete Anteil weist dieselbe Frequenzfolge auf wie das ZF-Signal ($f_{LO} + f_{ZF}$). Dies wird als *Gleichlage* bezeichnet. Das *Unterband* weist eine zum ZF-Signal invertierte Frequenzfolge auf ($f_{LO} - f_{ZF}$). Dies wird als *Kehrlage* bezeichnet. Jedes dieser Bänder kann als Ausgangssignal verwendet werden, das jeweils andere wird mit einem Filter unterdrückt. Aufwärtsmischer werden in Sendern und in Chopper-Verstärkern verwendet.

Abwärtsmischer

Beim Abwärtsmischer wird am Eingang ein HF-Signal angelegt und mit dem LO-Signal multipliziert.





$$s_{HF}(t) = a(t) \cos [\omega_{HF} \cdot t + \varphi(t)]$$

$$s_{LO}(t) = 2 \cos (\omega_{LO} \cdot t)$$

Am Ausgang erhält man das Signal s_M :

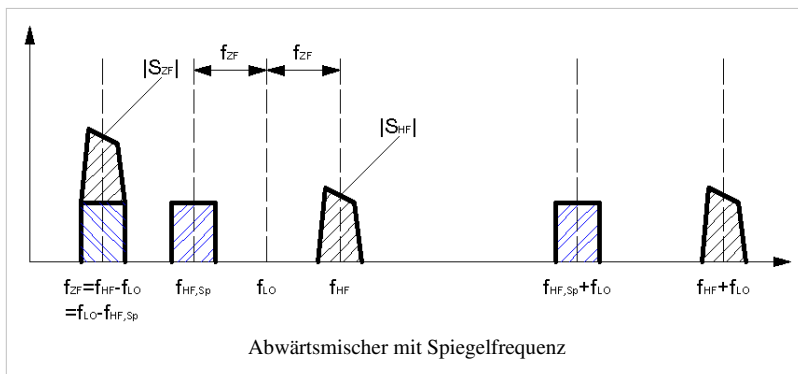
$$s_M(t) = s_{HF}(t) \cdot s_{LO}(t) = a(t) \cos [\omega_{HF} \cdot t + \varphi(t)] \cdot 2 \cos (\omega_{LO} \cdot t)$$

$$s_M(t) = \begin{cases} a(t) \cos [(\omega_{HF} + \omega_{LO}) \cdot t + \varphi(t)] \\ + a(t) \cos [(\omega_{HF} - \omega_{LO}) \cdot t + \varphi(t)] & \text{Gleichlage } (f_{HF} > f_{LO}) \\ a(t) \cos [(\omega_{HF} + \omega_{LO}) \cdot t + \varphi(t)] \\ + a(t) \cos [(\omega_{LO} - \omega_{HF}) \cdot t - \varphi(t)] & \text{Kehrlage } (f_{LO} > f_{HF}) \end{cases}$$

Wenn die HF-Frequenz größer ist als die LO-Frequenz, erhält man ein ZF-Signal in Gleichlage mit gleicher Frequenzfolge. Andernfalls ein ZF-Signal in Kehrlage mit invertierter Frequenzfolge. Das Signal s_M setzt sich zusammen aus dem Signal s_{ZF} (links) und einem Signal mit $f_{HF} + f_{LO}$ (rechts). Letzteres wird nicht benötigt und mit einem Filter entfernt.

Abwärtsmischer werden in Empfängern (Rundfunkempfang, Funktelefon, Satellitenempfänger), die nach dem Superheterodyn-Prinzip arbeiten, sowie in Empfängern von FM-Radar und Geräten zur Geschwindigkeitskontrolle verwendet.

Spiegelfrequenz



Beim Abwärtsmischer tritt häufig der Fall auf, dass das am HF-Eingang angelegte Signal zusätzlich zu s_{HF} mit $f_{HF} = f_{LO} \pm f_{ZF}$ ein *Spiegelsignal* mit der *Spiegelfrequenz* $f_{HF,Sp} = f_{LO} \mp f_{ZF}$ beinhaltet, welches ebenfalls auf f_{ZF} herabgesetzt wird. Der Mischer arbeitet in diesem Fall in Gleich- und Kehrlage gleichzeitig. Deshalb muss der Abwärtsmischer zusätzlich mit einem *Spiegelfrequenzfilter* am Eingang versehen werden.

Praktische Mischer

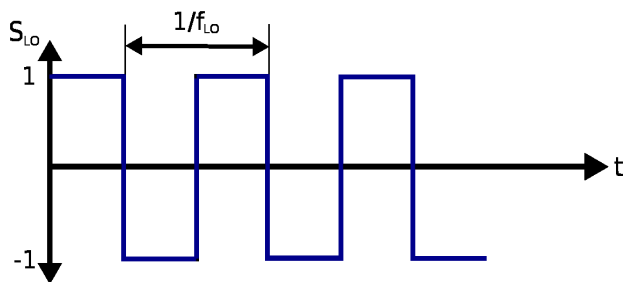
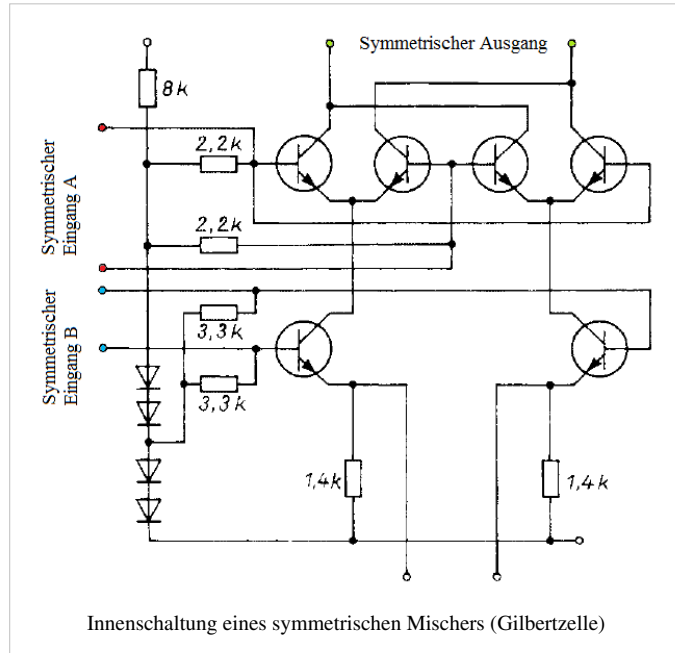
Symmetrische Analog-Multiplizierer-Schaltungen zeichnen sich durch besonders wenige und schwache unerwünschte Mischprodukte aus. Trotzdem werden sie für Mischer in der Praxis selten verwendet, da sie wegen der aufwändigen Schaltungstechnik eine höhere Rauschzahl aufweisen – bei sehr schwachen Signalen oft unbrauchbar hoch. Der SO42P ist ein bekannter IC für diese Anwendung.

Meist verwendet man unsymmetrische Schaltungen und nimmt in Kauf, dass neben den gewünschten Summen- und Differenzsignalen *auch* die ursprünglichen Eingangssignale und eine Vielzahl unerwünschter Kombinationsfrequenzen am Ausgang enthalten sind. Dann muss sichergestellt sein, dass man das Nutzsignal von den weiteren (Stör-)Signalen mit Hilfe von Filtern am Ausgang abtrennen kann. Daraus folgt, dass Übertragungsglieder mit nichtlinearem Verhalten als Mischer benutzt werden können, durch welche die Summe der zu mischenden Signale geschickt wird. In der Praxis bedeutet dies, dass ein „hinreichend schlechter“, also verzerrender Summier-Verstärker als Mischer zu gebrauchen ist. Diese Technik wird als *additive Mischung* bezeichnet und bildet den mutmaßlichen Ursprung des Begriffs „Mischer“.

