

Frequenzmodulation

Kapitel 1.4.5 und 1.5.2
Fragen siehe Tabelle

Allgemeines	Demodulation
TE201	TD505
TE204	TD506
TE205	TD507
TE206	TD508
	TD509
	TD510
Bandbreite	Modulation
TB803	TB804
TE202	TD514
TE203	TE208
TE207	TE213
TE210	TE216
TE211	
TE212	
TE214	
TE215	
TE217	

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/849/>



Deutscher Amateur-Radio-Club e.V.
Bundesverband für Amateurfunk in Deutschland

Michael Funke – DL4EAX
Henrik Meierkord – DL3YHM



Allgemeines

TE201

TE204

TE205

TE206

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/796/>

Frequenz**m**odulation (**FM**)

Die **Frequenzmodulation** (FM) ist, ein Modulationsverfahren, bei dem die **Trägerfrequenz** durch das zu übertragende Signal **ausgelenkt** wird.

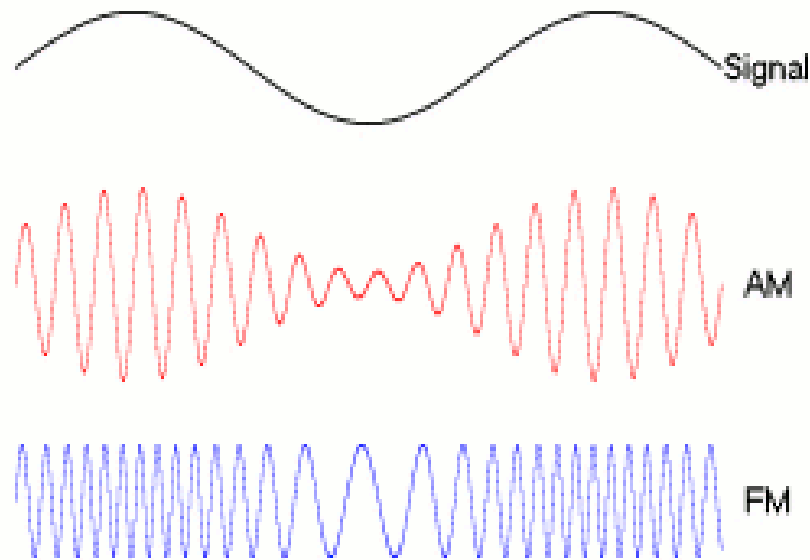
Theoretisch arbeitet die Frequenzmodulation also mit einer unendlichen Anzahl von Seitenfrequenzen.

Vorteile der Frequenzmodulation

Da der **FM-Demodulator** sich in der Amplitude ändernde Störungen (wie Blitzenentladungen oder Zündfunken) nicht erkennt, ist **FM** sehr **störunanfällig**.

AM und FM im Vergleich

Animation



Bildquelle: Von Berserkerus - Eigenes Werk, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5071748>

Bandbreite

TB803

TE202

TE203

TE207

TE210

TE211

TE212

TE214

TE215

TE217

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/797/>

Bandbreite

Je größer diese **Auslenkung** (**Hub**) und die maximale NF-Übertragungsfrequenz, desto größer die **Bandbreite**. Den Hub steuert man mit der **Mikrofonverstärkung** (oder man kann auch **leiser** in das Mikrofon sprechen).

Im UKW Rundfunk wird mit einem Frequenzhub von 75 kHz und einer Audiogrenzfrequenz von 15 kHz gearbeitet. Damit ergibt sich eine benötigte Bandbreite von 180 kHz. Hinzu kommen Stereokanäle und Dienste wie RDS.

Im Amateurfunk setzt man **Schmalband-FM** mit einem Hub von maximal 3 kHz ein. Durch die niedrigere Audiogrenzfrequenz ergibt sich eine benötigte Bandbreite von nur 6 kHz.

Mathematische Zusammenhänge

Der Modulationsindex ist das Verhältnis von Hub zu maximaler Modulationsfrequenz.

$$m = \frac{\Delta f T}{f_{mod}}$$

FM Bandbreite nach Carson (bei m größer 0,5):

$$B = 2 \cdot (\Delta f T + f_{mod \max})$$

Bei m kleiner 0,5 rechnet man mit der Formel für AM:

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

Mathematische Zusammenhänge

Beispiel: Ein Träger von 145 MHz wird mit der NF-Frequenz von 2 kHz und einem Hub von 1,8 kHz frequenzmoduliert.

