

Modulationsarten – Information auf Träger aufbringen

Ausführliche Zusammenfassung

Der Professor erklärte, dass **Modulation** im Kern immer bedeutet, eine **Information** (Sprache, Musik, Daten) auf eine **hochfrequente Trägerschwingung** aufzubringen. Diese Trägerschwingung dient als „Transportmittel“, um das Signal über größere Entfernungen zu senden, während das ursprüngliche Informationssignal (z. B. Sprache mit 3 kHz Bandbreite) allein nicht weit kommen würde.

1. Warum überhaupt Modulation?

Unmodulierte Signale mit niedriger Frequenz (z. B. Audiosignale) könnten keine brauchbare Antenne nutzen: - Eine Antenne ist nur effizient, wenn ihre Länge in der Größenordnung einer halben Wellenlänge liegt. - Ein 3 kHz-Signal hätte eine Wellenlänge von etwa 100 km – völlig unpraktisch.

Deshalb wird das Signal auf eine hohe Trägerfrequenz „gehoben“, z. B. 100 MHz beim UKW-Rundfunk.

Dadurch:

- wird die Antenne technisch realisierbar,
 - lassen sich viele Sender durch Frequenztrennung unterscheiden,
 - kann man das Signal besser filtern und verstärken.
-

2. Analoge Modulationsarten

Bei analogen Modulationen wird ein kontinuierliches Signal auf den Träger aufgebracht.

a) Amplitudenmodulation (AM)

- Die **Amplitude** der Trägerschwingung wird proportional zur Nachricht verändert.
- Trägerfrequenz bleibt konstant, nur ihre Stärke schwankt.

Formelhaft: $s(t) = [1 + m(t)] \cdot \cos(\omega_c t)$

Eigenschaften:

- Einfach zu erzeugen und zu empfangen.
- Störanfälliger gegen Rauschen (weil Störungen ebenfalls die Amplitude verändern).

- Geringer Wirkungsgrad (viel Energie im Träger).

Beispiel: Mittelwellen- und Langwellenrundfunk.

Der Professor kommentierte:

“Die Amplitudenmodulation ist technisch simpel, aber in einer lauten Umgebung ineffizient - jedes Rauschen ändert sofort die Signalstärke.”

b) Frequenzmodulation (FM)

- Hier wird die **Frequenz** des Trägers verändert, abhängig vom Nachrichtensignal.
- Die Amplitude bleibt konstant.
- Informationsgehalt steckt in den **Frequenzabweichungen**.

Eigenschaften:

- Deutlich robuster gegen Störungen, weil Rauschen vor allem die Amplitude betrifft.
- Höherer Bandbreitenbedarf.
- Besseres Signal-to-Noise-Ratio bei schwachem Empfang.

Beispiel:

„Wenn Sie ein Autoradio hören und das Signal leicht verrauscht, merken Sie, dass FM trotzdem noch klar bleibt – das ist der Vorteil dieser Modulationsart.“

c) Phasenmodulation (PM)

- Die **Phase** der Trägerschwingung wird in Abhängigkeit vom Nachrichtensignal verändert.
- Eng verwandt mit FM, da Frequenz = zeitliche Ableitung der Phase.

Eigenschaften:

- Wird meist in digitalen Systemen genutzt (z.B. PSK).
 - Analoge PM ist selten
-

3. Digitale Modulationsarten

Bei digitalen Verfahren werden **diskrete Symbole** (0, 1 oder Symbolmuster) auf den Träger codiert. Diese Verfahren sind die Grundlage aller modernen Systeme (WLAN, LTE, 5G).

a) **ASK (Amplitude Shift Keying)**

- Digitale Version vom A:: Träger ist an ("1") oder aus ("0").
- Einfach, aber sehr störanfällig gegen Amplitudenrauschen.

b) **FSK (Frequency Shift Keying)**

- Digitale Version von FM: Zwei (oder mehrere) Frequenzen repräsentierten Bitzustände.
- Robust, weit verbreitet in Funkfernbedienungen, alten Modems, RFID.

c) **PSK (Phase SHift Keying)**

- Die Phase der Trägerschwingung wird in diskreten Stufen geändert.
- **BPSK**: 0° = Bit 0, 180° = Bit 1
- **QPSK**: vier Phasen (00, 01, 10, 11).
- Sehr effizient, relativ robust.

d) **QAM (Quadrature Amplitude Modulation)**

- Kombination aus Amplituden- und Phasenänderung.
- Zwei Träger (Quadratur = 90° Phasenversatz) werden überlagert.
- Ermöglicht viele Zustände pro Symbol: 16-QAM, 64-QAM; 256-QAM etc.
- Höhere Datenrate, aber empfindlicher gegen Rauschen.