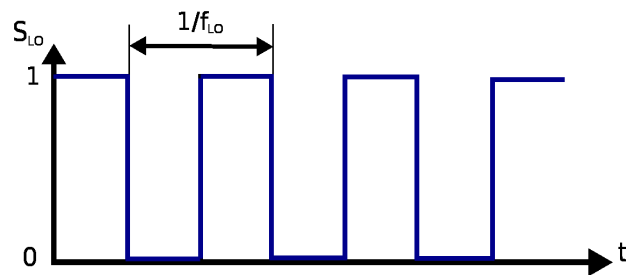
Bei Bauteilen wie Dual-Gate-Feldeffekttransistoren oder Mehrgitterröhren führt man die beiden Eingangsspannungen jeweils auf einen separaten Eingang des Steuerelements und spricht dann bereits von *multiplikative Mischung*. Tatsächlich sind aber die Eingangsspannungen am Ausgang sehr gut nachweisbar, was bei einem Multiplizierer nicht vorkommen darf. Der Anteil unerwünschter Mischprodukte ist geringer als bei einfacheren Schaltungen.

Verwendung eines Rechtecksignales

Das Signal s_{LO} kann unipolar ($0 \dots 1$) oder bipolar ($-1 \dots 1$) sein.

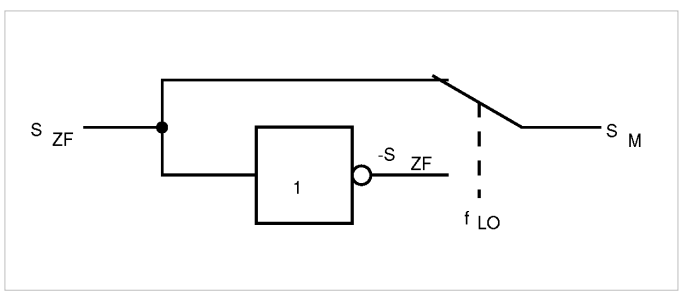
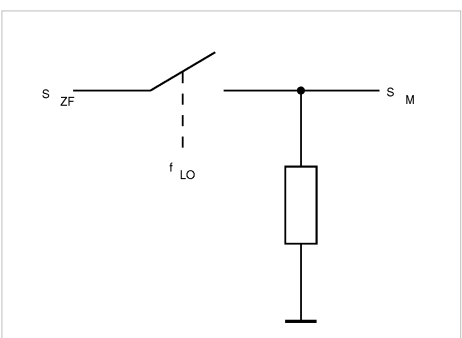
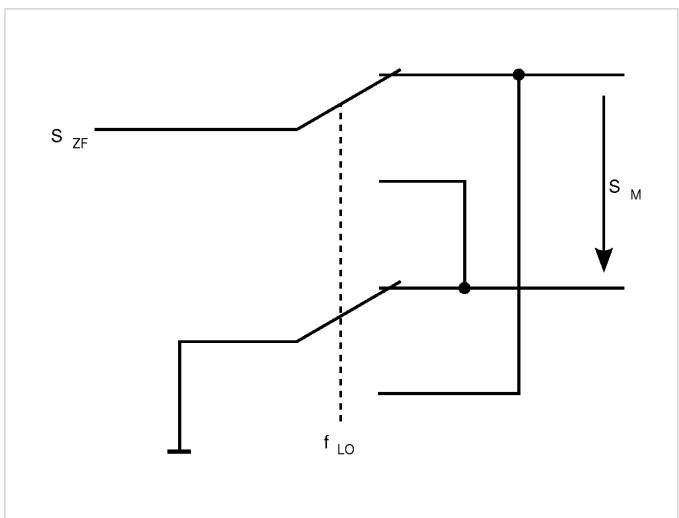
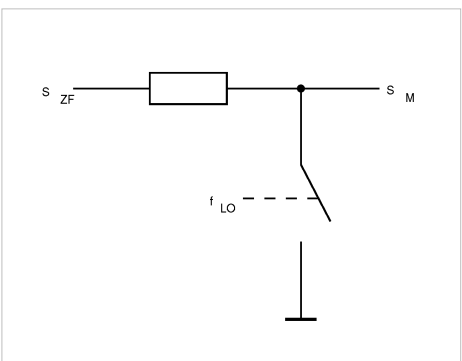


Bipolares Rechteckssignal



Unipolares Rechteckssignal

Ersatzschaltung bei rechteckförmigen Eingangssignal

Bipolar	Unipolar
Mit Logisch-Nicht-Gatter und Wechselschalter 	Mit „Einschalter“ (Pull-up) 
Mit Kreuzwechselschalter bzw. zwei Wechselschaltern 	Mit „Ausschalter“ (Pull-down) 

Für Rechteckssignale ergeben sich daraus die Fourierreihen:

$$s_{LO}(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cos[(2n+1) \cdot \omega_{LO} \cdot t] & \text{unipolar} \\ \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cos[(2n+1) \cdot \omega_{LO} \cdot t] & \text{bipolar} \end{cases}$$

Es kommen dabei nur ungerade Vielfache der LO-Frequenz vor. Zudem hat das bipolare Rechteckssignal keinen Gleichanteil. Mit dem modulierten ZF-Signal

$$s_{ZF} = a(t) \cos[\omega_{ZF} \cdot t + \varphi(t)]$$

erhält man am Ausgang eines Multiplizierers mit unipolarem Rechteckssignal:

$$\begin{aligned}
s_M(t) = & \frac{a(t)}{2} \cos[\omega_{ZF} \cdot t + \varphi(t)] \\
& + \frac{a(t)}{\pi} \{ \cos[(\omega_{LO} + \omega_{ZF}) \cdot t + \varphi(t)] + \cos[(\omega_{LO} - \omega_{ZF}) \cdot t - \varphi(t)] \} \\
& - \frac{a(t)}{3 \cdot \pi} \{ \cos[(3 \cdot \omega_{LO} + \omega_{ZF}) \cdot t + \varphi(t)] + \cos[(3 \cdot \omega_{LO} - \omega_{ZF}) \cdot t - \varphi(t)] \} \\
& + \dots
\end{aligned}$$

Beim Bipolarsignal entfällt der Anteil der ZF-Frequenz ($\omega_{ZF} = 0$). Die anderen Anteile haben die doppelte Amplitude [$a(t)_{bi} = 2 a(t)_{uni}$].

Literatur

- Ulrich Tietze, Christoph Schenk, Eberhard Gamm: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. 12. Auflage. Springer, Berlin 2002, ISBN 3-540-42849-6.

Weblinks

- Skript zum Thema Mischer (PDF) ^[1]

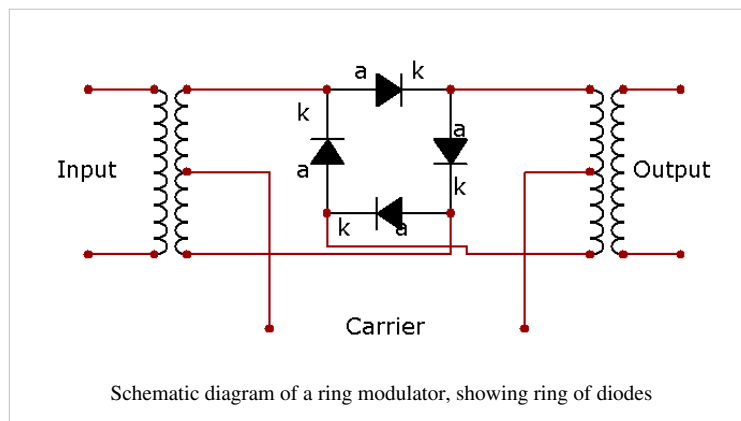
Referenzen

- [1] <http://www.informationsuebertragung.ch/indexMischer.html>

7.5 en.wiki "RingModulation" pdf

Ring modulation

Ring modulation is a signal-processing effect in electronics, an implementation of amplitude modulation or frequency mixing, performed by multiplying two signals, where one is typically a sine-wave or another simple waveform. It is referred to as "ring" modulation because the analog circuit of diodes originally used to implement this technique took the shape of a ring.^[1] This circuit is similar to a bridge rectifier, except that instead of the diodes facing "left" or "right", they go "clockwise" or "anti-clockwise".



The carrier, which is AC, at a given time, makes one pair of diodes conduct, and reverse-biases the other pair. The conducting pair carry the signal from the left transformer secondary to the primary of the transformer at the right. If the left carrier terminal is positive, the top and bottom diodes conduct. If that terminal is negative, then the "side" diodes conduct, but create a polarity inversion between the transformers. This action is much like that of a DPDT switch wired for reversing connections.