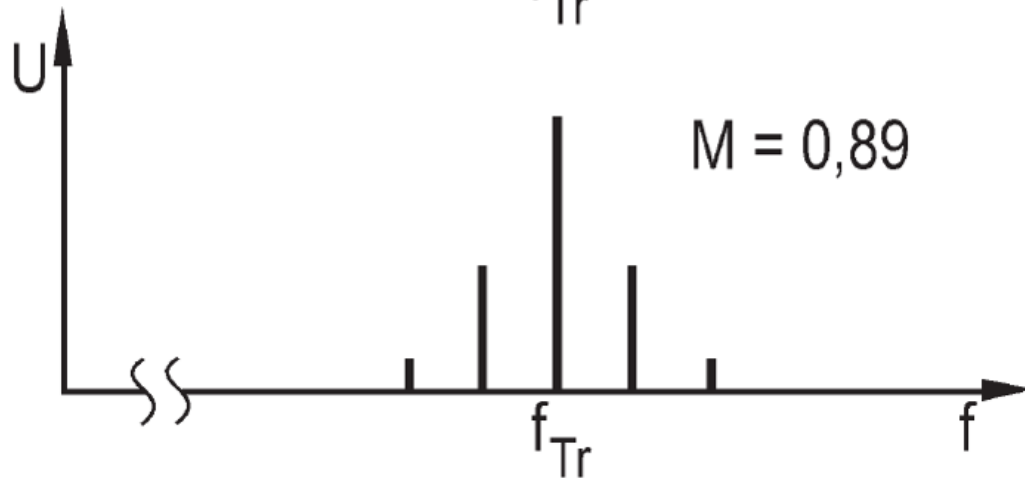
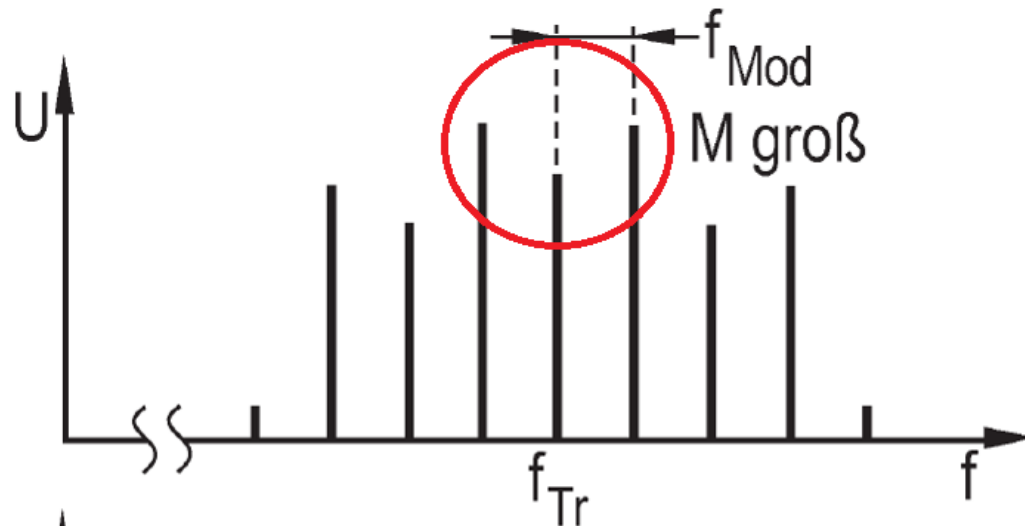
Welche Bandbreite hat das modulierte Signal?

$$m = \frac{\Delta f T}{f_{mod}} = \frac{1,8 \text{ kHz}}{2 \text{ kHz}} = 0,9$$

FM Bandbreite nach Carson (bei m größer 0,5):

$$B = 2 \cdot (\Delta f T + f_{mod \max}) = 2 \cdot (1,8 \text{ kHz} + 2 \text{ kHz}) = 7,6 \text{ KHz}$$

