

Frequenzmodulation:

Die FM ist eine Modulation, in der die Information in der Frequenz des Signals enthalten ist.

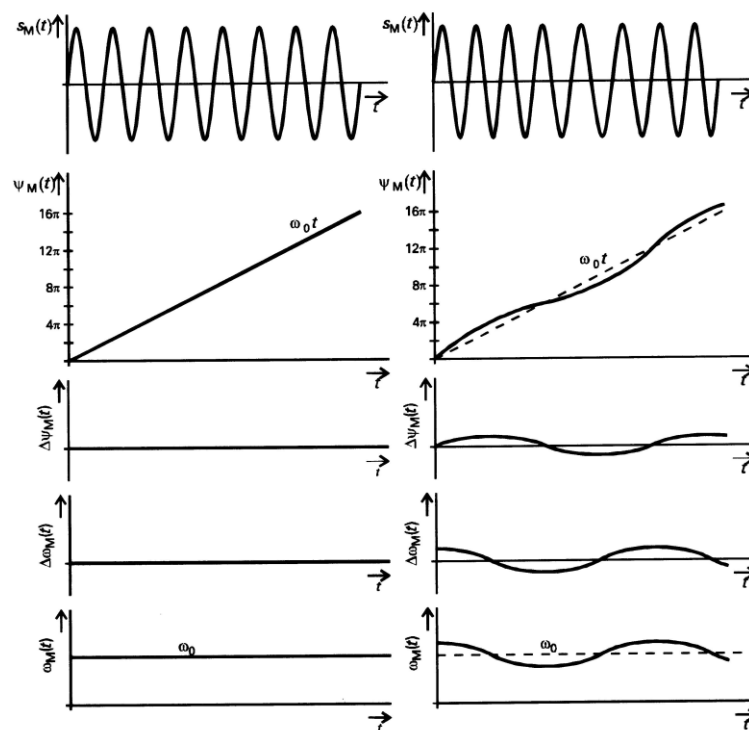
Modulierte Trägerschwingung: $s_M(t) = \hat{s}_0 * \cos(\omega_0 t + \eta * \sin \omega_s t)$

Frequenzhub: $\Delta\omega = k * \hat{s}_s$

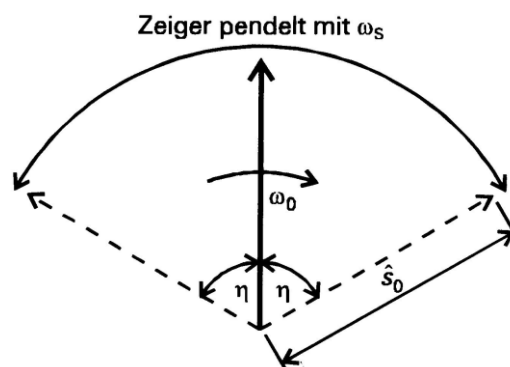
Modulationsindex: $\eta = \frac{\Delta\omega}{\omega_s} = \frac{k \hat{s}_s}{\omega_s}$

Vorteile gegenüber der Amplitudenmodulation:

- Höherer Dynamikumfang
- Weniger anfällig gegenüber Störungen



Zeigerdiagramm:



Spektrum:

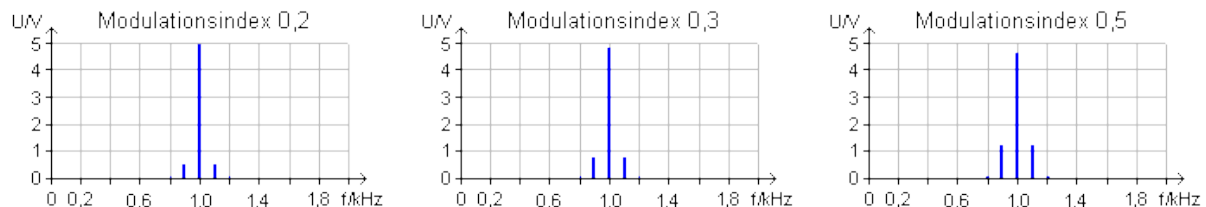
$$s_M(t) = \hat{s}_o * \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\eta) * \cos[(\omega_o + n\omega_s)t]$$

(J_n ist die Bessel-Funktion n-ter Ordnung)

$$= \hat{s}_o * \{ \begin{aligned} &J_0(\eta) \cos \omega_o t \\ &+ J_1(\eta) \cos[(\omega_o + \omega_s)t] + J_{-1}(\eta) \cos[(\omega_o - \omega_s)t] \\ &+ J_2(\eta) \cos[(\omega_o + 2\omega_s)t] + J_{-2}(\eta) \cos[(\omega_o - 2\omega_s)t] \\ &+ J_3(\eta) \cos[(\omega_o + 3\omega_s)t] + J_{-3}(\eta) \cos[(\omega_o - 3\omega_s)t] \\ &+ J_4(\eta) \cos[(\omega_o + 4\omega_s)t] + J_{-4}(\eta) \cos[(\omega_o - 4\omega_s)t] + \dots \end{aligned} \}$$