Examples

These are some audio samples of the ring modulation effect:

Operation

Ring modulators frequency mix or heterodyne two waveforms, and output the sum and difference of the frequencies present in each waveform. This process of ring modulation produces a signal rich in partials, suitable for producing bell-like or otherwise metallic sounds. As well, neither the carrier nor the incoming signal are prominent in the outputs, and ideally, not at all.

Two oscillators, whose frequencies were harmonically related and ring modulated against each other, produce sounds that still adhere to the harmonic partials of the notes, but contain a very different spectral make up.

If the same signal is sent to both inputs of a ring modulator, the resultant harmonic spectrum is the original frequency domain doubled (if $f_1 = f_2 = f$, then $f_2 - f_1 = 0$ and $f_2 + f_1 = 2f$). Regarded as multiplication, this operation amounts to squaring. However, some distortion occurs due to the forward voltage drop of the diodes.

Some modern ring modulators are implemented using digital signal processing techniques by simply multiplying the time domain signals, producing a nearly-perfect signal output. Before digital music synthesizers became common, at least some analog synthesizers (such as the ARP 2600) used analog multipliers for this purpose; they were closely related to those used in electronic analog computers. (The "ring modulator" in the ARP 2600 could multiply control voltages; it could work at DC.)

Multiplication in the time domain is the same as convolution in the frequency domain, so the output waveform contains the sum and difference of the input frequencies. Thus, in the basic case where two sine waves of frequencies f_1 and f_2 ($f_1 < f_2$) are multiplied, two new sine waves are created, with one at $f_1 + f_2$ and the other at $f_2 - f_1$. The two new waves are unlikely to be harmonically related and (in a well designed ring modulator) the original signals are not present. It is this that gives the ring modulator its unique tones.

Intermodulation products can be generated by carefully selecting and changing the frequency of the two input waveforms. If the signals are processed digitally, the frequency-domain convolution becomes circular convolution. If the signals are wideband, this will cause aliasing distortion, so it is common to oversample the operation or low-pass filter the signals prior to ring modulation.

One application is spectral inversion, typically of speech; a carrier frequency is chosen to be above the highest speech frequencies (which are low-pass filtered at, say, 3 kHz, for a carrier of perhaps 3.3 kHz), and the sum frequencies from the modulator are removed by more low-pass filtering. The remaining difference frequencies have an inverted spectrum—High frequencies become low, and vice versa.

Integrated circuit methods of ring modulation

On the C64 SID chip, ring modulation multiplies a triangle wave with a square wave.

On an ARP Odyssey synthesizer (and a few others from that era as well) the ring modulator is an XOR function (formed from two NAND gates) fed from the square wave outputs of the two oscillators. For the limited case of square or pulse wave signals, this is identical to true ring modulation.

Analog multiplier ICs (such as those made by Analog Devices) would work quite nicely as ring modulators, of course with regard to such matters as their operating limits and scale factors.

Use in music

One of the first products dedicated for music was the *Bode Ring Modulator* developed in 1961 by Harald Bode. Also he developed the *Bode Frequency Shifter* with less muddy sound by eliminating a side band, in 1964.^[2] These devices (and later *Bode Phase Shifter*) were designed to control via voltage for today's modern modular synthesizer architecture which was advocated by him,^[3] and licensed to R.A. Moog for their Moog modular synthesizers started in 1963-1964.^[4] In 1963, Don Buchla included an optional ring modulator in his first modular synthesizer, the Model 100.^[5] Also Tom Oberheim designed a ring modulator unit around 1970,^[6] considered as one of the earliest ring modulator products for guitarists.

Early electronic composers, particularly Stockhausen, used ring-modulator effects. Stockhausen used ring modulation as early as 1956 for some sounds in *Gesang der Jünglinge* and his realization score for *Telemusik* (1966) also calls for it. Indeed, whole compositions are based around it, such as *Mixtur* (1964), one of the first compositions for orchestra and live electronics, *Mikrophonie II* (1965, where the sounds of choral voices are modulated with a Hammond organ), *Mantra* (1970, where the sounds from two pianos are routed through ring modulators), and *Licht-Bilder* from *Sonntag aus Licht* (2002), which ring-modulates flute and trumpet.^[7] ^[8] ^[9]

One of the best-known applications of the ring modulator may be its use by Brian Hodgson of the BBC Radiophonic Workshop to produce the distinctive voice of the Daleks in the television series *Doctor Who*, starting in 1963.^[10]

Other applications

Ring modulation has also been extensively used in radio receivers, for example to demodulate an FM stereo signal and to down-convert microwave signals in mobile telephone and wireless networking systems.

References

- [1] Richard Orton, "Ring Modulator", *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, second edition, edited by Stanley Sadie and John Tyrrell (London: Macmillan Publications; New York: Grove's Dictionaries of Music, 2001): "the ring modulator takes its name from the characteristic ring formation of four diodes in its analog circuit."
- [2] "Harald Bode - A Lifetime for Sound" (<http://rebeccakpalov.i8.com/HBodeProgram.pdf>). Harald Bode News. . Retrieved 2011-01-27.
- [3] H. Bode. "European electronic Music Instrument Design". *journal of the Audio Engineering Society* **ix** (1961): 267.
- [4] Tom Rhea (2004). "Harald Bode biography" (<http://www.experimentalvcenter.org/history/people/bio.php3?id=83>). New York: Experimental Television Center Ltd. .
- [5] "Buchla Electronic Musical Instruments - Historical Overview" (<http://www.buchla.com/historical/>). . Retrieved 2011-01-27.
- [6] Thomas E. Oberheim (May 1970). "A Ring Modulator Device for the Performing Musician". *AES Convention* 38: 708.
- [7] Ludger Brümmer, "Stockhausen on Electronics, 2004", *Computer Music Journal* 32, no. 4 (2008):10–16.
- [8] Karlheinz Stockhausen, "Electroacoustic Performance Practice", translated by Jerome Kohl, *Perspectives of New Music* 34, no. 1 (Winter, 1996): 74-105. Citation on 89.
- [9] Karlheinz Stockhausen, "Einführung"/"Introduction", English translation by Suzanne Stephens, in booklet accompanying Karlheinz Stockhausen, *Licht-Bilder (3. Szene vom SONNTAG aus LICHT)*, 2-CD set, Stockhausen Gesamtausgabe/Complete Edition 68A–B (Kürten: Stockhausen-Verlag, 2005): 10 & 51
- [10] Jeremy Bentham, *Doctor Who: The Early Years* (London: W.H. Allen, 1986): 127. ISBN 0-491-03612-4.

External links

- Scott Lehman. "Effects Explained: Ring Modulation" (http://replay.waybackmachine.org/20051201090154/http://www.harmony-central.com/Effects/Articles/Ring_Modulation/). Harmony Central. Archived from the original (http://www.harmony-central.com/Effects/Articles/Ring_Modulation/) on 2005-12-01.

7.6 de.wiki "Amplitudenmodulation" → Modulationstrapez

Amplitudenmodulation

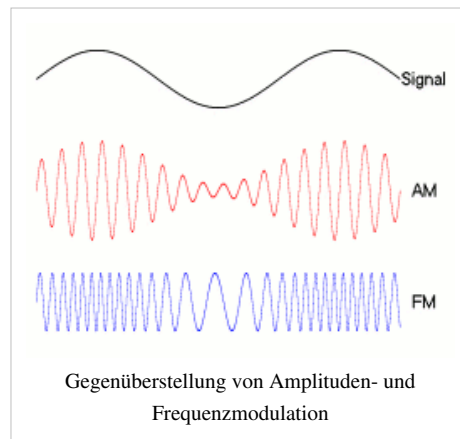
Die **Amplitudenmodulation** (AM) ist ein Modulationsverfahren. Dabei wird die Amplitude einer hochfrequenten Trägerwelle abhängig vom zu übertragenden, niederfrequenten (modulierenden) Nutzsignal verändert.