Ansicht im Spektrum



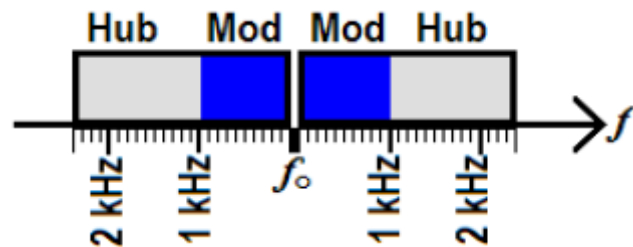
Bei M größer 1 sehen wir ein breiteres Spektrum als bei M kleiner 1.

Eine Besonderheit ist, dass die Amplitude des Trägers kleiner als die Seitenbänder werden kann.

Bildquelle: Hans-Hellmuth Cuno, DL2CH
Vorbereitung auf die Amateurfunkprüfung
CD Beigabe für Ausbilder, DARC Verlag 2002

Die 2,4 kHz Lücke im Spektrum

Bei einem Modulationsindex von 2,4 erscheint die erste Träger-Nullstelle.



Bildquelle: Lichtblick Klasse A von DL9HCG
<http://www.dl9hcg.a36.de/>

Das hat für uns in der Praxis keine Bedeutung, kann aber zu Kalibrierung der Hubeinstellung genutzt werden.

Demodulation

TD505

TD506

TD507

TD508

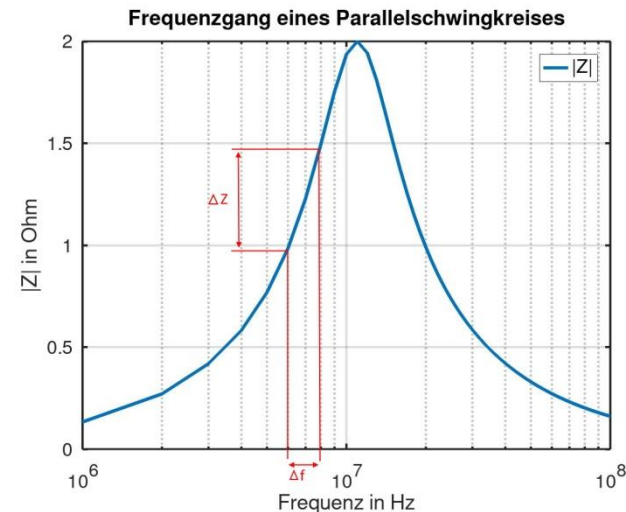
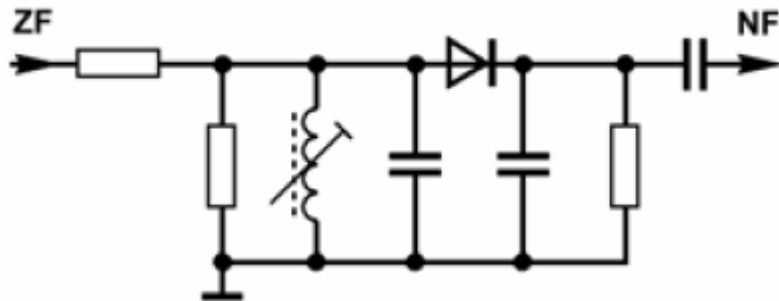
TD509

