

Grundlagen der Kommunikationstechnik

Julian-B. Scholle

2. Februar 2013

Zusammenfassung

1 Einleitung

Kommunikation ist die Übertragung von Informationen zwischen 2 oder mehreren Stellen.

1.1 Die Kommunikationskette

Beispiel: Das Telefonieren

- | | | | |
|----|--------------------|-----------|--|
| 1 | Informationsquelle | $\hat{=}$ | Gehirn |
| 2 | 1. Wandler | $\hat{=}$ | Mund + Stimmensystem \rightarrow akustisches Signal |
| 3 | 2. Wandler | $\hat{=}$ | Mikrofon \rightarrow elektrisches Signal |
| 4 | Signal(a) | $\hat{=}$ | Strom und Spannung am Ausgang des Mikrofons |
| 5 | Sender | $\hat{=}$ | das Telefongerät |
| 6 | Signal(b) | $\hat{=}$ | EM-Welle für Mobilfunk oder Strom und Spannung im Festnetz |
| 7 | Übertragungskanal | $\hat{=}$ | Funkkanal(Mobilfunk) oder Telefonleitung(Festnetz) |
| 8 | Empfänger | $\hat{=}$ | das Telefongerät |
| 9 | Signal(c) | $\hat{=}$ | Strom und Spannung am Eingang des Lautsprechers |
| 10 | 1. Wandler | $\hat{=}$ | der Lautsprecher \rightarrow akustisches Signal |
| 11 | 2. Wandler | $\hat{=}$ | Das Ohr und das Hörsystem |
| 12 | Informationssenke | $\hat{=}$ | Gehirn |

1.2 Die Information

Die Information ist die Ordnung von Informationsträgern. Sie ist vervielfachbar.
zum Beispiel:

Text	Informationsträger sind die Buchstaben. Die Ordnung dieser Buchstaben ist die Information.
Sprache	Informationsträger sind die Laute. Die Ordnung der Laute ist die Information
Bilder und Bildsequenzen	Informationsträger sind die Pixel. Die Ordnung dieser Pixel ist die Information

1.3 Der Wandler

Der Wandler ist eine Schnittstelle (Hardware) die ein Signal (Zeitabhängiger physikalischer Vorgang, der Energie enthält) erzeugt, das Informationen trägt. Signale sind deshalb Informationsträger. Der zeitliche Verlauf ist die Ordnung, welche die Information darstellt.

In diesem Zusammenhang ist der Mund und das Stimmensystem ein Wandler. Hier wird ein akustisches Signal erzeugt, dessen Form (d.h. sein zeitlicher Verlauf) die Information darstellt. Das

Mikrofon und die Kamera sind ebenfalls Wandler, beide erzeugen ein elektrisches Signal dessen zeitlicher Verlauf die Information darstellt(trägt).

1.4 Das Signal

Signale sind Informationsträger, die in der Lage sind, aufgeprägte Informationen zu übertragen. Zum Beispiel in Form von Strom und Spannung. Die Medien sind dabei messbar und verfügen über Energie.

Die Informationstragenden Signale lassen sich wie folgt klassifizieren:

1.4.1 Analog

Das Signal ist ein kontinuierlicher Vorgang z.B. ein akustisches Signal.

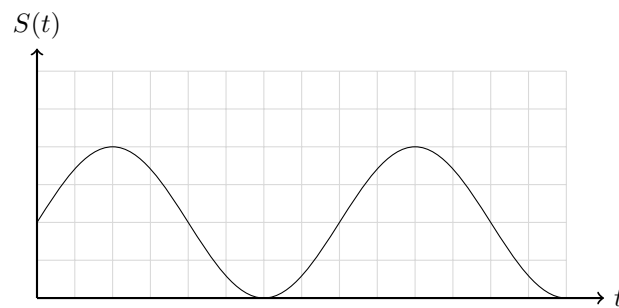


Abbildung 1: analoges Signal

1.4.2 Digital

Das Signal ist eine Sequenz von einzelnen(zeitlich kompakten) Einheiten(Symbolen)

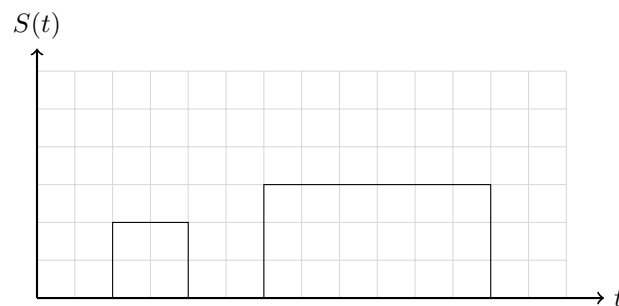


Abbildung 2: digitales Signal

Digitale Signale, zum Beispiel Morse-Code, tragen codierte Informationen

1.4.3 Monochromatisch

Monochromatische Signale sind Signale mit nur einer Frequenz.

