

# Grundlagen der Empfangstechnik

## Teil 3

*Im dritten Teil dieser Artikelserie wird das Prinzip der Frequenzmodulation beschrieben.*

### **Die Frequenzmodulation**

Um den steigenden Anforderungen der Rundfunkhörer nach besserer und vor allem störärmerer Übertragung entgegenzukommen, wurde in der drahtlosen Übertragungstechnik die Frequenzmodulation (FM) eingeführt.

Ein wesentliches Merkmal dieser Modulationsart ist die Tatsache, daß die Höhe der Amplitude der Trägerschwingung (Sendefrequenz) nicht mehr in die Informationsübertragung eingeht. Der enorme Vorteil liegt sofort auf der Hand: Feldstärke-schwankungen am Empfangsort, die auf unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen zurückzuführen sind sowie amplitudenbeeinflussende Störsignale haben keinen bzw. einen nur noch sehr geringen Einfluß auf das Empfangssignal.

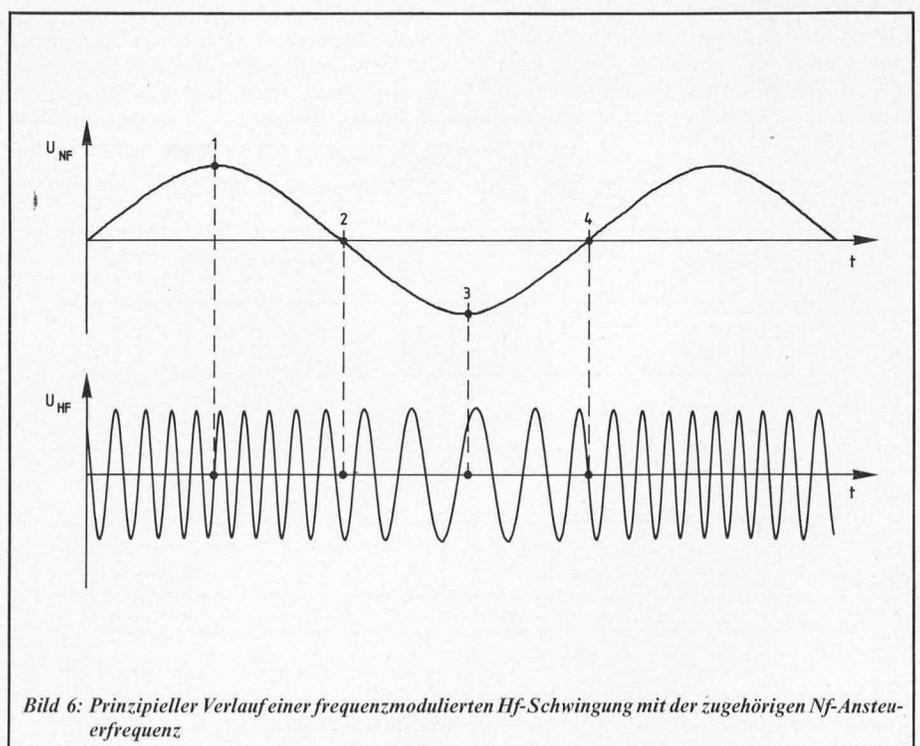
Da die Sender-Trägerfrequenz-Amplitude nicht mehr zur Informationsübertragung zur Verfügung steht, muß sowohl die Lautstärke des zu übertragenden NF-Signals (Amplitude) als auch die Frequenz (Kurveform) des betreffenden Signals in eine andere physikalische Größe umgesetzt werden, deren Übertragung zudem möglichst störunempfindlich erfolgen sollte.