TD510

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/798/>

FM Demodulator

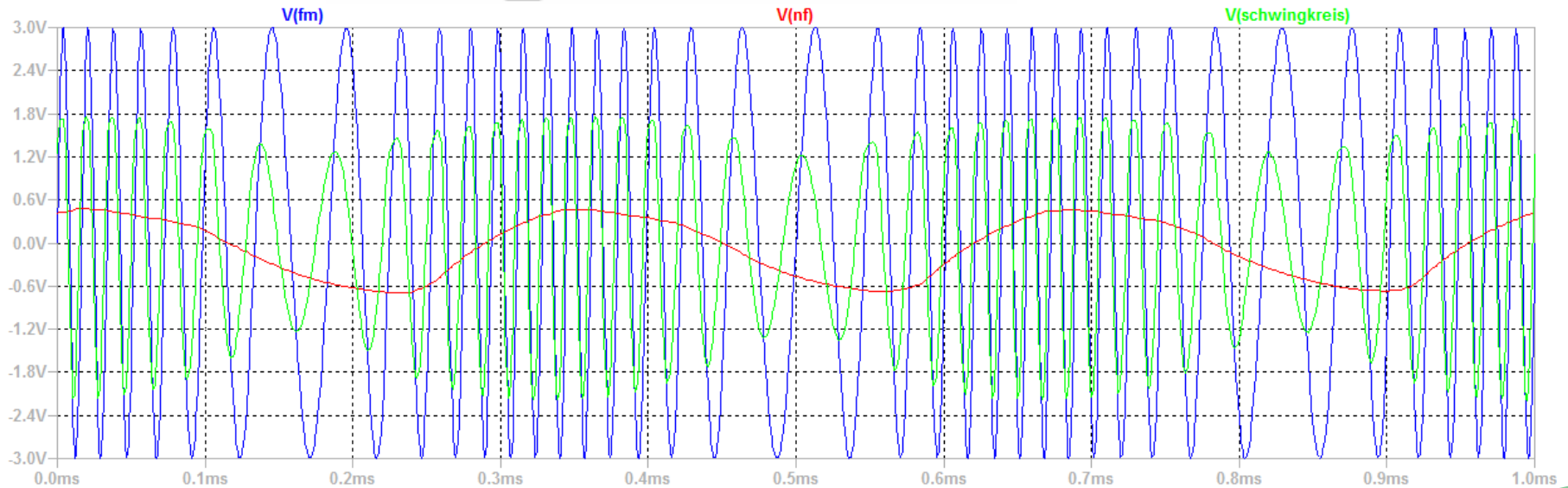
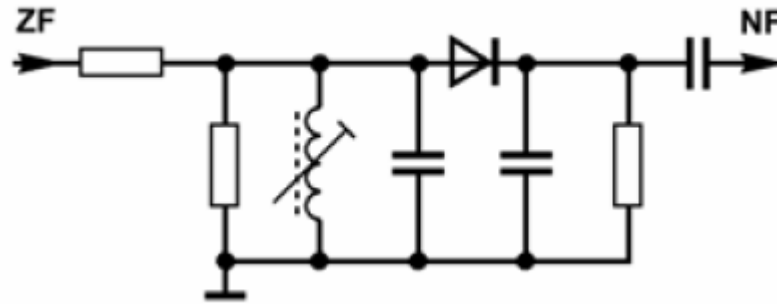
Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen **Flankendiskriminator** zur Demodulation von FM-Signalen. Die ZF wird auf einen Schwingkreis geleitet, der auf eine feste Frequenz abgeglichen ist. Dadurch sieht jede Frequenz bei der FM eine andere Impedanz, sprich bei manchen Frequenzen ist der Strom durch den Schwingkreis höher, oder niedriger. Dadurch wird eine FM -> AM Wandlung gemacht. Die entstandene AM wird dann mit einem nachfolgenden Hüllkurvendetektor (Diode) demoduliert.



Die Resonanzfrequenz des Kreises wird über oder unter die max. FM Frequenz gelegt. Dadurch arbeitet der Demodulator auf eine möglichst linearen Kennlinie.