Der Professor erwähnte: "QAM ist im Prinzip wie zwei PSK-Signale, die um 90 Grad verschoben gleichzeitig gesendet werden - mehr Information pro Symbol, aber mehr Empfindlichkeit gegenüber Störungen."

e) **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**

- Statt ein Signal zu modulieren, werden **viele schmale Träger gleichzeitig** genutzt, die zueinander orthogonal sind.
- Jedes Teilband überträgt einen Teil der Daten (z.B. per QAM).
- Vorteile: robust gegen Mehrwegeausbreitung, effizient in Frequenznutzung.
- Wird in allen modernen Standards eingesetzt: WLAN, LTE, 5G, DVB-T

Warum robust? Jede Subträgerfrequenz ist langsam genug, dass Mehrwege-Echos nur Phasenverschiebungen erzeugen, keine kompletten Auslöschungen.

4. Vergleich - analoge vs. digitale Modulation

Kriterium	Analoge Modulation	Digitale Modulation
Signalart	kontinuierlich	diskret
Robustheit	gering (Rauschanfällig)	hoch (Fehlerkorrektur möglich)
Bandbreite	kleiner	größer

Kriterium	Analoge Modulation	Digitale Modulation
Komplexität	einfach	höher
Beispiele	AM, FM, PM	FSK, PSK, QAM, OFDM

Beispielhafte Prüfungsfrage

Frage: “Vergleichen Sie AM, FM und QAM in Hinblick auf Robustheit gegen Störungen, Bandbreite und Datenrate. Erklären Sie außerdem kurz, warum OFDM in modernen WLAN-Systemen verwendet wird.”

Vergleich der Verfahren

Merkmal	AM	FM	QAM
Was wird variiert?	Amplitude	Frequenz	Amplitude und Phase
Störanfälligkeit	hoch (Rauschen = Amplitude)	gering (Amplitude konstant)	mittel - abhängig von Störabstand
Bandbreite	gering	größer (Frequenzhub)	variabel, abhängig von Modulationsordnung
Datenrate	niedrig	moderat	hoch (mehr Bits/Symbol)
Empfängeraufwand	gering	mittel	hoch (I/Q-Demodulation)

Warum OFDM?

- Teilt das Spektrum in viele schmale, orthogonale Unterträger.
- Jeder Unterträger wird langsam moduliert (z.B. mit QAM).
- Mehrwegausbreitung führt nur zu unterschiedlichen Laufzeiten, die im Empfänger korrigiert werden (per FFT).
- Hohe spektrale Effizienz, da Träger überlappen dürfen, ohne sich zu stören.

Beispiel: In WLAN 802.11 n (2,4 GHz) nutzt man 64 Subträger, davon 52 für Daten. Bei 64-QAM $\rightarrow 6 \text{ Bits/Symbol} \times 52 = 312 \text{ Bits pro OFDM-Symbol}$.

Lernnotizen & Merksätze

Merksätze:

- “Modulation = Information auf einen Träger setzen.”
- “AM ändert die Höhe, FM die Geschwindigkeit, PM die Phase der Schwingung.”

- “QAM = zwe PSK-Signale in Quadratur → mehr Bits pro Symbol.”
- “OFDM nutzt viele Träger gleichzeitig, um Echos zu tolerieren.”

Kernaussagen:

- Analoge Verfahren → einfach, aber anfällig
- Digitale Verfahren → komplex, aber effizient und fehlerkorrigierbar.
- Modulationsordnung (z.B. 16-QAM vs. 64-QAM) bestimmt Bits pro Symbol → mehr Datenrate, aber höherer SNR-Bedarf.

Übungsaufgaben

1. Zeichne das Zeit- und Spektraldiagramm einer AM- und FM-Schwingung.
2. Berechne die erforderliche Bandbreite für ein FM-Signal mit ± 75 kHz Hub und 15 kHz Audiofrequenz (Carson-Regel).
3. Wie viele Bits pro Symbol trägt ein 64-QAM-Signal?
4. Warum ist OFDM bei WLAN robuster gegen Reflexionen als eine einfache QAM-Modulation?