$$S_m c = \hat{S} \cdot \cos(\omega_0 t - \varphi_0) \quad (1)$$

Wie zum Beispiel die Netzspannung (Sinussignal)

1.4.4 periodische Signale (nicht monochromatisch)

Ein Signal ist periodisch wenn:

$$S_p(t \pm n \cdot T) = S_p(t) \quad (2)$$

1.4.5 nichtperiodische Signale

Ein Signal ist nicht periodisch wenn:

$$S_p(t \pm n \cdot T) \neq S_p(t) \quad (3)$$

1.5 Codierung

Ein Code ist eine Sequenz von Symbolen.

zum Beispiel:

- Zahlen: Sequenz der Symbole 1,2,...,9,0
- Texte: Sequenz der Symbole a,b,c,...

Um die Informationen zu Codieren, und damit digitale Signale zu erzeugen, braucht man ein Codierungsverfahren(Sogenannte Quellencodierung), das die Information auf Sequenzen von Symbolen abbildet. zum Beispiel:

- Das Gehirn bildet Begriffe,Gefühle,Eindrücke,... auf Wörter ab. Diese sind Sequenzen von Buchstaben (oder Lauten)
- Der Morse-Code

1.6 Der Sender und der Empfänger

Die Aufgabe des Senders ist die Erzeugung eines Signals(b), das die gleiche Information wie Signal(a) enthält, aber mehr geeignet für die Übertragung durch den Kanal ist.

Die Aufgabe des Empfängers ist die Erzeugung eines Signals(s) das die gleiche Information wie Signal(b) enthält, aber mehr geeignet ist für den Wandler an der Empfängerseite.

2 Der Übertragungskanal

Übertragungskanäle werden in dratgebundene und Dratlose gruppiert:

2.1 Drahtgebunden

2.1.1 Kupferkabel / Telefonkabel

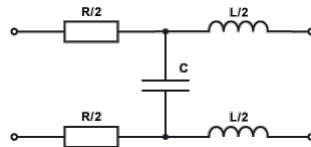


Abbildung 3: Ersatzschaltbild eines Leiters

Die Schaltung [3] ist das Ersatzschaltbild einer gleichmäßig aufgebauten (homogenen) Leitung. Jede 2-adrige Leitung entspricht diesem Ersatzschaltbild. Sie ist nicht nur mit einem Widerstand, sondern auch mit einer Induktivität und Kapazität behaftet. Demzufolge ist dieser Leitungsvierpol frequenzabhängig und zu allem Überfluss auch noch ein Schwingkreis. Zusätzlich werden die elektrischen Eigenschaften durch die Leitungsstruktur beeinflusst (Verseilungsart, Feuchtigkeit, etc.).

Probleme

- Übersprechen zwischen den Leitungen
- Signaldämpfung (Signalverluste) durch die Leitungslänge
- Leitungscharakteristik ist immer anders

2.1.2 Koaxialkabel

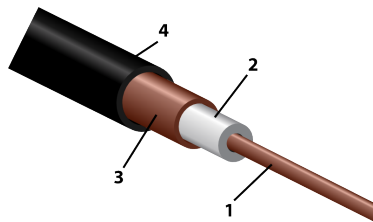


Abbildung 4: schematischer Aufbau eines Koaxialkabels

Das Koaxialkabel [4] ist ein unsymmetrisches Kabel. Bei der Übertragung von digitalen Signalen über ein Koaxialkabel (BNC) wird ein Potentialunterschied zwischen Innenleiter (Kern) und dem, als Bezugserde dienenden, Außenleiter erzeugt. Der Außenleiter wirkt als Antenne. Er strahlt elektromagnetische Strahlen ab. Zusätzlich beeinflussen Störungen von außen den Signalfluss im Innenleiter. Damit die elektrische Feldverteilung wirksam wird, muss der Außenleiter (Abschirmung, Abschirmmantel) an Erde gelegt werden. Hierdurch sind beide Leiter gegenüber der Erde spannungsmäßig ungleich. Deshalb sind Koaxialkabel unsymmetrische Leitungen (Paralleldrahtleitungen sind erdsymmetrisch).

Vorteile

- Es können keine Störspannungen durch Influenz in das Kabel gelangen.
- Die im Kabel fließenden Ströme erzeugen keine magnetischen Störfelder.