FM Demodulator

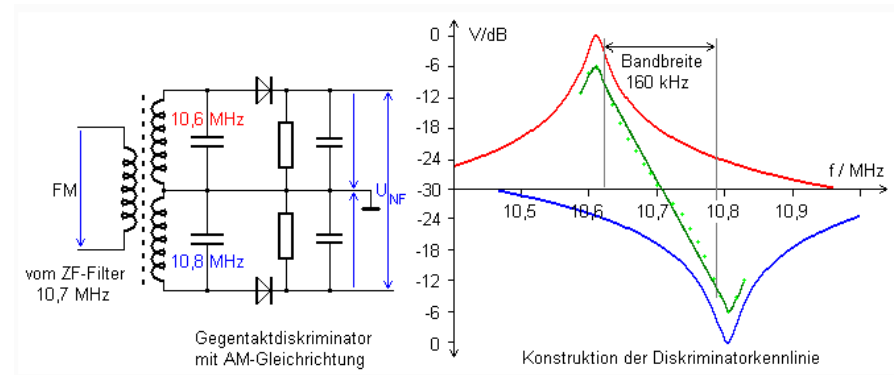
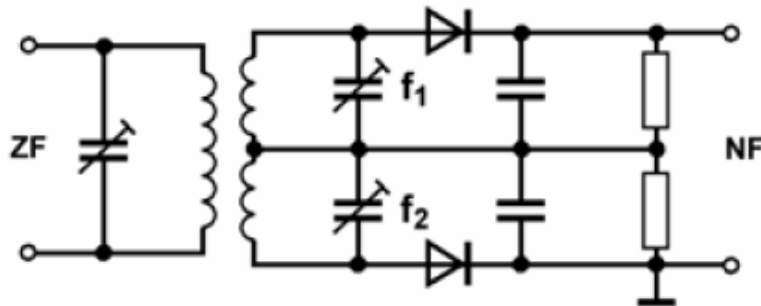
Hier nochmal die zugehörigen simulierten Signalverläufe.



FM Demodulator

Bei dem **Gegentakt-Flankendiskriminator** wird die ZF auf zwei Schwingkreise geleitet. Jeder der Kreise ist auf eine andere Frequenz abgeglichen.

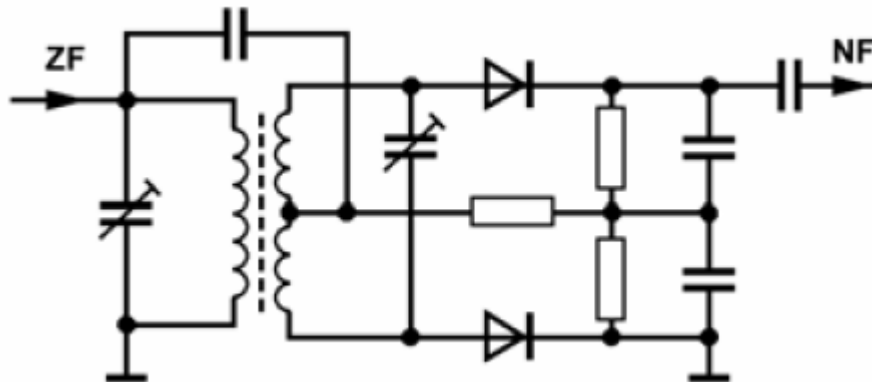
Sie arbeiten ähnlich wie eine Gegentakt-Endstufe. Ihre Nichtlinearitäten kompensieren sich dadurch zu großen Teilen.