Niederfrequente Nutzsignale wie Sprache oder Musik können häufig nicht direkt über gewünschte Übertragungsmedien wie beispielsweise einen Funkkanal übertragen werden. Zur Übertragung muss das Nutzsignal im Frequenzbereich verschoben werden, was durch die in diesem Artikel beschriebene AM bewerkstelligt werden kann. Durch das Verschieben in unterschiedliche Frequenzbereiche können mehrere Nutzsignale gleichzeitig und ohne gegenseitige Störung übertragen werden.

Anwendung der Amplitudenmodulation

AM wird verwendet bei:

- Rundfunk auf den Frequenzbändern Langwelle, Mittelwelle, Kurzwelle
- Fernsehen, abhängig von der verwendeten Fernsehnorm, siehe Fernsehsignal
- CB-Funk
- Amateurfunk (meist in Form der Einseitenbandmodulation)
- Flugnavigation (ADF)
- Flugfunk (zivil – VHF 118 bis 137 MHz, militär – UHF)
- Chopper-Verstärker.



Die AM wurde zu Beginn der Rundfunktechnik eingesetzt, weil sich derartig modulierte Signale sehr einfach erzeugen und demodulieren lassen. Zudem zeichnet sich die AM durch einen geringen Anspruch an Bandbreite aus. So belegt bei der üblicherweise verwendeten Rundfunk-AM jeder Sender die Bandbreite $2 \cdot 4,5 \text{ kHz} = 9 \text{ kHz}$ bzw. $2 \cdot 5 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz}$. Allerdings stehen diesen Vorteilen etliche Nachteile gegenüber: Störanfälligkeit, schlechter Wirkungsgrad und – besonders bei Kurzwelle – die Verzerrungen durch selektiven Trägerschwund. Daher werden bei später entwickelten Anwendungen modifizierte Modulationsverfahren genutzt.

Modulation

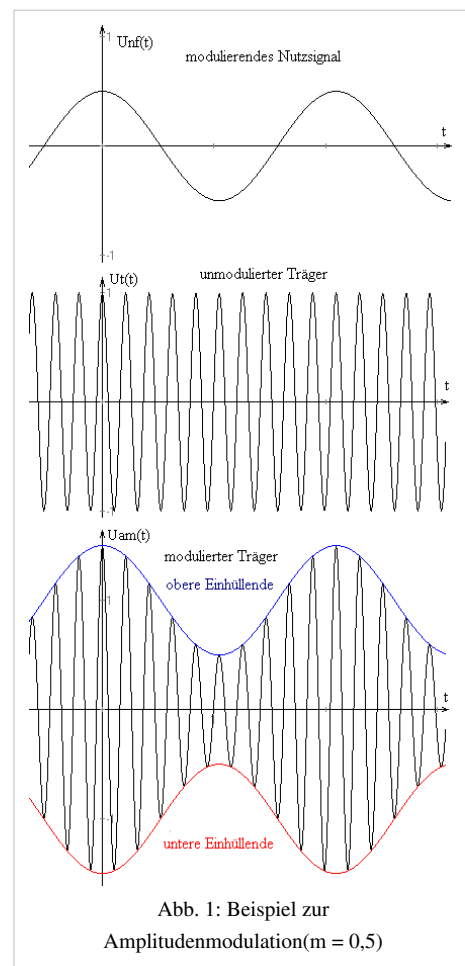
Es gibt zwei Arten der Modulation:

- mathematisch: Trägerwelle mit Nutzsignal multiplizieren
- praktische Realisierung: Trägerwelle mit Nutzsignal addieren (überlagern) danach verzerren und filtern.

Mathematische Beschreibung

Nachfolgend werden sowohl die eigentliche Frequenz f als auch die Kreisfrequenz ω mit Frequenz bezeichnet. Dies ist möglich, da beide über einen konstanten Faktor $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ zusammenhängen. Trotzdem muss man beachten, dass beide immer noch zwei verschiedene Größen sind. Wenn Zahlen auftreten, wird das über die Einheiten ausgedrückt: $[f] = \text{Hz}$ und $[\omega] = 1/\text{s}$.

Man erhält ein modulierte Signal, wenn man zum Nutzsignal



$$u_{\text{NF}} = \hat{U}_{\text{NF}} \cos(\omega t) \text{ (der Nullphasenwinkel wird als Null angenommen)}$$

einen Gleichanteil $\hat{U}_{\text{T}}$ addiert und anschließend beides mit einer hochfrequenten Trägerschwingung $\cos(\Omega t)$ mit $\Omega \gg \omega$ multipliziert

$$u_{\text{AM}} = \left(\hat{U}_{\text{T}} + \hat{U}_{\text{NF}} \cos(\omega t) \right) \cdot \cos(\Omega t)$$

$$u_{\text{AM}} = \hat{U}_{\text{T}} \cos(\Omega t) + \hat{U}_{\text{NF}} \cos(\omega t) \cdot \cos(\Omega t)$$

Mit Hilfe der Umrechnungsformel

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta))$$

erhält man:

$$u_{\text{AM}} = \hat{U}_{\text{T}} \cos(\Omega t) + \frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{2} (\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t))$$

Aus der Formel kann man das entstandene Frequenzspektrum ablesen. Das modulierte Signal enthält den Träger

$$u_{\text{T}} = \hat{U}_{\text{T}} \cos(\Omega t)$$

mit der Trägerfrequenz Ω und der Amplitude $\hat{U}_{\text{T}}$, sowie zwei Schwingungen mit den Seitenfrequenzen $\Omega - \omega$ und $\Omega + \omega$ mit jeweils der Amplitude $\frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{2}$. Diese einfachste Modulationsart der AM nennt man deshalb auch

Zweiseitenbandmodulation (ZSB oder englisch DSB) mit Träger. Hier steckt die Information in den Seitenbändern, während der Träger selbst bei der Übertragung nur unnötigen Ballast darstellt. Wenn sich die Amplitude $\hat{U}_{\text{NF}}$ der modulierenden Schwingung ändert, ändert sich auch die Amplitude der Seitenfrequenzen. Wenn sich die Frequenz

des modulierenden Signals ändert, ändern sich auch die Frequenzen der Seitenbänder.

In Abbildung 1 kann man unten neben dem modulierten Signal auch noch die beiden sogenannten Einhüllenden sehen. Diese dienen nur der Veranschaulichung, weil ihr Verlauf gleich dem modulierenden Nutzsignal ist. In Abbildung 2 sieht man die drei Spektren (von links) des modulierenden Nutzsignals, des unmodulierten Trägers und des modulierten Signals. Wie man erkennen kann, sind die Amplituden der informationstragenden Seitenbänder wesentlich kleiner als die des Trägers (vgl. hierbei die Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger, bei der im Idealfall die Trägerwelle vollständig unterdrückt wird, d.h. $\hat{U}_T = 0$ ist).

Alternativ zur Berechnung des modulierten Signals im Zeitbereich kann dies auch über die Fourier-Transformation im Frequenzbereich geschehen. Die dazu inverse Fourier-Transformation führt wieder in den Zeitbereich.

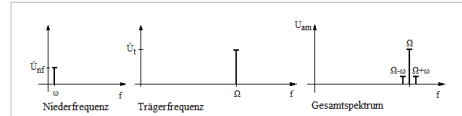


Abb. 2: Spektrum der Amplitudenmodulation;
Modulationsgrad $m = 0,5$

Modulationsgrad

Mit dem Modulationsgrad m wird angegeben, wie stark das zu modulierende Nutzsignal die Amplitude des modulierten Signals beeinflusst.