Einsatzgebiet: Kabel/Satelliten-TV

Frequenz: bis ca. 1Ghz

2.1.3 Hohlleiter

Ein Hohlleiter ist ein Wellenleiter für elektromagnetische Wellen vorwiegend im Zentimeter-Wellenbereich und darunter (ca. 3 GHz bis 200 GHz). Hohlleiter sind Metallrohre mit meist rechteckigem, kreisförmigem oder elliptischem Querschnitt, in denen sich derart hohe Frequenzen im Gegensatz zu Kabeln sehr verlustarm übertragen lassen.

2.1.4 Lichtwellenleiter

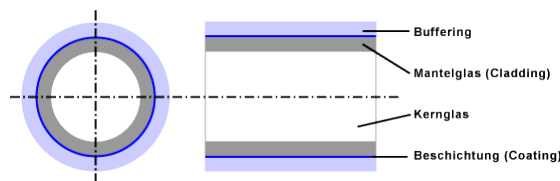


Abbildung 5: schematischer Aufbau eines Lichtwellenleiters

Lichtwellenleiter [5] übertragen Daten in Form von Licht bzw. Lichtsignalen über weite Strecken. Während elektrischen Signale in Kupferleitungen als Elektronen von einem zum anderen Ende wandern, übernehmen in Lichtwellenleitern die Photonen diese Aufgabe. Durch Lichtwellenleiter können optische Signale ohne Verstärker große Entfernungen überbrücken. Trotz weiter Strecken ist eine hohe Bandbreite möglich. Die Bandbreite auf einer einzigen Glasfaser beträgt rund 60 THz. Das macht Lichtwellenleiter zum Übertragungsmedium der Gegenwart und Zukunft. Da reicht kein Kupferkabel oder Funksystem heran.

Vorteile

- Lichtwellenleiter können beliebig mit anderen Versorgungsleitungen parallel verlegt werden. Es gibt keine elektromagnetischen Störeinflüsse.
- Wegen der optischen Übertragung existieren keine Störstrahlungen oder Masseprobleme.
- Entfernungsbedingte Verluste des Signals wegen Induktivitäten, Kapazitäten und Widerständen treten nicht auf.
- Nahezu Frequenz-unabhängige Leitungsdämpfung der Signale.
- Übertragungsraten sind durch mehrere Trägerwellen mit unterschiedlichen Wellenlängen (Farbspektrum) fast unbegrenzt erweiterbar.

2.2 Dratlose

Das Übertragungssignal ist hier eine EM-Welle, die sich durch die Atmosphäre ausbreitet.

Oberflächenwellen 300KHz ($\lambda = 1000m$) bis 3MHz ($\lambda = 100m$)

Hauptproblem ist hier die Antennenlänge Antennenlänge $\geq \frac{\lambda}{10}$

Masten+ horizontale Drähte zwischen 10m und 100m

Am-Radio (Rundfunk $\hat{=}$ in alle Richtungen)

Mittelwelle 3 MHz-; 10MHz kurze Reichweite

Kurzwelle 10MHz -; 39MHz Lange Reichweite

TV(Richtfkn) VHF 30MHz -; 300MHz UHF 300MHz -; 3GHz

Mobilfunk

GSM 900MHz,1800MHz UMTS 2400MHz

Wlan 2,4GHz/5,4 GHz

3 Periodische Signale

3.1 Die Fourierreihe

Periodische Signale lassen sich nach einer Fourierreihe zerlegen:

$$f_p(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(k\omega t) \quad (4)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f_p(t) df = \text{Mittelwert} \quad (5)$$

$$a_k = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f_p(t) \cos(k\omega t) df \quad (6)$$

$$b_k = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f_p(t) \sin(k\omega t) df \quad (7)$$

mit:

b_k für alle k , falls f gerade ist, $f(-x) = f(x)$

a_k für alle k , falls f ungerade ist, $f(-x) = -f(x)$

3.2 Das Amplituden- und Phasen-Spektrum

Das Amplituden [6] - und Phasen [7] -Spektrum sind grafische Darstellungen für $|F_n|$ bzw φ_n :

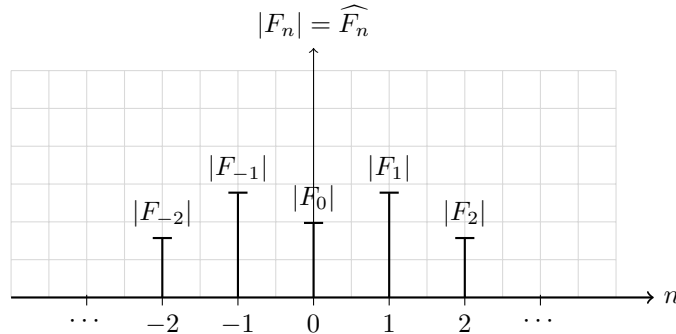


Abbildung 6: Amplituden-Spektrum

Symmetrie: $F_{-n} = F_n^*$. Dies quantisiert dass die Summe aller komplexen Phasoren null ist.