FM Demodulator

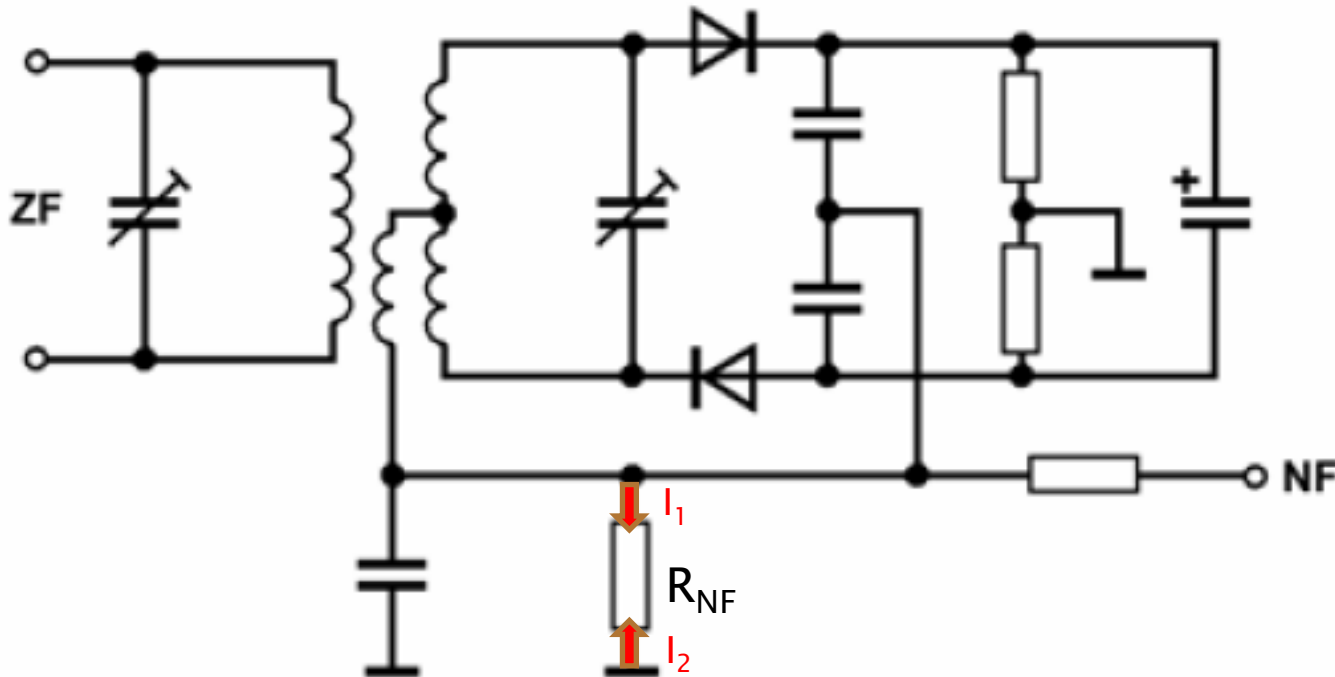
Bei einem **Phasendiskriminator** werden die Frequenzänderungen in Phasenänderungen umgewandelt, um dann später wieder in AM umgewandelt zu werden.

Als Eingang dient hier ein Bandpassfilter der auf die Mittenfrequenz der FM abgeglichen ist. Die an der sekundären Spulenseite entstehenden Spannungen sind gleich groß und gegenphasig. Der Koppelkondensator leitet die NF ebenfalls auf die Mittenanzapfung. Bei Mittenfrequenz verhält sich der Aufbau rein ohmsch. Verändert sich die Frequenz verschiebt sich die Phasenlage über den beiden sekundären Spulen (wegen des Kondensators) und die Spannung über den Dioden verändert sich.

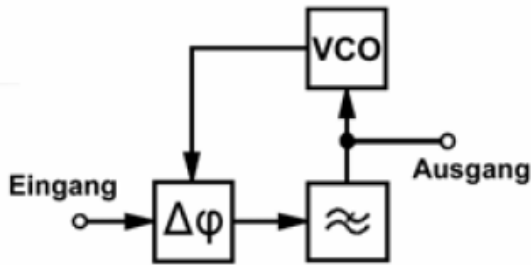


FM Demodulator

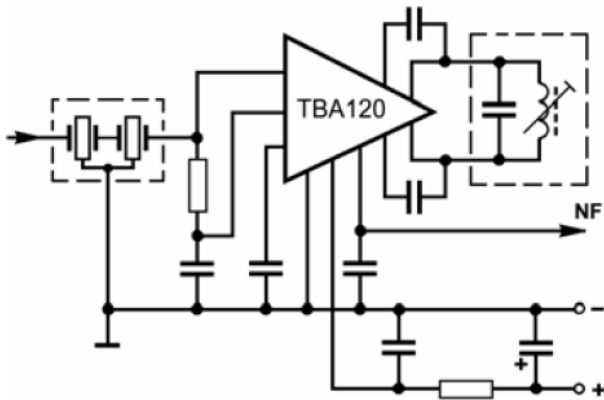
Wichtigstes Hauptmerkmal eines **Ratiodetektors** ist das die Dioden hier antiparallel geschaltet sind. Die NF entsteht dadurch das die Ströme in entgegengesetzter Richtung durch den Widerstand R_{NF} fließen. Bei der Mittenfrequenz sind diese Ströme gleich groß und die NF Spannung ergibt sich zu 0.