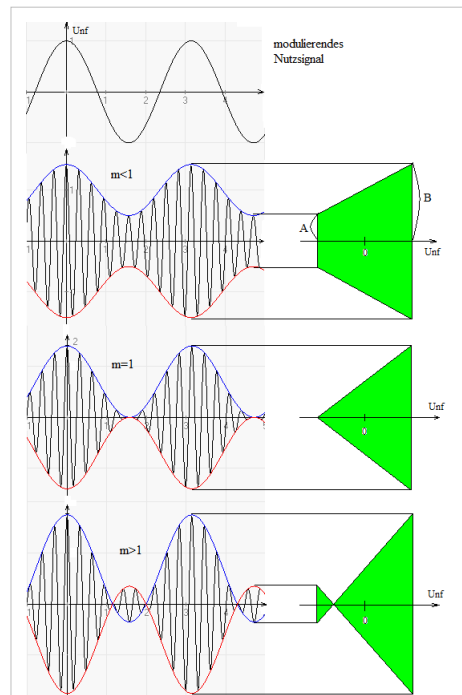


Abb. 3: Modulationsgrad und Modulationstrapez
in drei Varianten

$$m = \frac{\hat{U}_{NF}}{\hat{U}_T} = \frac{U_{AM_{\max}} - \hat{U}_T}{\hat{U}_T} = \frac{U_{AM_{\max}} - U_{AM_{\min}}}{U_{AM_{\max}} + U_{AM_{\min}}}$$

Mit m ergibt sich für u_{AM}

$$u_{AM} = \hat{U}_T \left(\cos(\Omega t) + \frac{m}{2} (\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t)) \right)$$

Er muss größer als 0 und kleiner gleich 1 sein, um inkohärent demodulieren zu können. Bei Null findet keine Modulation statt, es wird lediglich der unmodulierte Träger übertragen. Bei $m > 1$ findet eine Übermodulation statt, das entstandene Signal kann nur noch kohärent verzerrungsfrei demoduliert werden. Deshalb wird oft die Amplitude des modulierenden Signals vorher begrenzt, um eine zu große Aussteuerung zu vermeiden.

Modulationstrapez

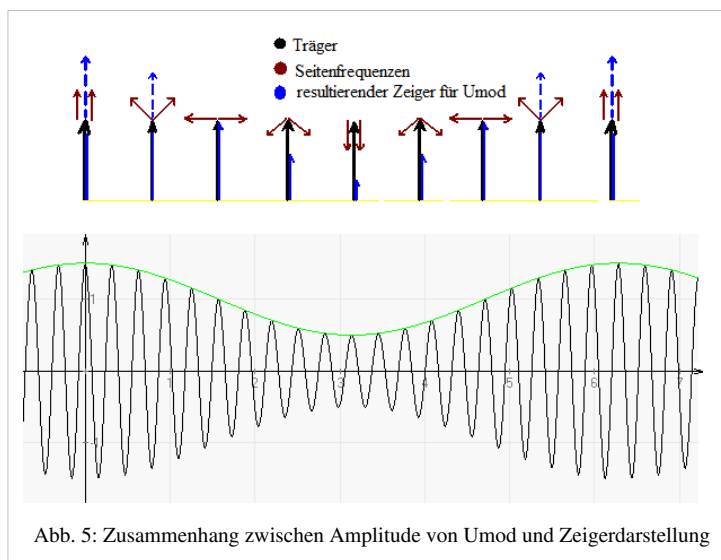
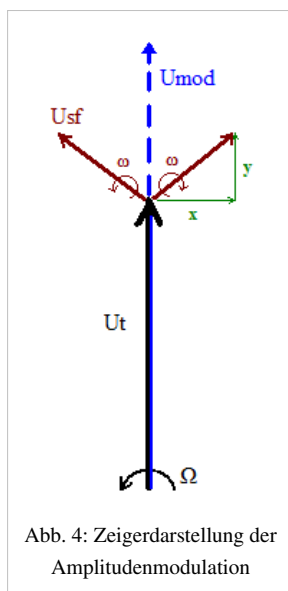
Beim Modulationstrapez wird die Amplitude des modulierten Signals (y-Achse) über der Amplitude des modulierenden Signals (x-Achse) aufgetragen. Bei sinusförmigen Signalen entsteht dabei ein Trapez. Je nachdem wie groß m ist, kann es wie ein normales Trapez ($0 < m < 1$) aussehen, wie ein Dreieck ($m = 1$) oder eine Fischform ($m > 1$) (siehe Abbildung 3). Aus dem Trapez lässt sich auch leicht die Formel für m bestimmen.

$$m = \frac{B - A}{B + A}$$

Wenn die Phase nicht konstant bleibt oder kein reines Sinussignal vorliegt, treten Verzerrungen des Modulationstrapezes auf, oder es kann sich zu einem Zylinder wölben.

Zeigerdarstellung

In der Zeigerdarstellung werden die Modulationsanteile als Zeiger aufgetragen. Auf dem starren Träger stehen die beiden Zeiger der Seitenfrequenzen und drehen sich mit ω in jeweils entgegengesetzte Richtung. Wie man in den Abbildungen 4 und 5 sehen kann, sind die x-Komponenten der Zeiger der Seitenfrequenzen stets entgegengesetzt, so dass sie sich bei der Addition aufheben. Es bleibt nur noch die Summe der y-Komponenten, die zur Trägeramplitude addiert (wenn negativ subtrahiert) wird. So ist die resultierende momentane Amplitude des modulierten Signals immer in gleicher Richtung (in Phase) mit der Trägeramplitude. Das ist charakteristisch für die Zweiseitenbandmodulation.



Bandbreite

Das Beispiel war sehr einfach, um grundlegend die Modulation verstehen zu können. Praktisch wird dabei eine niedrige Frequenz, also zum Beispiel ein einziger Ton konstanter Stärke auf den Träger moduliert. In der Realität moduliert man wesentlich mehr aufeinanderfolgende Frequenzen auf den Träger. Diese Menge an Frequenzen nennt man *Frequenzband* f_B und somit die Bereiche, die nach der Modulation neben dem Träger entstehen, *Seitenbänder*. Es gibt ein oberes (OSB, im Englischen USB, upper side band) und ein unteres (USB, im Englischen LSB, lower side band) Seitenband; zusammen bilden sie die Bandbreite B .

$$B = 2 \cdot f_{i_{max}}$$

Beim Rundfunk wird im AM-Bereich ein standardisiertes Frequenzband von 4,5 kHz Breite (von 0 Hz bis 4,5 kHz) übertragen, was zu einer Bandbreite $B = 9 \text{ kHz}$ führt.

Leistungsbetrachtung

Die eigentliche Nutzleistung steckt in den Seitenbändern, wobei in beiden Seitenbändern die gleiche Information steckt, was folglich bedeutet, dass ein Seitenband völlig überflüssig ist, wie auch der Träger. Daraus ergibt sich ein Wirkungsgrad η .

$$\eta = \frac{P_{\text{SB}}}{P_{\text{ges}}} = \frac{m^2}{4 + 2m^2}$$

mit

$$P_{\text{ges}} = P_T + 2 P_{\text{SB}}$$

$$P_T = \frac{\hat{U}_T^2}{2R}$$

$$P_{\text{SB}} = \frac{\hat{U}_{\text{NF}}^2}{8R}$$

R ist ein beliebiger Widerstand, auf den die Leistung bezogen wird. Je nachdem, wie nun m gewählt wird, beträgt η zwischen 0 % ($m = 0$) und 17 % ($m = 1$).

Praktische Realisierung der Modulation

Ausnutzung der nichtlinearen Kennlinie eines Bauteils

Bei diesem Verfahren wird ein nichtlineares Bauteil, gewöhnlich eine Diode, durch ein Signalgemisch angesteuert. Das Gemisch u_{T+i} ergibt sich durch Addition aus dem modulierenden Signal u_i und der Trägerschwingung u_T . Erzeugt werden diese Signale durch zwei Generatoren (HF-Oszillator und einen NF-Verstärker), die in Reihe geschaltet sind (Abb. 8).

