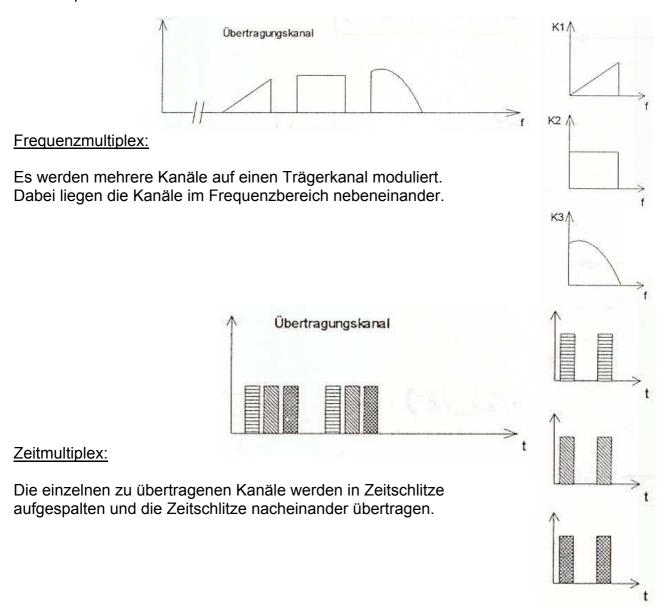
Inhaltsverzeichnis:

Thema	Unterpunkt	Seite
Modulation allgemein	Definition	8-2
	Frequenzmultiplex	8-2
	Zeitmultiplex	8-2
Übersicht Modulationsverfahren	Amplitudenmodulation (AM)	8-3
	Winkelmodulation (WM)	8-3
	Pluscodemodulation	8-3
Pulsmodulation	Definition	8-4
Signalabtastung	Signalartunterscheidung	8-4
Abtasttheorem von Shannon	Formel	8-4
	Praxiswerte	8-4
Trägerpuls	Diagramm	8-5
	Tastgrad	8-5
Pulsamplitudenmodulation (PAM)	Prinzipschaltung	8-5
	Signalzeitverlauf	8-5
	Frequenzspektrum	8-5
Aliasing – Antialiasing-Filter	Definition Aliasing	8-6
	Diagramme	8-6
	Berechnung	8-6
Pulsphasenmodulation (PPM)	Definition	8-6
, , ,	Diagramm	8-6
Pulsdauermodulation (PDM)	Definition	8-7
	Diagramm	8-7
Pulscodemodulation (PCM)	Definition	8-7
	Quantisierung	8-7
	Quantisierungsfehler	8-7
	Quantisierungsstufe	8-8
	max. Quantisierungsfehler	8-8
Quantisierungsgeräusch	Definition	8-8
	Leistungsverhältnis	8-8
	Quantisierungsrauschabstand	8-8
Übertragungsrate	Berechnung	8-8
Tastung	Definition	8-9
	Amplitudentastung	8-9
	Frequenzumtastung	8-9
	Phasenumtastung	8-9
Leitungscodierung	Definition	8-10
	AMI-Leitungscode	8-10
	HDB3-Leitungscode	8-10

Modulation allgemein:

Bei der Nachrichtentechnik ist es vielfach erforderlich, die elektrischen Signale in ihren Parametern den Eigenschaften des Übertragungskanals anzupassen. Dazu wir eine Signalanpassung vorgenommen, die man als Modulation bezeichnet.

Die Modulation wird auch benutzt einen Übertragungskanal mehrfach nutzen zu können. Diese Mehrfachnutzung kann über ein Frequenzmultiplex-Verfahren oder über ein Zeitmultiplex-Verfahren realisiert werden.



Übersicht Modulationsverfahren:

Das Frequenzmultiplex-Verfahren wird mit einem sinusförmigen Träger durchgeführt.

Unterscheidung:

Amplitudenmodulation (AM):

AM	Es wird der Träger und die beiden Seitenbänder übertragen
DSB (ZSB – Doppel-Seitenb.)	Es werden nur die beiden Seitenbänder übertragen
SSB (ESB – Single-Seitenb.)	Es wird nur ein Seitenband übertragen
RM (Rest-Seitenband)	Es wird nur ein Restseitenband übertragen

Winkelmodulation (WM):

FM (Frequenzmodulation)	Es wird die Frequenz des Trägers moduliert
PM (Phasenmodulation)	Es wird die Phasenlage zwischen Signal und Träger moduliert

Das Zeitmultiplex-Verfahren wird mit einem pulsförmigen Träger durchgeführt.