Das Spektrum [9] enthält nur ganzzahlige Werte für die Schwingungen. Die niedrigste Frequenz F_G ist die Grundfrequenz. Alle anderen Frequenzen sind ganzzahlige Vielfache dieser Grundfrequenz. Um die Zeitfunktion wieder rekonstruieren zu können, benötigen wir nach der Formel unendlich viele Frequenzen. Praktisch kann jedoch der Anteil der höheren Frequenzen vernachlässigt werden. Dies ist aus Abbildung [9] ersichtlich. Die Amplitude der hohen Frequenzen klingt sehr stark ab. Das Abklingen erfolgt nach einer $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$ -Funktion. Das Spektrum besteht aus einzelnen Linien mit gleichen Abständen. Der Linienabstand ist $2\pi/\text{Periodendauer}$ also: $\omega_0 = \frac{\pi}{T_P}$. Die Lage der 1. Nullstelle ist bei $\omega_N = \frac{2\pi}{T_I}$ und damit reziprok zur Breite T_I eines Impulses. Wenn die Zeitfunktion periodisch ist, ergibt sich immer ein Spektrum, das aus aquidistanten Linien besteht.

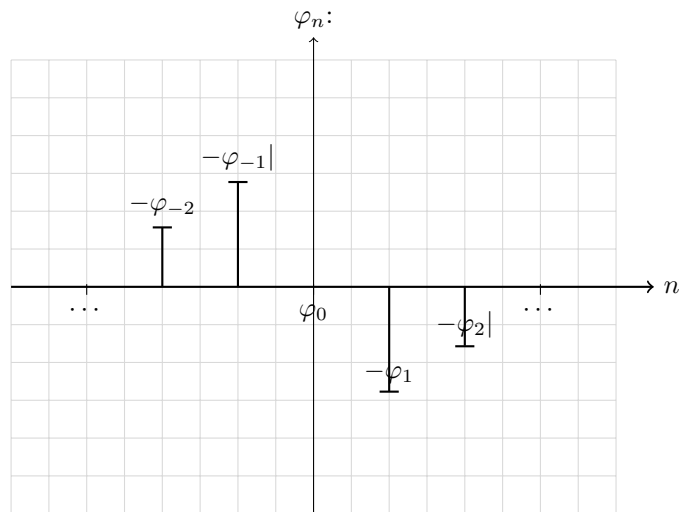


Abbildung 7: Phasen-Spektrum

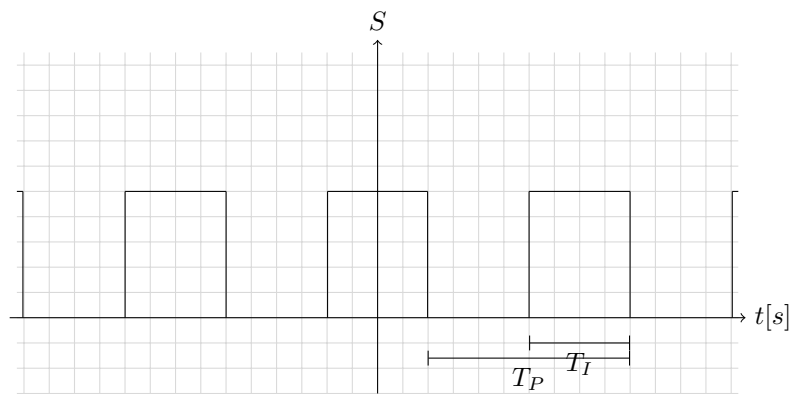


Abbildung 8: Rechteckschwingung

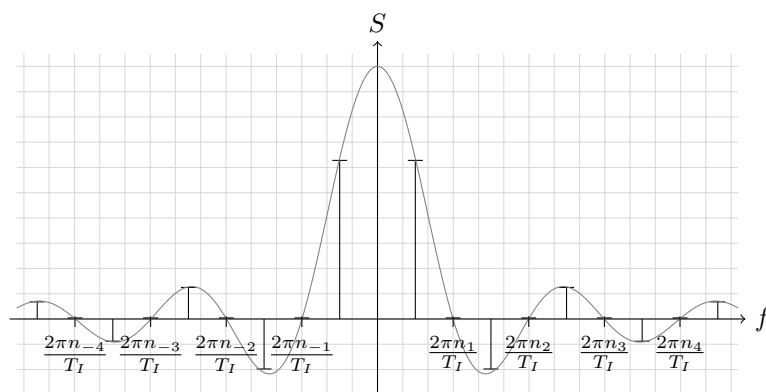


Abbildung 9: Spektrum einer Rechteckschwingung

4 Nichtperiodische Signale

4.1 Fouriertransformation

Nichtperiodische Signale können als periodisch behandelt werden, wenn $T \rightarrow \infty$. Durch $\omega_o = \frac{2\pi}{T}$ und $T \rightarrow \infty$ folgt $\omega \rightarrow 0$. Falls das Spektrum in Abhängigkeit von ω dargestellt wird, existiert es

nur bei $\omega = n\omega_0$, mit $n \in \mathbb{N}$. Das Spektrum wird dichter wenn T zunimmt. im Grenzfall $T \rightarrow \infty$ erhält man eine kontinuierliche Verteilung.