Bei der Frequenzmodulation steckt die Information zur Amplitude (Lautstärke) des zu übertragenden NF-Signals im Fre-

quenzhub. Je größer die Lautstärke, desto höher ist die Frequenzänderung um die Mittenfrequenz. Beim UKW-Rundfunk liegt der maximale Frequenzhub bei  $\pm 75$  kHz, d. h. bei größtmöglicher Lautstärke schwankt die Frequenz des Senders sowohl um 75 kHz nach oben als auch um 75 kHz nach unten, jeweils auf die Mittenfrequenz bezogen. Wird dieser sogenannte Frequenzhub kleiner, sinkt automatisch die Lautstärke am Empfänger.

Die Information der zu übertragenden NF-Frequenz steckt in der Wechselgeschwindigkeit, mit der die Sendefrequenz um die Mittenfrequenz schwankt. Bei einer zu übertragenden NF-Ansteuerfrequenz von z. B. 1000 Hz mit maximal möglicher Lautstärke würde ein UKW-Sender mit einer Mittenfrequenz von 100,00 MHz 1000mal in der Sekunde seine Frequenz zwischen 100,075 MHz und 99,925 MHz wechseln. Bei sehr geringer Lautstärke und gleicher Frequenz (1 kHz) wäre der Frequenzhub z. B. nur  $\pm 5$  kHz, d. h. 1000mal pro Sekunde wechselt die Frequenz zwischen 100,005 MHz und 99,995 MHz.

Die Modulation entsprechender Sender kann z. B. auf einfache Weise über eine Kapazitätsdiode erfolgen. Diese Diodenart ändert bekanntlich ihre Kapazität mit der Höhe der anliegenden Spannung. Hierdurch besteht die Möglichkeit, eine span-



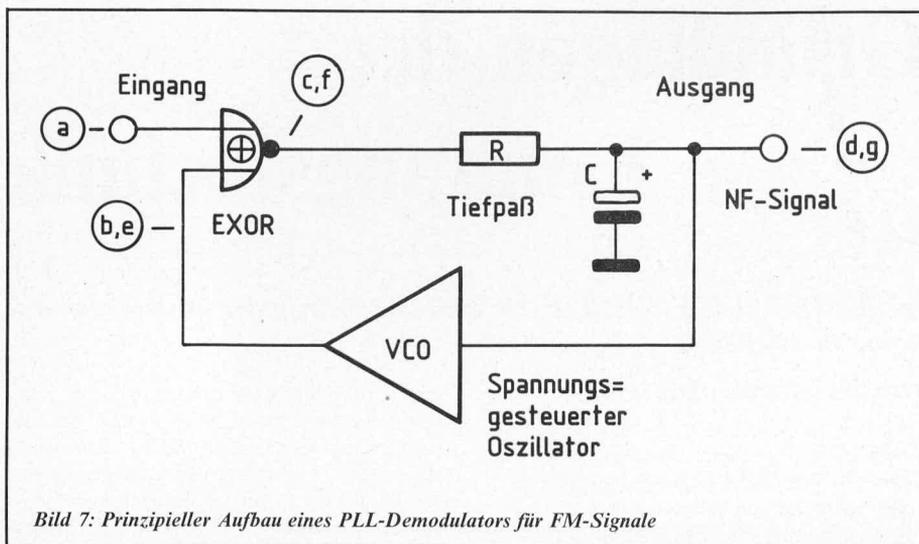


Bild 7: Prinzipieller Aufbau eines PLL-Demodulators für FM-Signale

nungsgesteuerte Frequenzmodulation vorzunehmen, denn die Kapazitätsänderung der Diode bewirkt eine Frequenzänderung des frequenzbestimmenden Schwingkreises in der Senderstufe. Bild 6 zeigt den prinzipiellen Verlauf einer frequenzmodulierten Hf-Schwingung mit der zugehörigen Nf-Ansteuerfrequenz.