Unterscheidung:

uncodiert:

PAM (Pulsamplitudenmodulation)	Es wird die Amplitudenhöhe des Pulses moduliert
PDM (Pulsdauermodulation)	Es wird die Pulsdauer moduliert
PPM (Pulsphasenmodulation)	Es wird die Phasenlage des Pulses moduliert

codiert und quantisiert :

PCM (Puls-Code-Modulation)	Es wird die Amplitudenhöhe des Pulses moduliert
----------------------------	---

Pulsmodulation:

Bei der Pulsmodulation (digitale Modulation) ist der Träger kein sinusförmiges Signal, sondern eine zeitlich regelmäßige Folge von Impulsen die als Trägerpuls bezeichnet wird.

Signalabtastung:

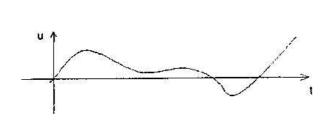
Zur Übertragung eines analogen Signals mit der Pulsmodulation muss dieses Signal erst in ein digitales Signal umgewandelt werden. Dazu dient die Signalabtastung.

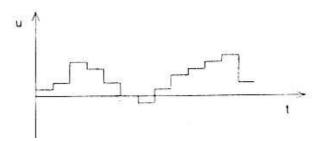
Analogsignal

- Wertkontinuierlich:
 Im Amplitudenbereich theoretisch unendlich viele Werte
- Zeitkontinuierlich: Im Zeitbereich theoretisch unendlich viele Werte

Digitalsignal

- Wertdiskret: Im Amplitudenbereich festgelegte Anzahl von Werten
- Zeitdiskret: Im Zeitbereich ändert sich sein Wert in festen Zeitabständen





Abtasttheorem von Shannon:

$$T_A \le \frac{1}{2 \bullet f_{s \max}}$$

$$f_A \ge 2 \bullet f_{s \max}$$

$$B_S = f_{s \max}$$

 $T_P = T_A$ = zeitlicher Abstand (Periodendauer) der Abtastfrequenz in s (auch Sample-Rate) $f_P = f_A$ = Abtastfrequenz in Hz

 B_S = Bandbreite des abzutastenden Signals in $\frac{1}{s}$

 $f_{s max}$ = maximale Signalfrequenz in Hz

Praxiswerte:

 $\begin{array}{llll} \mbox{Fernsprechübertragung:} & f_{s\;max} = 3,4 \; \mbox{kHz} & f_{A} = 8 \; \mbox{kHz} \\ \mbox{HiFi-Audiosignal:} & f_{s\;max} = 15 \; \mbox{kHz} & f_{A} = 32 \; \mbox{kHz} \\ \mbox{Compact-Dics (CD):} & f_{s\;max} = 20 \; \mbox{kHz} & f_{A} = 44,1 \; \mbox{kHz} \\ \mbox{Videosignal:} & f_{s\;max} = 5 \; \mbox{kHz} & f_{A} = 13,5 \; \mbox{kHz} \\ \end{array}$

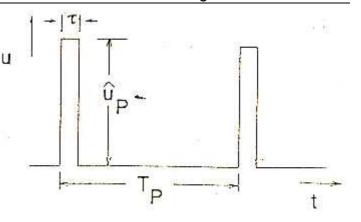
Trägerpuls:

Der Trägerpuls kann eine periodische Rechteckimpulsfolge sein.

Das Verhältnis zwischen Impulsdauer und Pulsperiodendauer bezeichnet man als Tastgrad

$$Tastgrad = \frac{\tau}{T_P}$$

$$Tastgrad = \tau \bullet f_P$$

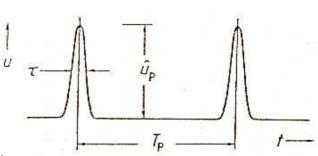


 \hat{u}_P = Amplitude des Pulses in V τ = Impulsdauer in s T_P = Pulsdauer in s f_P = Impulsfrequenz in Hz

Nachteil des Rechteckimpulses ist der große Bandbreitenbedarf.