FM Demodulator



Bei einem **PLL-FM Demodulator** wird die Phase eines VCOs und die Phase des FM Signals verglichen. Eine Regelung versucht die Phasen immer auszugleichen. Daher wird der VCO mit einer Regelspannung nachgeregelt. In dieser Regelspannung findet sich das demodulierte NF Signal wieder.



Um diese Schaltung zu verstehen hilft nur ein Studium des Datenblattes des TBA120 ICs. Es handelt sich um einen **Begrenzerverstärker** mit FM Diskriminator. Ein Begrenzerverstärker wird eingesetzt um bei FM Amplitudenstörungen „abzuschneiden“. Da bei FM die Information nicht in der Amplitude steckt, ist dies ohne Einbußen machbar.



Modulation

TB804

TD514

TE208

TE213

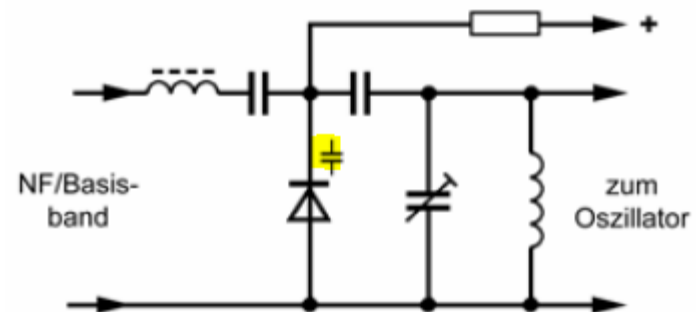
TE216

<https://afutest.ewers.net/tests/DL4EAX/799/>

FM Modulator

Über einen Kondensator wird eine **Kapazitätsdiode** zum Schwingkreis eines Oszillators parallelgeschaltet. Die Kapazitätsdiode enthält eine Gleichspannung in Sperrrichtung, welche von der Wechselspannung des Mikrofons überlagert wird.

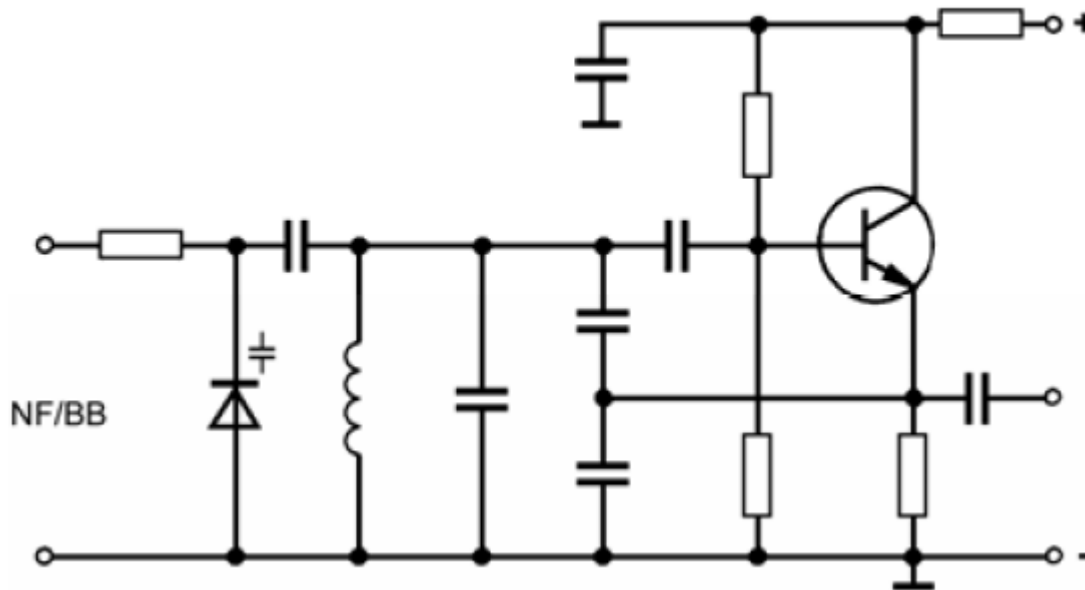
Ändert sich die Amplitude der Spannung vom Mikrofon, ändert sich die Frequenz des Oszillators. Die Empfindlichkeit des Modulators wird in kHz/V angegeben.