In Abb. 9 ist die Schaltung des Modulators dargestellt. Um später ein einwandfreies AM-Signal zu erhalten, muss vorher der Arbeitspunkt der Diode mit R_1 so eingestellt werden, dass die Diode eben noch leitfähig ist (Schwellspannung). Das bedeutet, dass der Arbeitspunkt am unteren Ende der Kennlinie liegt. Es fließt daher ein geringer Diodenstrom I_D . C_1 dient zur

Abblockung der Diodenvorspannung, damit diese nicht zurück auf den HF-Generator wirkt. Über C_1 liegt die Spannung u_{T+i} an der Diode an, wodurch der Arbeitspunkt im Takt von u_{T+i} an der gekrümmten Kennlinie hoch- und heruntergeschoben

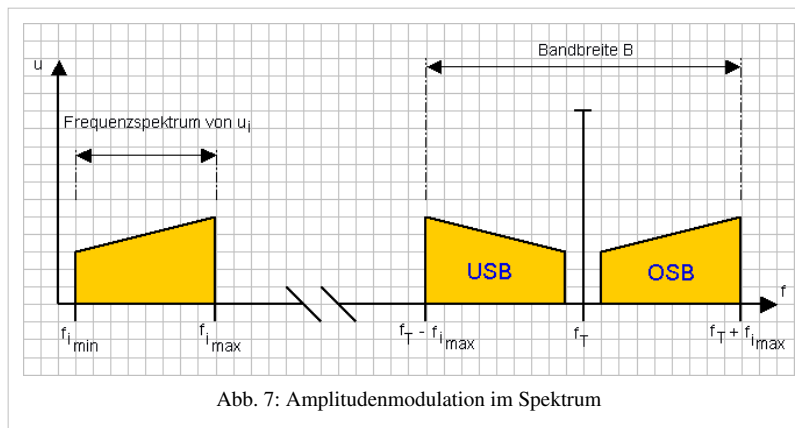


Abb. 7: Amplitudenmodulation im Spektrum

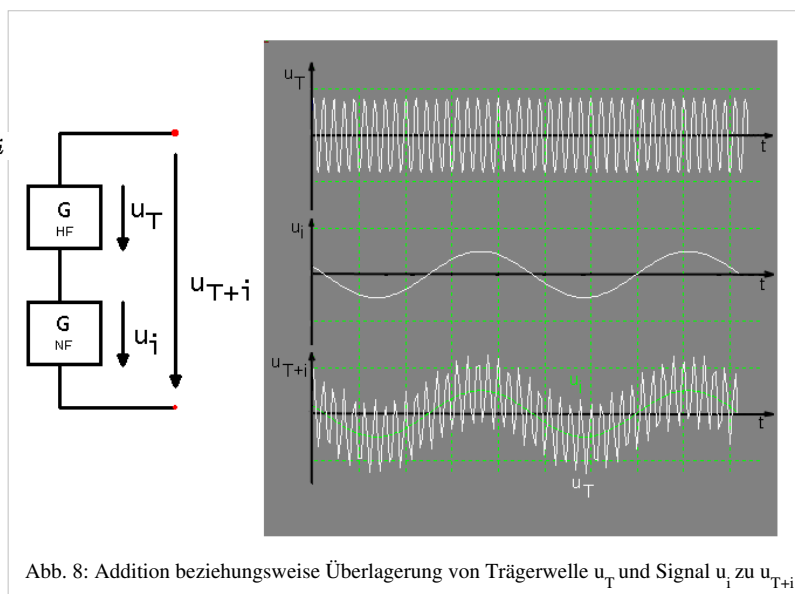


Abb. 8: Addition beziehungsweise Überlagerung von Trägerwelle u_T und Signal u_i zu u_{T+i}

wird. Durch die Änderung des Arbeitspunktes ändert sich auch I_D . Die Änderung von I_D führt seinerseits nach dem Ohmschen Gesetz proportional zu einer Änderung des Spannungsabfalls u_{R2} über R_2 . u_{R2} ist folglich eine Funktion von u_{T+i} , w die Funktion durch die Kennlinie der Diode festgelegt wird. Durch eine Taylorreihe, die nach dem quadratischen Glied abgebrochen wird

$$P_{u_{R2}}(u_{T+i}) = u_{R2}(u_{T+i} = 0) + \frac{\partial u_{R2}(u_{T+i} = 0)}{\partial u_{T+i}} u_{T+i} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u_{R2}(u_{T+i} = 0)}{\partial u_{T+i}^2} u_{T+i}^2$$

mit

$$u_{T+i} = u_T + u_i = \hat{U}_T \cos(\Omega t) + \hat{U}_{NF} \cos(\omega t)$$

und

$$u_{R2} = R_2 \cdot I_D = R_2 \cdot I_S \left(e^{\frac{u_{T+i}}{n \cdot U_{Temp}}} - 1 \right),$$

kann die Funktion u_{R2} angenähert werden. Mit den Faktoren

$$\begin{aligned} u_{R2}(u_{T+i} = 0) &= 0 \\ \frac{\partial u_{R2}(u_{T+i} = 0)}{\partial u_{T+i}} &= \frac{R_2 I_S}{n \cdot U_{Temp}} \\ \frac{\partial^2 u_{R2}(u_{T+i} = 0)}{\partial u_{T+i}^2} &= \frac{R_2 I_S}{(n \cdot U_{Temp})^2} \end{aligned}$$

ergibt sich die Näherung zu:

$$\begin{aligned} P_{u_{R2}}(u_{T+i}) &= \frac{R_2 I_S}{n \cdot U_{Temp}} \hat{U}_T \cos(\Omega t) + \frac{R_2 I_S}{n \cdot U_{Temp}} \hat{U}_{NF} \cos(\omega t) \\ &+ \frac{1}{4} \frac{R_2 I_S}{(n \cdot U_{Temp})^2} \left(\hat{U}_T^2 + \hat{U}_{NF}^2 + \hat{U}_T^2 \cos(2\Omega t) + \hat{U}_{NF}^2 \cos(2\omega t) \right) \\ &+ \frac{1}{2} \frac{R_2 I_S}{(n \cdot U_{Temp})^2} \hat{U}_T^2 \hat{U}_{NF}^2 (\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t)) \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis enthält noch viele Frequenz- und Gleichanteile, die den gewünschten Verlauf verzerren. Auch der blaue Graph im u_{R2} Diagramm zeigt dies deutlich. Der Gleichspannungsanteil kommt daher, dass durch die Arbeitspunkteinstellung immer ein geringer Diodengleichstrom I_D fließt, welcher einen Gleichspannungsabfall an R_2 erzeugt. Um ein AM-Signal zu erhalten, muss u_{R2} noch auf einen Bandpass gegeben werden, welcher die Gleichspannung und die durch die Modulation hervorgerufenen unerwünschten Frequenzanteile abblockt. Die gesuchten Anteile sind in der genäherten Formel unterstrichen dargestellt und bleiben nach der Filterung übrig:

$$u_{AM} = \frac{R_2 I_S}{n \cdot U_{Temp}} \hat{U}_T \cos(\Omega t) + \frac{1}{2} \frac{R_2 I_S}{(n \cdot U_{Temp})^2} \hat{U}_T^2 \hat{U}_{NF}^2 (\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t))$$

Das u_{AM} -Diagramm zeigt das fertige AM-Signal. Rot gekennzeichnet ist das modulierende Signal u_i , welches die Amplitude des modulierten Signals beeinflusst.