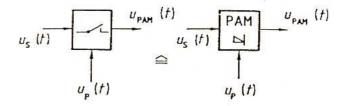
Darum verwendet man stattdessen einen \cos^2 -förmigen Abtastimpuls.

Dessen Bandbreitenbedarf ist wesentlich geringer.

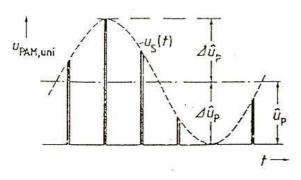


Pulsamplitudenmodulation (PAM):

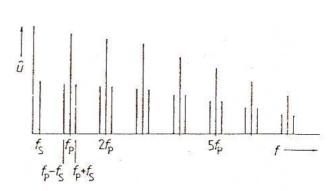
Rechts ist die Prinzipschaltung einer Pulsamplitudenmodulation zu sehen



Die Signalspannung u_S wird mit der Abtastfrequenz f_P abgetastet.



Signalzeitverlauf



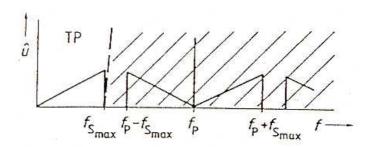
Frequenzspektrum

Aliasing - Antialiasing-Filter:

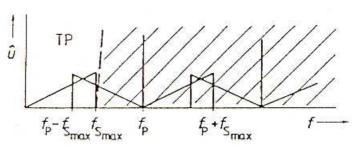
Wird der Trägerpuls nicht durch eine einzige Signalfrequenz sondern durch mehrere Signalfrequenzen (NF-Signal) moduliert, so entstehen Seitenbänder um den Trägerpuls und dessen Vielfache.

Wird das Abtasttheorem von Shannon erfüllt ($f_P \ge 2 \bullet f_{s \max}$), so können sich die Seitenbänder maximal berühren, aber nicht überlappen !!

⇒ Rückgewinnung von f_S möglich



Wird das Abtasttheorem von Shannon **nicht** erfüllt ($f_P < 2 \bullet f_{s \max}$), so überlappen sich die Seitenbänder. \Rightarrow Rückgewinnung von f_S nicht möglich, weil das untere Seitenband des PAM-Signals das Signalband überlagert. Dieser Effekt wird Aliasing genannt.



Um den Aliasing-Effekt zu vermeiden, wird das NF-Signal vor dem PAM-Modulator mit einem Tiefpass, dem Antialiasing-Filter, gefiltert, d.h. begrenzt.

Die Grenzfrequenz des Antialiasing-Filters liegt bei der halben Abtastfrequenz f_p. Falls diese nicht gegeben ist, kann die Grenzfrequenz auch mit der max. Signalfrequenz f_{s max}

$$f_g = \frac{f_P}{2}$$

angenommen werden.

Wenn f_P nicht gegeben kann $f_g = f_{s \text{ max}}$ angenommen werden

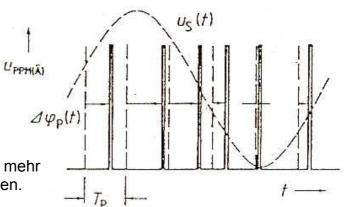
 f_g = Grenzfrequenz des Antialiasing-Filters in Hz $f_{s\,max}$ = Maximale noch zu übertragende Signalfrequenz in Hz f_P = f_A = Abtastfrequenz in Hz

Pulsphasenmodulation (PPM):

Bei der Pulsphasenmodulation wird die Phasenlage der Impulse eines Trägerpulses durch das NF-Signal geändert.

Die gestrichelten Linien zeigen die reguläre Phasenlage der unmodulierten Trägerpulse.

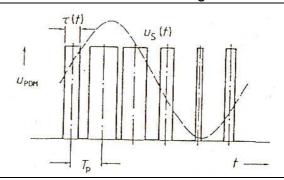
Je höher die Signalspannung u_{s} ist, desto mehr werden die Impulse nach rechts verschoben.



Pulsdauermodulation (PDM):

Bei der Pulsdauermodulation wird die Impulsdauer τ der Trägerpulse verändert.