FM Modulator

Ein FM Modulator lässt sich also immer gut an der Kapazitätsdiode erkennen.

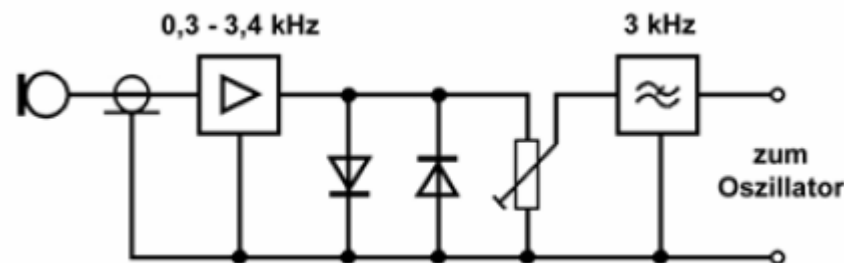
Diese verändert Ihre Kapazität abhängig von der angelegten Spannung. Dadurch wird die Resonanzfrequenz des Schwingkreises verändert und es entsteht FM.



Begrenzung des Hubes

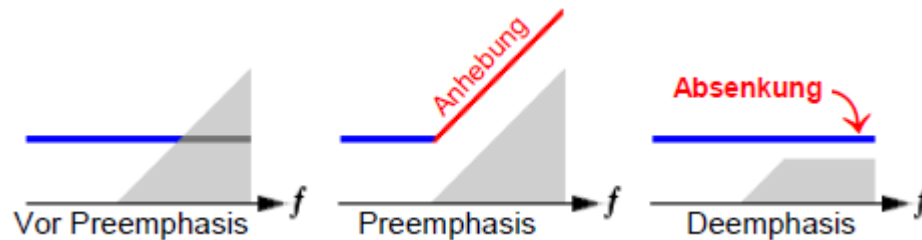
Das vom Mikrofonverstärker kommende Signal wird mit zwei **antiparallel geschalteten Dioden** begrenzt und kann mit dem Potentiometer eingestellt werden.

Über einen Tiefpass mit 3 kHz Grenzfrequenz wird es dem Oszillator zugeführt.



Preemphasis und Deemphasis

Rauschsignale (grau) haben, eine hohe Tonfrequenz. Preemphasis ist eine gesendete Höhengvoranhebung. Um das FM-Rauschen zu verringern, wird im Empfänger eine sogenannte Deemphasis (Absenkung) eingesetzt.



Bildquelle: Lichtblick Klasse A von DL9HCG
<http://www.dl9hcg.a36.de/>

Die vom Sender lauter gesendeten Höhen, werden im Empfänger wieder abgesenkt, aber um den gleichen Level auch das Rauschen. Die Höhen werden mit diesem Schaltungstrick aus dem Rauschen herausgehoben.

Das war schon alles!

Wer mehr wissen will, muss fragen!

Initiales Autorenteam:

Henrik Meierkord - DL3YHM

Michael Funke - DL4EAX

**Änderungen durch:**

Hier bitte Ihren Namen eintragen, wenn Sie Änderungen vorgenommen haben.

Sie dürfen:

Teilen: Das Material in jedwedem Format oder Medium vervielfältigen und weiterverbreiten.

Bearbeiten: Das Material verändern und darauf aufbauen.

Unter folgenden Bedingungen:

Namensnennung: Sie müssen angemessene Urheber- und Rechteangaben machen, einen Link zur Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Diese Angaben dürfen in jeder angemessenen Art und Weise gemacht werden, allerdings nicht so, dass der Eindruck entsteht, der Lizenzgeber unterstütze gerade Sie oder Ihre Nutzung besonders.

Nicht kommerziell: Sie dürfen das Material nicht für kommerzielle Zwecke nutzen.

Weitergabe unter gleichen Bedingungen: Wenn Sie das Material verändern oder anderweitig direkt darauf aufbauen, dürfen Sie Ihre Beiträge nur unter derselben Lizenz wie das Original verbreiten.

Der Lizenzgeber kann diese Freiheiten nicht widerrufen solange Sie sich an die Lizenzbedingungen halten.

Details: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>