Auf dem Wege der drahtlosen Übertragung vom Sender zum Empfänger unterliegt das Trägersignal den verschiedensten Umwelt- und Störeinflüssen. Besonders im Hinblick auf die Amplitude treten weitgehend lineare, mit dem Abstand zwischen Sender und Empfänger zusammenhängende Feldstärkeverluste auf, jedoch auch Schwankungen, die z. B. auf unterschiedliche Ausbreitungen in der Atmosphäre zurückzuführen sind. Der Frequenzhub (Lautstärkeinformation) sowie die Wechselgeschwindigkeit des Frequenzhubes (NF-Frequenz-Information) unterliegen nur sehr eingeschränkt äußeren Störeinflüssen, so daß sich eine hohe Qualität der Signalübertragung erwarten läßt.

Zur Demodulation stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, von denen nachfolgend die PLL-Demodulation (phase-locked-loop) im einzelnen beschrieben werden soll. Dieses Verfahren stellt beson-

ders anschaulich die prinzipielle Funktionsweise einer FM-Demodulation dar.

Bild 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines PLL-Demodulators für FM-Signale. Das Hochfrequenz-Trägersignal wird dem einen Eingang eines Exklusiv-Oder-Gatters zugeführt, dessen Ausgang auf ein Tiefpaß-Filter (R/C-Glied) arbeitet zur Abtrennung des HF- vom NF-Signal. Der Ausgang des Tiefpasses steuert einen VCO (voltage controlled oscillator = spannungsgesteuerter Oszillator), dessen Ausgang auf den zweiten Eingang des Exklusiv-Oder-Gatters geführt ist. Dieses Gatter vergleicht die beiden Signale miteinander, wobei in Abbildung 8 die verschiedenen in der Schaltung auftretenden Signalformen dargestellt sind.

Liegt an Eingang 1 ein FM-Signal gemäß Kurve „a“ und am Eingang 2 gemäß Kurve „b“, so steht am Ausgang des Exklusiv-Oder-Gatters eine Frequenz der Kurvenform „c“ an. Nach Durchlaufen des Tiefpaß-Filters erscheint die Signalform „d“. Der Einfachheit halber wollen wir einmal annehmen, daß es sich bei dieser Konstellation um einen stabilen Arbeitspunkt handelt, d. h. die Ausgangsfrequenz des spannungsgesteuerten Oszillators entspricht exakt der Eingangsfrequenz, lediglich mit einer Phasenverschiebung von 90 Grad.