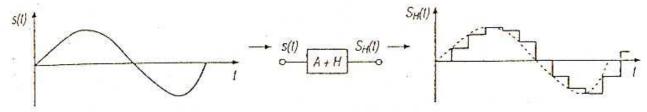
Je höher die Signalspannung u_S ist, desto breiter wird der Impuls.



Pulscodemodulation (PCM):

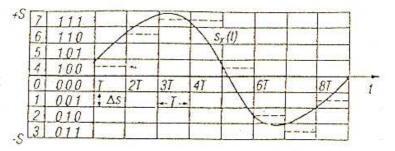
Wie bei PAM wird die Signalspannung u_s mit einer Abtastfrequenz f_P abgetastet. Die ermittelten Werte werden quantisiert und codiert, d.h. es wird jedem abgetasteten Wert ein Binärcode zugewiesen.

Die Abtastung erfolgt bei PCM durch eine "sample and hold" Schaltung (Abtast- und Halteschaltung). Diese Abtastung speichert den aktuell ermittelten Wert der Abtastung bis zur nächsten Abtastung:



Quantisierung:

Vor der Quantisierung wird der Bereich, in dem die Amplitudenwerte liegen können, festgelegt. Dieser Bereich wird in z Intervalle mit dem gleichen Abstand ∆s unterteilt und jedem Intervall ein Zahlenwert zugeordnet.



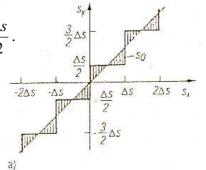
bi

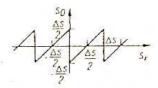
Quantisierungsfehler:

Durch die Quantisierung entsteht ein maximaler Fehler von $\frac{\Delta s}{2}$.

Dieser Fehler ist um so kleiner je mehr Intervall für den Amplitudenbereich festgelegt werden.

Kennlinie a) zeigt den Zusammenhang zwischen dem tatsächlichen Amplitudenwert s_{X} und dem durch Quantisierung zugeordneten Wert s_{Y}





Formelsammlung

Quantisierungsstufe:

$$\Delta s = \frac{U_Q}{z}$$

$$z = \frac{U_Q}{\Delta s}$$

$$U_Q = z \bullet \Delta s$$

$$z = 2^{Codewortlänge}$$

 Δs = Quantisierungsstufe in V

U_Q = Quantisierungsbereich in V

z = Anzahl der Intervalle im Quantisierungsbereich

Maximaler Quantisierungsfehler:

$$s_{Q\max} = \frac{U_Q}{2 \bullet z}$$

$$z = \frac{U_Q}{2 \bullet s_{Q \max}}$$

$$U_{\mathcal{Q}} = 2 \bullet z \bullet s_{\mathcal{Q} \max}$$

$$s_{Q\max} = \frac{1}{2} \bullet \Delta s$$

s_{Q max} = maximaler Quantisierungsfehler in V

U_O = Quantisierungsbereich in V

z = Anzahl der Intervalle im Quantisierungsbereich

 Δs = Quantisierungsstufe in V

Quantisierungsgeräusch:

Quantisierungsfehler bewirken eine nichtlineare Verzerrung des NF-Signals. Diese Verzerrung nennt man auch Quantisierungsgeräusch.

Leistungsverhältnis Signal- zu Quantisierungsgeräusch:

$$\frac{P_S}{P_Q} = z^2 - 1$$

$$z = \sqrt{\frac{P_S}{P_Q} + 1}$$

$$P_S = P_Q \bullet \left(z^2 - 1\right)$$

$$P_Q = \frac{P_S}{\left(z^2 - 1\right)}$$

P_S = Leistung des verzerrten PCM-Signals in W

P_O = Leistung des Quantisierungsgeräusch in W

z = Anzahl der gleich großen Intervalle des Quantisierungsbereichs

Signal / Quantisierungsrauschabstand:

$$S_Q = 10 \bullet \log \left(\frac{P_S}{P_Q} \right)$$

$$S_Q = 10 \bullet \log(z^2 - 1)$$

$$z = \sqrt{10^{\frac{S_Q}{10}} + 1}$$

 S_Q = Signal / Quantisierungsrauschabstand in dB

Ps = Leistung des verzerrten PCM-Signals in W

P_Q = Leistung des Quantisierungsgeräusch in W

z = Anzahl der gleich großen Intervalle des Quantisierungsbereichs

Übertragungsrate:

$$\ddot{U}$$
bertragungsrate = $f_P \bullet Codewortlänge$

Übertragungrate in $\frac{bit}{s}$

 f_P = Pulsfrequenz in Hz

Codewortlänge = Anzahl der Bits des Intervallcodes (z.B. 4 für Intervallcode 1010)

Tastung eines Sinusträgers:

Zur Übertragung eines digitalen Signals kann ein Verfahren benutzt werden, dass den Sinusträger in einem oder mehreren Parametern beeinflusst.