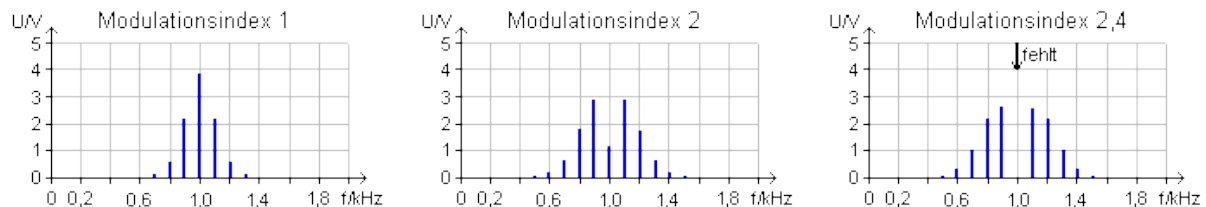
Da die Summe ins unendliche geht, werden üblicherweise Amplituden, die weniger als 10% der Trägeramplitude betragen, nicht mehr beachtet.

Durch die Bessel-Funktion ergeben sich beispielsweise folgende Spektren:



FM-Fourierspektren mit einer Trägerfrequenz von 1000 Hz, 5V und Sinussignal von 100 Hz

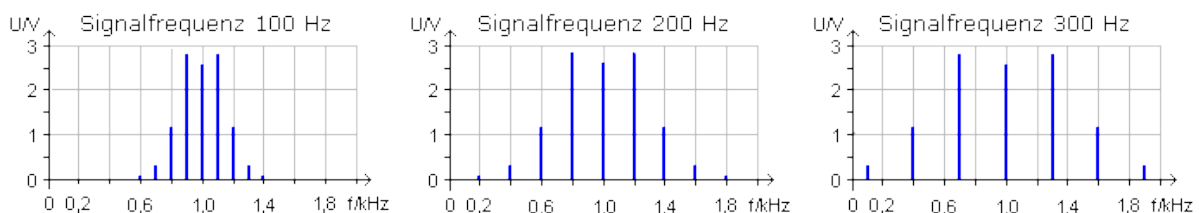
Bei $\eta < 0,5$ ähnelt das Spektrum dem der AM, weiters ist zu beachten dass das Variieren von η nur die Amplituden verändert.



FM-Fourierspektren mit einer Trägerfrequenz von 1000 Hz, 5V und Sinussignal von 100 Hz

Ab $\eta > 0,5$ treten weitere Seitenfrequenzen im Abstand $n * f_s$ auf, die Bandbreite nimmt mit η zu.

Je höher der Modulationsindex η wird, desto breiter wird das Spektrum und desto kleiner werden die Amplituden insgesamt.



FM-Fourierspektren mit einer Trägerfrequenz 1 kHz, 5 V und einem Modulationsindex 1,5

Beim Verändern der Signalfrequenz (bei konstantem η) wird der Abstand der Spektrallinien verändert, die Amplituden und die Anzahl der Spektrallinien bleibt jedoch konstant.

Die Bandbreite der FM lässt sich wie folgt definieren:

Bei $\eta \leq 1$:

$$B_{HF} = 2 * B_{BB}$$

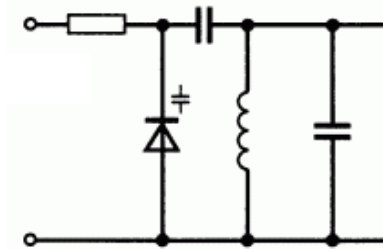
Bei $\eta > 1$:

$$B_{HF} = 2(\eta + 1) * B_{BB}$$

Typische Parameter von Frequenzmodulierten Systemen:

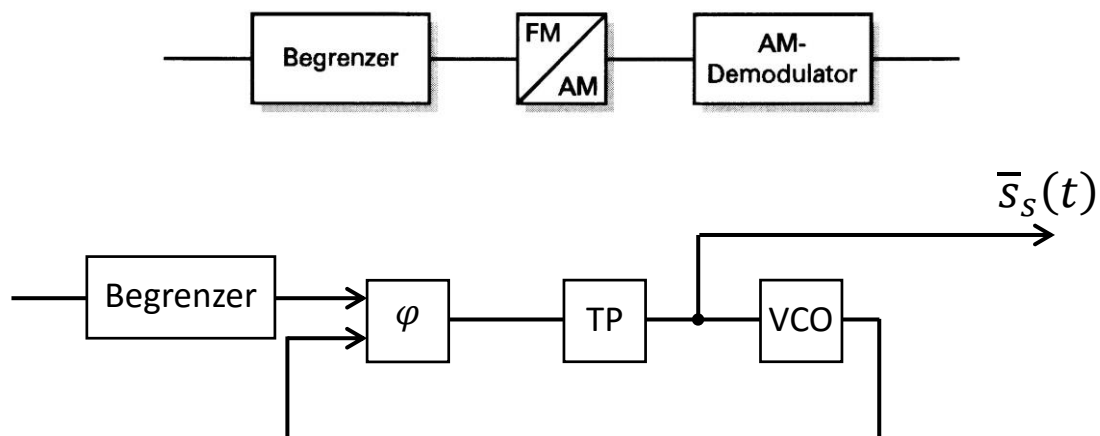
System	Trägerfrequenz f_0	Frequenzhub $\Delta f = \Delta\omega/2\pi$	Basisband	Mod.-Index η
Rundfunk (UKW)	(87,5 ... 108) MHz	± 75 kHz	30 Hz ... 15 kHz	5 ... 2500
TV-Richtfunk	70 MHz (ZF)	± 4 MHz	30 Hz ... 5 MHz	0,8 ... 133333

Modulator:

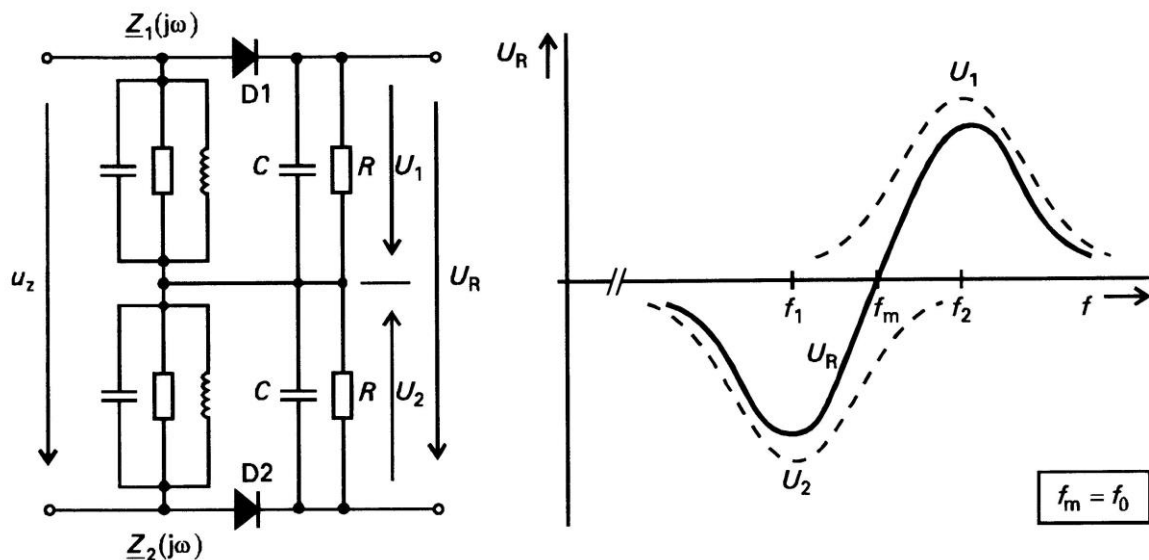


Die Kapazitätsdiode ändert ihre Kapazität entsprechend der Eingangsspannung, wodurch der Schwingkreis seine Frequenz verändert.

Demodulator:



Gegentakt-Flankendemodulator:



Eingangsseitig wandelt ein etwas verstimmter Schwingkreis das FM-Signal in ein AM-Signal um, welches anschließend von einem Hüllkurvendemodulator demoduliert wird. Dies wird gespiegelt erneut aufgebaut, um auch die negativen Signale darstellen zu können.

Preemphasis / Deemphasis:

Das Rauschen in einem hochfrequenten Übertragungskanal nimmt mit steigender Frequenz zu. Deswegen wird das Signal vor dem Senden bei höheren Frequenzen mehr verstärkt als bei niedrigeren, was zu einem günstigen, in etwa gleichbleibendem Signal-zu-Rausch Abstand führt.

Empfangsseitig wird diese lineare Verzerrung des Signals wieder rückgängig gemacht und das Signal kann wieder original wiedergegeben werden.