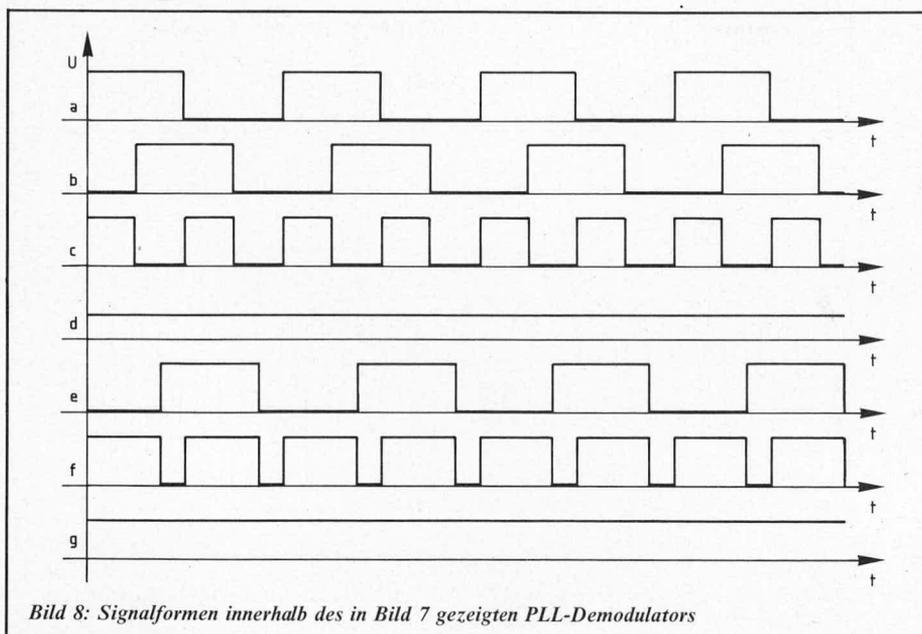


Bild 8: Signalformen innerhalb des in Bild 7 gezeigten PLL-Demodulators

Steigt nun die Eingangsfrequenz an (aufgrund der FM-Modulation), verschiebt sich die Phase zwischen Eingangsfrequenz und Ausgangsfrequenz des VCOs, d. h. an den beiden Eingängen des Exklusiv-Oder-Gatters erscheinen die zu vergleichenden Kurvenformen „a“ und „e“. Das Resultat ist die Ausgangskurve „f“. Wir sehen, daß sich hierbei das Tastverhältnis verschoben hat, so daß sich nach Durchlaufen des Tiefpaß-Filters eine erhöhte Ausgangsspannung gemäß „g“ einstellt. Diese höhere, zur Steuerung des Oszillators dienende Spannung, bewirkt eine Erhöhung der Frequenz des VCOs, und zwar so weit, bis die beiden Eingangsfrequenzen am Exklusiv-Oder-Gatter wieder gleich sind.

In der Praxis bedeutet vorstehend beschriebenes Verhalten, daß die Oszillatorfrequenz der FM-Eingangsfrequenz nachgeführt wird. Die Steuerspannung des VCOs ist hierbei ein direktes Maß für das aufmodulierte NF-Signal. Das R/C-Glied ist nun so zu dimensionieren, daß die VCO-Steuerspannung dem zu demodulierenden NF-Signal ohne Verzögerung folgen kann, andererseits jedoch die HF-Trägerfrequenz nicht durchläßt.

Wie aus Bild 7 des weiteren zu entnehmen ist, werden zur Verarbeitung bei diesem Verfahren nur digitale Rechtecksignale herangezogen, d. h. die Trägerfrequenz wird vorher über einen Begrenzer-Verstärker geführt. Hierdurch ergibt sich eine konstante Amplitude unabhängig von der Eingangsfeldstärke. Störungen, wie sie z. B. auch von Zündfunken herrühren, werden auf diese Weise eliminiert.

Für besonders hochwertige Übertragungen (z. B. UKW-Rundfunk, drahtlose Mikrofone u.s.w.) wird die sog. FM-Breitbandmodulation verwendet, die mit Frequenzhuben von 40 bis 70 kHz arbeitet. Daneben steht die FM-Schmalbandmodulation, bei der Frequenzhuben zwischen 2 und 10 kHz je nach Breite des Übertragungskanals üblich sind. In jüngster Vergangenheit ist hier der CB-Funk ein populäres Beispiel. Ursprünglich mit AM-Modulation begonnen, werden in CB-Funkgeräten zunehmend frequenzmodulierte Gerätesysteme eingesetzt – zugunsten einer besseren Übertragungsqualität.

Der geringere Frequenzhub ermöglicht eine dichtere Kanalbelegung, allerdings zu Lasten des Dynamikumfangs. Hierbei mußte jedoch ein Kompromiß zwischen einer möglichst hohen Kanalzahl bei geringer Bandbreite und Übertragungsqualität gefunden werden. Beim CB-Funk steht jedoch die gute Sprachverständlichkeit und nicht eine hochwertige Musikübertragung im Vordergrund, deswegen ist die Entscheidung sinnvollerweise auf die FM-Schmalbandmodulation gefallen.

Da aber selbst bei der FM-Schmalbandmodulation ein größeres Übertragungsband erforderlich ist als bei AM-Modulation, kommt die Frequenzmodulation vorwiegend nur in höheren Frequenzbändern zur Anwendung.

Im vierten Teil dieser Artikelserie stellen wir Ihnen die Schaltung eines FM-Empfängers vor, wie sie in der Praxis ausgeführt werden kann.