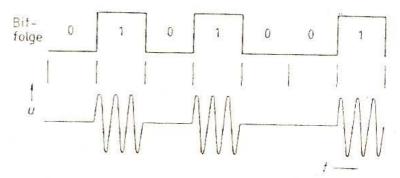
Da der Träger aber nur zwischen festen Potentialen wechselt, spricht man nicht von Modulation sondern von Tastung. Es kann zwischen folgenden Arten von Tastung unterschieden werden:

<u>Amplitudentastung (ASK = amplitude shift keying):</u>

Der Sinusträger wird bei einer

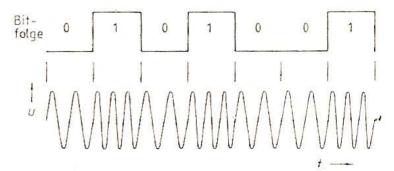
"1" des zu modulierenden Signals eingeschaltet und bei einer

"0" des zu modulierenden Signals ausgeschaltet.



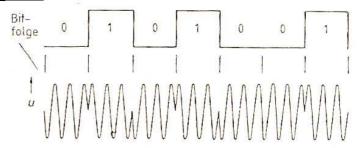
<u>Frequenzumtastung</u> (FSK = frequenzy shift keying):

Es werden den Zuständen "1" und "0" des zu modulierende Signals bestimmt Frequenzen zugeordnet.



Phasenumtastung (PSK = phase shift keying):

Es wird den Zuständen "1" und "0" des zu modulierenden Signals eine, jeweils um 180° phasenverschobenen, Trägerfrequenz zugeordnet



Leitungscodierung:

Zur Übertragung digitaler Signale werden diese in einen, für die Übertragung geeigneten, Code umgewandelt. Diese Umcodierung bezeichnet man als Leitungscodierung:

Ziele der Leitungskodierung:

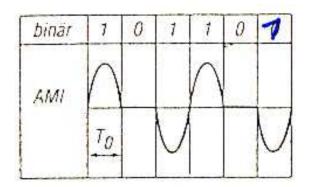
- kein Gleichstromanteil im Übertragungssignal
- Störabstand möglichst hoch (möglichst wenige Signalzustände)
- genügend Taktinformation für den Empfänger

AMI-Leitungscode:

Die binäre "0" wird mit 0 V codiert. Die binäre "1" wird abwechselnd mit + S_0 und – S_0 codiert.

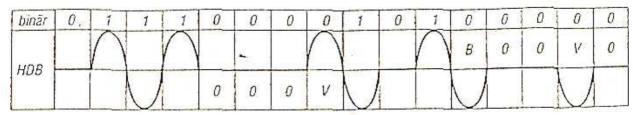
Nachteil:

Bei langen Nullfolgen keine Rückschlüsse auf die Taktfrequenz mehr möglich



HDB3-Leitungscode:

Der HDB3-Code ist eine erweiterung des AMI-Codes.



Die "1"-Elemente werden wie beim AMI-Code codiert.

Die "0"-Elemente werden auch wie beim AMI-Code codiert, außer es treten mehr als drei Nullstellen auf.

Diese Nullstellenfolge wird nun in Blöcke von vier Nullen plus Rest eingeteilt.

Der Viernullenblock kann nun folgend codiert werden: 000V oder B00V

"B" steht für ein "1"-Element, das den AMI-Code verletzt,

"V" steht für ein "0"-Element, das den AMI-Code verletzt.

"000V" wird dann gesendet, wenn zwischen zwei Viernullenblöcken eine ungerade Anzahl von "1"-Elementen auftritt.

"B00V" wird dann gesendet, wenn zwischen zwei Viernullblöcken eine gerade Anzahl oder kein "1"-Elementen auftritt.