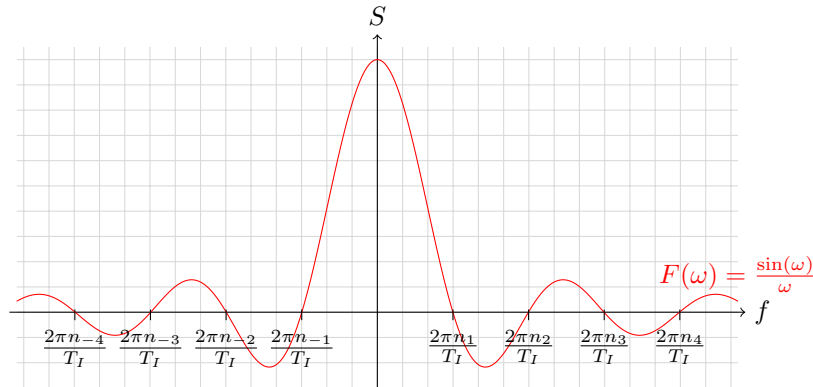


Abbildung 10: Spektrum eines Rechteckimpulses

4.1.1 Definition

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (8)$$

4.1.2 Bedingungen

Nicht alle Signale sind fouriertransformierbar. Es sind nur Signale transformierbar die folgende bedingunge erfüllen:

1. $\int_{-\infty}^{\infty} f^2(t)dt$ =endlich Signalenergie ist endlich
2. $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} |f(t)| = 0$ die Funktion ist abklingend
3. $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt \rightarrow 0$ die Funktion ist Mittelwertfrei

4.1.3 Rücktransformation

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (9)$$

5 Übertragungsfunktionen

Eine Übertragungsfunktion beschreibt die Abhängigkeit des Ausgangssignals eines linearen, zeitinvarianten Systems (LTI-System) von dessen Eingangssignal im Bildbereich (Frequenzbereich, s-Bereich). Sie wird definiert als Quotient der transformierten Ausgangsgröße $Y(s)$ zur transformierten Eingangsgröße $U(s)$:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (10)$$

$$Y(s) = G(s) \cdot U(s) \quad (11)$$

5.1 Impulsantwort

Die Impulsantwort, auch Gewichtsfunktion oder Stoßantwort genannt, ist das Ausgangssignal eines Systems, bei dem am Eingang ein Dirac-Impuls zugeführt wird. Sie wird in der Systemtheorie zur Charakterisierung linearer, zeitinvarianter Systeme benutzt. Der (ideale) Dirac-Impuls wird deshalb gerne für theoretische Betrachtungen verwendet, da er ein unendlich weites Frequenzspektrum besitzt und das invariante Element der Faltung darstellt. Bei der experimentellen Analyse werden Systeme dagegen häufig mit der Sprungfunktion angeregt und die Sprungantwort gemessen, die das Übertragungsverhalten eines solchen Systems ebenfalls vollständig beschreibt. Dadurch vermeidet man es, einen Dirac-Impuls mit guter Näherung erzeugen zu müssen, wofür das Eingangssignal kurzzeitig einen sehr hohen Wert annehmen müsste. Die Impulsantwort $h(t)$ ist die Ableitung der Sprungantwort $a(t)$ nach der Zeit:

$$h(t) = \frac{da}{dt} \quad (12)$$

Damit ergibt sich im Zeitbereich:

$$y(t) = g(t) * u(t) \quad (13)$$

6 Rauschen

6.1 Das thermische Rauschen

Durch ständige Kollisionen mit dem schwingenden Materieagitter (temperaturabhängige Schwingungen) erfährt jeder Ladungsträger (Elektron) eine dreidimensionale Schwingung, die sich mit durch das angelegte elektrische Feld E entstehenden Bewegung (hier axial entlang des Leiters) überlagert. Die Spektraldichte der verfügbaren Rauschleistung, die von einem Leiter abgegeben wird, wurde experimentell ermittelt. Sie ist durch folgende Formel gegeben

$$G_n(\omega) = \frac{\frac{1}{2}h|\omega|}{e^{\frac{h|\omega|}{kT}} - 1} = \frac{\frac{1}{2}h|f|}{e^{\frac{h|f|}{kT}} - 1} \quad (14)$$

wobei:

h = Plancksches Wirkungsquantum = $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{Sek}$

k = Boltzmann-Konstante = $1,37 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$

Die Spektraldichte beschreibt den Ausgleich zwischen der ständig absorbierenden Leistung, die der Leiter (oder jeder beliebige Körper) von seiner Umgebung aufnimmt, und der ständig abgestrahlten Leistung, die durch die Bewegung der geladenen Teilchen (Elektronen, Positronen, ...) hervorgerufen wird.