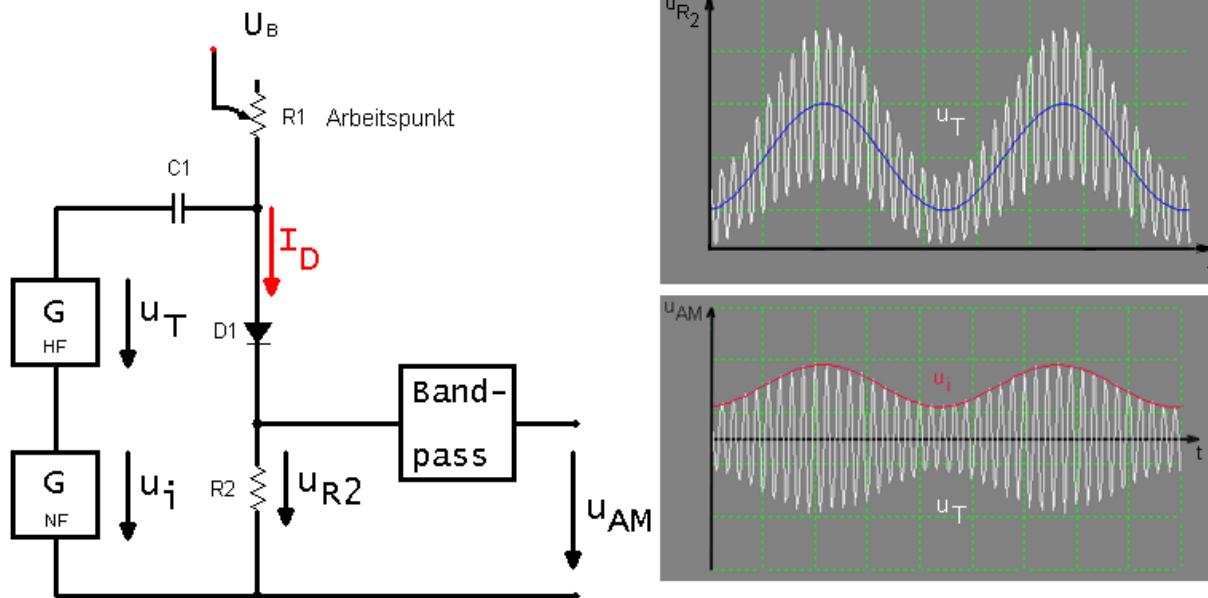


Abb. 9: Einfacher Diodenmodulator

Multiplikative Modulation

Das Nutzsignal ist in der Regel ein Frequenzgemisch (z. B. Sprache). Als NF-Quelle kann z. B. ein Mikrofon dienen. Die Trägerfrequenz selbst wird mit Hilfe eines HF-Generators oder auch Oszillators erzeugt.

Die eigentliche Modulation geschieht im Modulator, wie in der mathematischen Beschreibung dargestellt, durch Multiplikation des modulierenden Signals und eines Gleichanteils (sowie Verzerrungen

aufgrund Nichtlinearitäten) mit der Trägerschwingung. Elektronisch kann man eine 2-Quadranten-Multiplikation beispielsweise mit einem Differenzverstärker realisieren. (Beim Differenzverstärker-Beispiel bekommt Transistor Q_1 HF und die Stromquelle Q_3 bekommt NF).

Wenn $\hat{U}_T = 0$ ist, kann ein negativer Wert des modulierenden Signals ($u_{NF} < 0$) den Träger invertieren ($m > 1 \Rightarrow$ Übermodulation). Abgesehen davon funktioniert ein Differenzverstärker dann nicht (Betrieb nur in 2 Quadranten möglich). Also ist $\hat{U}_T$ so zu wählen, dass $\hat{U}_T \geq \hat{U}_{NF}$ gilt. Das modulierte Signal gelangt schließlich nach dem HF-Verstärker zur Antenne und wird als Elektromagnetische Welle zum Empfänger übertragen.

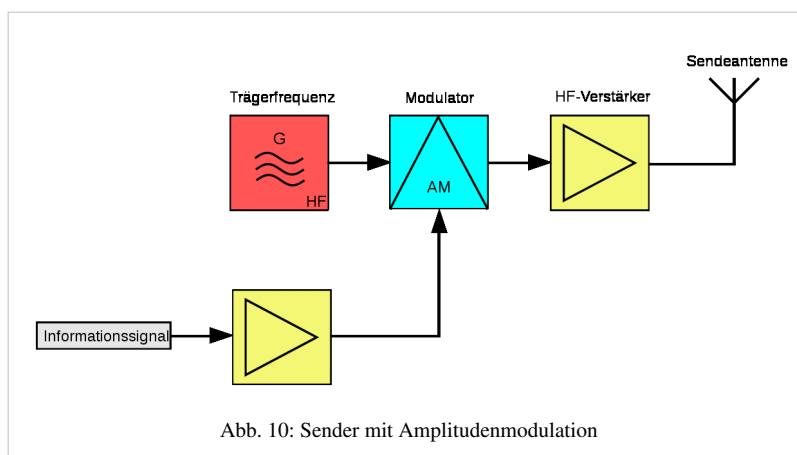


Abb. 10: Sender mit Amplitudenmodulation

Weitere Arten der Amplitudenmodulation

Bandbreiten- oder leistungsbegrenzende Modulationsvarianten:

- Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger (DSBSC, double side band suppressed carrier)
- Einseitenbandmodulation (SSB, single side band)
- Restseitenbandmodulation.

Verfahren mit geringer Anfälligkeit gegen Störungen oder größerer Nutzung des Spektrums:

- Quadraturamplitudenmodulation QAM
- dynamische Amplitudenmodulation
- Pulsamplitudenmodulation (PAM).

Demodulation

Kohärente Demodulation (Synchrondemodulation)

Beim Empfänger existiert ein lokaler Träger, der in Phase zum Träger des empfangenen Signals ist. Beide sind folglich zueinander synchron und damit kohärent. Die Erzeugung dieses lokalen Trägers ist technisch sehr aufwendig, dafür ist die mathematische Beschreibung der Demodulation recht einfach. Zunächst wird das empfangene Signal, bestehend aus den beiden Seitenfrequenzen und dem Träger, mit dem lokalen Träger multipliziert:

$$\begin{aligned}
 u_{\text{DAM}} &= u_{\text{AM}} \cdot \cos(\Omega t) \\
 &= \left(\hat{U}_{\text{T}} \cos(\Omega t) + \frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{2} (\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t)) \right) \cdot \cos(\Omega t) \\
 &= \hat{U}_{\text{T}} \cos^2(\Omega t) + \frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{2} (\cos((\Omega - \omega)t) \cdot \cos(\Omega t) + \cos((\Omega + \omega)t) \cdot \cos(\Omega t))
 \end{aligned}$$

Mit Hilfe der Additionstheoreme

$$\begin{aligned}
 \cos \alpha \cos \beta &= \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)) \\
 \cos^2 \alpha &= \frac{1}{2} (1 + \cos(2\alpha))
 \end{aligned}$$

erhält man:

$$u_{\text{DAM}} = \frac{\hat{U}_{\text{T}}}{2} (1 + \cos(2\Omega t)) + \frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{4} (\cos(-\omega t) + \cos((2\Omega - \omega)t) + \cos(\omega t) + \cos((2\Omega + \omega)t))$$

Anschließend werden die unerwünschten hohen Frequenzanteile (2Ω) mit einem Tiefpass und der Gleichanteil mit einem Hochpass herausgefiltert, wodurch nur noch das gesuchte Nutzsignal mit halber Amplitude übrig bleibt:

$$u_{\text{TP}} = \frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{4} (\cos(-\omega t) + \cos(\omega t)) = \frac{\hat{U}_{\text{NF}}}{2} \cos(\omega t)$$

Inkohärente Demodulation (Hüllkurvendemodulation)

Ohne die aufwendige Erzeugung eines lokalen Trägers kommt diese einfachste Form der Demodulation aus. Hier wird das gesuchte Frequenzband mit einem Bandpass herausgefiltert, anschließend mit einer Diode gleichgerichtet und zum Schluss mit einem Tiefpass geglättet. Der enthaltene Gleichanteil wird gegebenenfalls mit einem Hochpass entfernt.

$$u_{\text{DAM}} = |u_{\text{AM}}|$$

Auf Grund der Einfachheit dieses Verfahrens ist das empfangene Signal häufig durch Verzerrungen gestört. Praktische Umsetzungen dieses Verfahrens stellen der Hüllkurvendemodulator und der Detektorempfänger dar. Durch die Einweggleichrichtung geht die Hälfte des Signals verloren; dennoch ist eine Zweiweggleichrichtung mit vier Dioden unüblich.

Siehe auch:

- Gittergleichrichtung
- Anodengleichrichtung
- Kathodengleichrichtung

Überlagerungsempfänger

Die heute verbreitetste Form der Demodulation. Siehe dazu Überlagerungsempfänger.

Mehrstufige multiplikative Demodulation

Zunächst wird mit einem auf die Trägerfrequenz f_T abstimmbaren leicht gedämpften Schwingkreis eine schmalbandige Verstärkung (Bandpass) des gewünschten Frequenzbereichs ($f_T - f_{i \max}$ bis $f_T + f_{i \max}$) durchgeführt. Danach wird, je nach zur Verfügung stehender Technologie, die Modulation zu niedrigeren Frequenzen in n Stufen durchgeführt. Also je Stufe ein Modulator gefolgt von einem Tiefpass. Der Modulator selbst ist wie beim Sender ein Multiplizierer. In diesem Beispiel gibt es zur Vereinfachung nur einen ($n = 1$) Modulator. Die für den Modulator erforderliche Trägerfrequenz im Empfänger f_{Te} sollte möglichst gut der Trägerfrequenz des Senders f_T entsprechen, da ansonsten eine Schwebung entsteht. Die Nachregelung von f_{Te} erfolgt heutzutage über eine PLL (Phase locked loop).