6.2 Das Schrotrauschen

Der angeblich kontinuierliche Strom besteht in der Tat aus vielen einzelnen Beträgen. (z.B. Elektronenströme) Der Unterschied zwischen dem tatsächlichen Verlauf des Stromes und dem entsprechenden durchschnittlichen (kontinuierlichen) Verlauf ist das Schrotrauschen

6.3 Das Quantisierungsrauschen

Dies ist der Signalfehler, der durch die Quantisierung (Ab- und Aufrundungen) entsteht

7 Filter

8 Modulation

Achtung: Die in diesem Kapitel enthaltenen Texte und Bilder wurden der Seite <http://www.elektronik-kompodium.de/> entnommen.

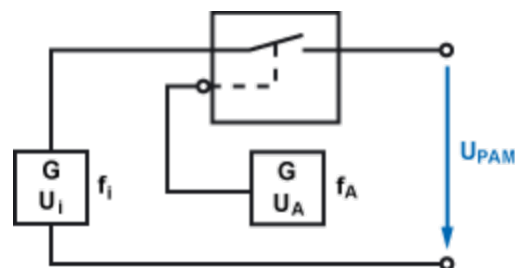
8.1 Pulsamplitudenmodulation

Größte Sicherheit gegen Störungen bei der Signalübertragung erzielt man durch Übertragung digitaler Signale, da sie sich leicht rekonstruieren lassen. Die Pulsamplitudenmodulation ist ein Modulationsverfahren das analoge Signale in digitale Signale umwandelt. Gegen Störungen der Amplitude ist das PAM-modulierte Signale genauso anfällig wie das amplitudenmodulierte Signal (AM). Deshalb wird es nicht direkt für die Signalübertragung verwendet. Die PAM wird als Vorstufe für weitere Pulsmodulationsverfahren verwendet. Beispielsweise für die Pulsmodulation (PCM), Pulsdauermodulation (PDM) oder auch Pulsphasenmodulation (PPM).

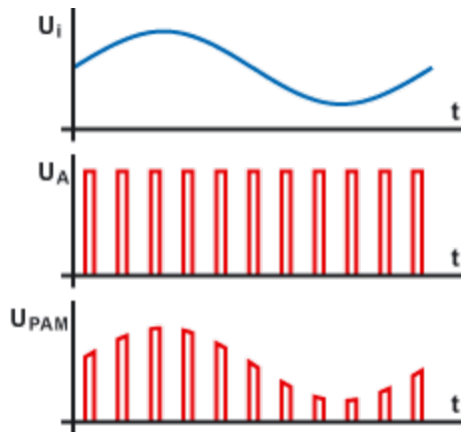
8.1.1 Eigenschaften der Pulsamplitudenmodulation

- NF-Signalquellen können gemultiplext werden
- hohe Bandbreite für das Signal notwendig
- die Amplitude ist störanfällig

8.1.2 Prinzip der PAM



Die Erzeugung des PAM-Signals erfolgt über einen Analogschalter, der von einem Rechteckgenerator (f_A) gesteuert wird. Dieser erzeugt das Trägersignal, das aus schmalen sich periodisch wiederholenden Rechteckimpulsen besteht. Der Analogschalter öffnet und schließt entsprechend der Frequenz f_A der Rechteckimpulse. Das PAM-Signal ist also immer nur ein Teilstück des Informationssignals. Man spricht bei diesem Vorgang von einer Abtastung. Deshalb wird die Frequenz f_A auch Abtastfrequenz genannt.



Bei der Digitalisierung von Audiosignalen wird häufig die PAM verwendet. Zum Beispiel wird die bis 3,4 kHz begrenzten Sprachsignale bei der ISDN-Telefonie mit 8 kHz abgetastet. Das normale Audiosignal, das bis 20 kHz reicht, wird mit 44,1 kHz abgetastet. Grundsätzlich werden vor der Abtastung alle Frequenzen oberhalb der halben Abtastfrequenz durch einen Tiefpass (Anti-Aliasing-Filter) entfernt. Das PAM-Signal gibt es sowohl als unipolare Variante, bei der die Signaleimpulse alle im positiven oder negativen Bereich liegen, als auch eine bipolare Variante, bei der die Signalimpulse im positiven und im negativen Bereich liegen können. Hier ist das PAM-Signal als unipolares Signal dargestellt. Durch die Abtastimpulse entsteht eine amplitudenmodulierte Impulsfolge. Innerhalb der Impulspausen können über ein Zeitmultiplexverfahren noch andere Signale übertragen werden.