Ergebnis des Senders: $f_{m1} = 220 \text{ kHz}$ und $f_{m2} = -240 \text{ kHz}$; $f_T = 230 \text{ kHz}$
(Phase über Vorzeichen dargestellt)

Im Empfänger unter Voraussetzung $f_T = f_{Te}$:

$$f_0 = f_{m1} \pm f_{Te}; \text{ und } f_0 = f_{m2} \pm f_{Te} \text{ (Phase und Amplitude weggelassen)}$$

woraus sich mit obigen Angaben die Frequenzen ergeben: -10 kHz ; 450 kHz ; -10 kHz ; -470 kHz

Alle Frequenzen oberhalb von 10 kHz lassen sich nun einfach über einen Tiefpass ausfiltern.

Im Realfall ist es kaum möglich, die Trägerfrequenz des Senders hinreichend genau zu treffen. Um eine Vorstellung von der erforderlichen Genauigkeit zu bekommen, hier ein Beispiel: Eine Schwebung von 50 Hz entspricht einer Frequenzabweichung von $0,02 \%$ bezogen auf 230 kHz . Um möglichst vielen Problemen der Analogtechnik (muss justiert werden, elektronische Bauteile altern) aus dem Weg zu gehen und Platzbedarf zu minimieren, wird zunehmend auf digitale Signalverarbeitung gesetzt. Im Prinzip wird mit einem schnellen Analog-Digital-Umsetzer direkt das Empfangssignal in Sinus- und Cosinus-Anteil digitalisiert. Der Rest wird rechnerisch vom Signalprozessor geleistet.

Kurzbezeichnungen

- A1 – Amplitudentastung
- A2 – tönende Telegrafie
- A3 – amplitudenmodulierte Übertragung analoger Signale (zum Beispiel von Sprache und Musik)

Amplitudenmodulation in der elektromagnetischen Verträglichkeit

Im Bereich der Elektromagnetischen Verträglichkeit werden bei Störfestigkeitsprüfungen oft amplitudenmodulierte Signale als Störsignale verwendet. Hierbei werden zwei unterschiedliche Bezüge zum entsprechenden unmodulierten Signal verwendet. Legt man den Bezugspegel des modulierten Signals auf dessen Spitzenwert fest, so spricht man von *Abwärtsmodulation*. Legt man hingegen den Bezugspegel auf den Nulldurchgang des aufmodulierten niederfrequenten Nutzsignals fest, so spricht man von *Aufwärtsmodulation*. Als Nutzsignal wird ein Sinuston mit 1 kHz, in selten Fällen alternativ mit 400 Hz oder 1 Hz verwendet. Der Modulationsgrad des Störsignals ist in der Regel 80 %, wodurch der Spitzenwert eines aufwärtsmodulierten Störsignals dem 1,8-fachen des Bezugspegels beträgt.

Bei Prüfungen nach den Basisnormen EN 61000-4-3 bzw. EN 61000-4-6 (Störfestigkeit gegen gestrahlte bzw. leitungsgeführte elektromagnetische Felder) werden aufwärtsmodulierte Störsignale verwendet. Bei Prüfungen nach ISO 11451 bzw. ISO 11452 (Straßenfahrzeuge - elektrische Störungen durch schmalbandige gestrahlte elektromagnetische Energie, Straßenfahrzeuge bzw. Komponenten) abwärtsmodulierte Störsignale. Oberhalb von 800 MHz werden im Bereich der beiden ISO-Normen in der Regel jedoch pulsmodulierte Störsignale verwendet, wodurch durch die AM-Abwärtsmodulation bei beiden Modulationsarten derselbe Spitzenwert des Störsignals erreicht wird.

Weblinks

- Übersicht Modulationsverfahren ^[1] (PDF; 186 kB)
- Übersicht Modulationsverfahren ^[2] (PDF; 328 kB)
- Amplitudenmodulation ^[3] (PDF; 1,83 MB)
- Modulation und Rauschen ^[4] (PDF; 642 kB)

Referenzen

[1] <http://www.woerter.at/dud/stuff/modulationsverfahren.pdf>

[2] http://www.diru-beze.de/modulationen/skripte/SuS_W0506/ModulationsVerfahren_WS0506.pdf

[3] http://www.diru-beze.de/modulationen/skripte/SuS_W0506/Amplituden_Modulation_WS0506.pdf

[4] http://www.diru-beze.de/modulationen/skripte/SuS_W0506/Modulation_Noise_WS_0506.pdf

Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

Amplitudenmodulation *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=95597837> *Bearbeiter:* Ahoerstemeier, Aka, Anhi, Appaloosa, Ary29, Auchwaswisser, Avoided, Backsideficker, Ben-Zin, Bertie, Berskerus, Bierdimplf, Bob Frost, Boehm, Cepheiden, Clemensfranz, Coaster J, Cstim, Daaavid, Don Quichote, Ephraim33, Esco, Fink, GeorgGerber, HaSee, Harald Mühlböck, Head, HenrikHolke, Herbertweidner, Inshanör, J-PG, Jbuechler, Jdiemer, Jed, Körnerbrötchen, Lichtenauer, Manuel Bieling, MichaelDiederich, Mik81, MoatNdb, Nachtagent, Olaf1541, Peter200, Pittimann, Priwo, Proxima, RGR, Ra'ike, Rainald62, Regi51, Reinhard Kraasch, Reseka, RobertLechner, RudolphD, Saehrimmir, Sergio Delinquente, Small Axe, Staro1, Stw, Technokrat ost, Th., Tönjes, Uweschoebel, WOB3333, Warp, Wdwd, Wefo, Wewa, WhiteAvenger, Wiegels, Wst, 131 anonyme Bearbeitungen

Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

Datei:Amfm3-en-de.gif *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Amfm3-en-de.gif> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Berskerus
Datei:amplitudenmodulation3.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Amplitudenmodulation3.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Erico Billich de:Benutzer:Backsideficker
Datei:AMSpektrum 1.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AMSpektrum 1.png> *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Benutzer:Herbertweidner
Datei:MGradTrapez.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MGradTrapez.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Erico Billich de:Benutzer:Backsideficker
Datei:AMZeiger1.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AMZeiger1.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Erico Billich de:Benutzer:Backsideficker
Datei:AMZeiger2.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AMZeiger2.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Erico Billich de:Benutzer:Backsideficker
Datei:Am spek1.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Am spek1.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Appaloosa
Datei:Addition schaltung.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Addition schaltung.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Appaloosa
Datei:AM modulator.png *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Am modulator.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Appaloosa
Datei:AM sender.svg *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AM sender.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported *Bearbeiter:* Appaloosa

Lizenz

Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen bezieht sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenliste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages (http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported) in allgemeinverständlicher Sprache.

- Sie dürfen:
- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
 - Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen
- Zu den folgenden Bedingungen:
- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
 - Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
 - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
 - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
 - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.
- Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

Haftungsbeschränkung

Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies

of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another, but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document

under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2

or any later version published by the Free Software Foundation;

with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.

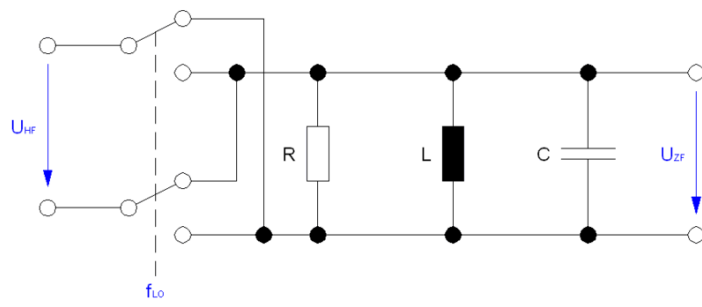


Abbildung 6: (MosFET) Schaltmischer