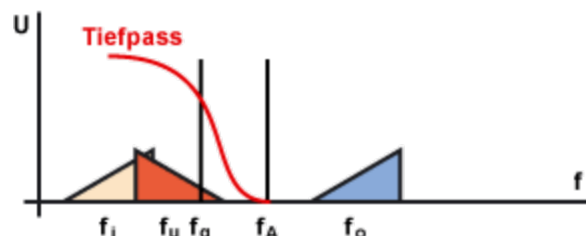
8.1.3 Abtasttheorem nach Shannon

Das Abtasttheorem sagt aus, dass ein beliebiges Audiosignal auch dann noch übertragen werden kann, wenn nur Teile davon in regelmäßigen Abständen übertragen werden.

$$f_A > 2 \cdot f_{i,max} \quad (15)$$

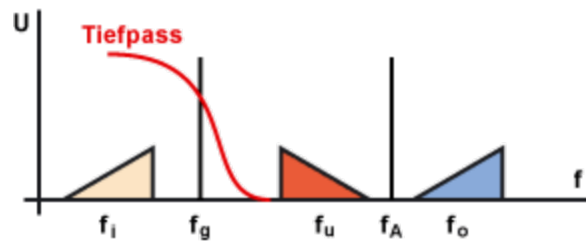
Voraussetzung dafür ist, dass die Abtastfrequenz f_A mindestens doppelt so groß sein muss, wie die höchste zu übertragene Frequenz des Informationssignals. Ist die Abtastfrequenz zu klein bzw. die Informationsfrequenz f_i zu groß, dann fällt das Informationssignal in das Abtastsignal. Im modulierten Signal wäre die Amplitude des Informationssignals nicht vorhanden und könnte bei der Demodulation nicht wieder hergestellt werden.

8.1.4 Aliasing-Effekt



Wird das Abtasttheorem von Shannon nicht eingehalten, dann entsteht der Aliasing-Effekt. Das passiert immer dann, wenn sich das untere Seitenband f_u mit der Informationsfrequenz f_i überschneidet. Die Informationsfrequenz f_i ist dann nicht mehr aus dem PAM-Signal rekonstruierbar. Deshalb muss die Abtastfrequenz f_A mindestens doppelt so groß sein, wie die zu übertragene Frequenz.

8.1.5 PAM-Demodulation



Weil die ursprüngliche Informationsfrequenz f_i im Frequenzspektrum des PAM-Signals enthalten ist, reicht für die Demodulation eines PAM-Signals ein Tiefpass aus. Dieser muss aber eine hohe Güte aufweisen. Das bedeutet, der Tiefpass muss eine steile Flanke haben. Das ist besonders dann wichtig, wenn das untere Seitenband nahe an das Informationssignal angrenzt.

$$f_g = \frac{f_a}{2} \quad (16)$$

Die Grenzfrequenz des Tiefpasses liegt bei der Hälfte der Abtastfrequenz f_A . Man bezeichnet diese Grenzfrequenz auch als Nyquistfrequenz.

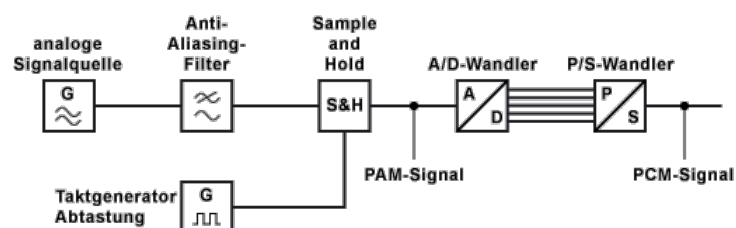
8.2 Pulscodemodulation

8.2.1 Eigenschaften der PCM-Technik

- Die Signale lassen sich sehr leicht wieder regenerieren.
- Der Signal-Rausch-Abstand ist unabhängig von der Länge der Übertragungsstrecke.
- Die Signale weisen eine geringe Empfindlichkeit gegen Übersprechen auf.
- Die Signalübertragung ist auch bei alten, elektrisch ungünstigen Leitungen möglich.
- Die Signalübertragung erfolgt in Form binär kodierter Impulse.
- PCM ist hauptsächlich mit Halbleitern und integrierten Schaltkreisen realisierbar.
- Die Datenübermittlung und -verarbeitung erfolgt vollelektronisch.
- Hoher Aufwand durch Filterung, Abtastung, A/D-Wandlung und Multiplexing.
- Signalstörung durch den Quantisierungsfehler.

8.3 Schritte der PCM-Technik

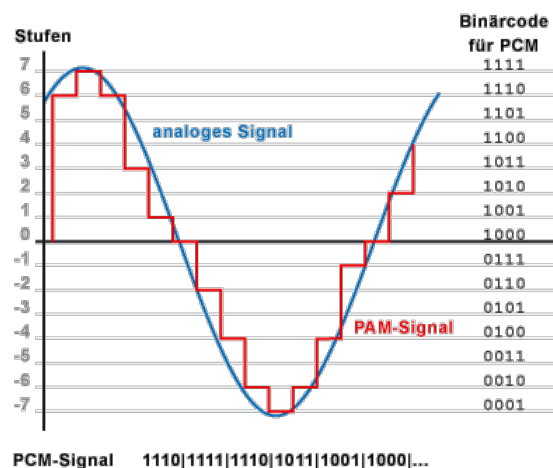
- Abtastung (PAM)
- Sample and Hold
- Quantisierung
- Codierung



8.3.1 Abtastung und Sample and Hold

Die Abtastung erfolgt nach der PAM und dem Abtasttheorem von Shannon. Dabei wird das analoge Signal in ein PAM-Signal umgewandelt. Das PAM-Signal wird mit einer Sample-and-Hold-Stufe erzeugt. Dabei werden die abgetasteten Impulse abgeflacht. Die ungleichmäßigen Impulse des PAM-Signal werden auf bestimmte Amplitudenstufen gebracht. Das Ausgangssignal ist dann ein zeitdiskretes stufenförmiges PAM-Signal.

8.3.2 Quantisierung und Codierung



Der wesentliche Bestandteil, um aus einem analogen Signal ein PCM-codiertes Signal zu wandeln, ist die Quantisierung. Die pulsamplitudenmodulierten Signale (PAM) werden in binäre Datenworte gewandelt. Dabei werden die einzelnen Amplitudenwerte (Spannungsstufen) entsprechenden Quantisierungsstufe und damit einem Binärcode zugeordnet. Der Binärcode wird dann als digitales Signal übertragen. Sowohl Sender und Empfänger wissen welcher Code welche Amplitude ausmacht. Die Einteilung der Amplituden in Stufen wird als Quantisierung bezeichnet.

8.3.3 PCM-Demodulation

Die Demodulation eines pulscodemodulierten Signals entspricht genau umgekehrt der Erzeugung eines PAM-Signals. Auf der Empfängerseite wird für jeden Quantisierungsintervall ein Signalwert zurückgewonnen, der den Mittelwert der Quantisierungsstufe entspricht. Dabei kommt es zu Abweichungen zum ursprünglichen Signal und Verzerrungen beim Ausgangssignal.

8.3.4 Quantisierungsfehler

Die Abtastung stellt nur eine Momentaufnahme des analogen Signals dar. Diese Momentaufnahme muss über die Quantisierung einem Binärcode zugeordnet werden. Durch die nicht beliebig feine Quantisierung bei der Bildung des PCM-Signals entsteht der Quantisierungsfehler. Der eigentliche Spannungswert des Signals kann um maximal die Hälfte einer Quantisierungsstufe abweichen. Der Quantisierungsfehler macht sich als Verzerrung, dem Quantisierungsgeräusch, bemerkbar, das der Empfänger tatsächlich als Rauschen hören kann. Der Rauschanteil, der durch die A/D-Wandlung entsteht, nennt man Quantisierungsrauschen. Um diese Verzerrungen zu umgehen, wird das Signal mit möglichst vielen Quantisierungsstufen aufgelöst und so der mögliche Quantisierungsfehler möglichst vermieden. Je feiner die Abstufung, desto geringer fallen die Quantisierungsverzerrungen aus. Dabei steigt mit der Anzahl an Bits im Binärcode auch die Datenmenge, die übertragen, gespeichert oder verarbeitet werden muss. Eine andere Maßnahme ist es, eine nichtlineare Quantisierung für die Digitalisierung des Signals an die Anwendung anzupassen und so den Rauschabstand zu erhöhen und den Rauschanteil zu vermindern.

8.4 Differential Pulscodemodulation

Die Differential Pulse Code Modulation (DPCM) ist eine Erweiterung der Puls-Code-Modulation (PCM), und ist eine Vorstufe zur Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM). Bei DPCM werden Differenzwerte aufeinanderfolgender Abtastwerte gebildet, was bei Signalfolgen mit hoher Autokorrelation, wie es beispielsweise digitale Audiosignale sind, zu einer Datenreduktion führt.