



Leseprobe

Ulrich Freyer

Medientechnik

Basiswissen Nachrichtentechnik, Begriffe, Funktionen, Anwendungen

ISBN (Buch): 978-3-446-42915-4

ISBN (E-Book): 978-3-446-43613-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42915-4>

sowie im Buchhandel.

3

Signale und Pegel

Signale sind Verläufe physikalischer Größen. Bei leitungsgebundenen und funkgestützten Systemen ist dabei die Spannung U von besonderem Interesse, weil diese relativ einfach gemessen werden kann. Deshalb beziehen sich die Ausführungen im Buch in der Regel auf die Spannung. Im Falle optischer Leitungen und Komponenten erfolgt allerdings der Übergang auf die optische Leistung P_{opt} , weil es keine optische Spannung gibt.

■ 3.1 Zeitabhängige Signale

Signalverläufe sind mathematisch betrachtet Funktionen zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen. Dabei stellt die Spannung als Signalwert stets die abhängige Variable. Erfolgt ein Bezug auf die Zeit t als unabhängige Variable, dann handelt es sich um eine Zeitfunktion $f(t)$.



Zeitfunktion $f(t)$ = Zuordnung zwischen dem Signalwert (z. B. Spannung U) als abhängige Variable und der Zeit t als unabhängige Variable

Derartige Zeitabhängigkeiten lassen sich als Graph (d. h. Kurvenverlauf) in einem rechtwinkligen Koordinatensystem darstellen, dessen waagerechte Achse als x-Achse oder Abszisse bezeichnet wird und die senkrechte Achse als y-Achse oder Ordinate. Ein solches Koordinatensystem weist vier als Quadranten bezeichnete Felder auf. Der Kreuzungspunkt der beiden Achsen bildet den Nullpunkt, so dass positive und negative Werte darstellbar sind (**Bild 3.1**).

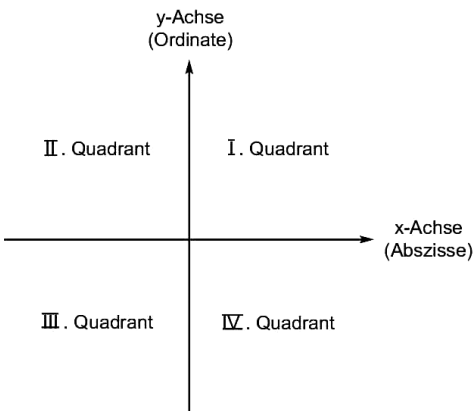


Bild 3.1 Rechtwinkliges Koordinatensystem

Bei einer Zeitfunktion gilt stets folgende Form der Darstellung:

- x-Achse (Abszisse): Zeit t
- y-Achse (Ordinate): Signalwert (Spannung U)

Für den Graphen $u = f(t)$ sind nur der I. und IV. Quadrant von Interesse, da zwar positive und negative Spannungswerte möglich sind, jedoch keine negativen Zeiten.

Bei jeder Zeitfunktion ist stets ein bestimmter Wertebereich vorgegeben, es gibt deshalb immer einen größten (maximalen) und einen kleinsten (minimalen) Signalwert. Innerhalb dieser Grenzen kann jeder beliebige Signalwert auftreten (**Bild 3.2**). Es lassen sich bei den Zeitfunktionen vier grundsätzliche Varianten unterscheiden:

- Wertekontinuierliche/zeitkontinuierliche Zeitfunktion
- Wertekontinuierliche/zeitdiskrete Zeitfunktion
- Wertediskrete/zeitkontinuierliche Zeitfunktion
- Wertediskrete/zeitdiskrete Zeitfunktion

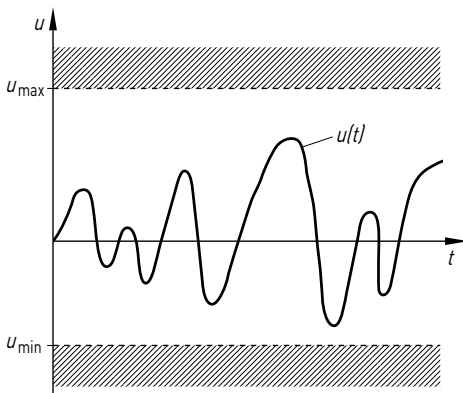


Bild 3.2 Zeitfunktion mit Wertebereich

Bei wertekontinuierlichen/zeitkontinuierlichen Zeitfunktionen handelt es sich um analoge Signale. Diese können im gesamten Betrachtungszeitraum jeden Wert innerhalb des vorgegebenen Wertebereichs annehmen. Sie werden deshalb auch als vielwertige Signale bezeichnet.

Sind bei Zeitfunktionen Signalwerte nur in festgelegten Intervallen (also Zeitschritten) vorhanden und können diese wie beim analogen Signal alle Werte innerhalb des vorgegebenen Wertebereichs annehmen, dann liegen zeitdiskrete Signale vor.

Sind bei Signalen neben Zeitintervallen auch noch Werteintervalle festgelegt, dann gilt für diese wertediskreten/zeitdiskreten Zeitfunktionen die Bezeichnung digitale Signale. Beim vorgegebenen Wertebereich sind im Prinzip beliebig viele Werteintervalle n möglich, was zu $n + 1$ Signalwerten führt. Für die Nachrichtentechnik hat der Fall $n = 1$ in der Regel die größte Bedeutung. Es ergeben sich in den Zeitintervallen zweiwertige Signale, deren beide Zustände üblicherweise mit 0 und 1 bezeichnet werden. Für die weiteren Ausführungen sollten deshalb als digitale Signale nur zweiwertige Signale gelten. Dabei spielt es keine

Rolle, ob die beiden Zustände durch positive oder negative Signalwerte repräsentiert werden (**Bild 3.3**).

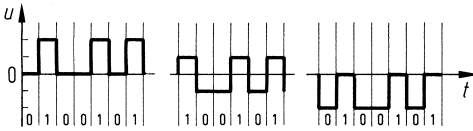


Bild 3.3 Digitale Signale



Analoge Signale sind vielwertige Signale und weisen kontinuierliche Verläufe auf.

Digitale Signale sind zweiwertige Signale und weisen diskrete Verläufe auf.

In der Nachrichtentechnik sind analoge Signale, die **sinusförmige Verläufe** aufweisen, von besonderer Bedeutung. Diese Funktion ist nicht nur technisch einfach realisierbar, sondern lässt sich auch durch verschiedene Kenngrößen mathematisch einfach beschreiben. Dazu gehören der als Amplitude bezeichnete Maximalwert (Größtwert) der Spannung \hat{u} , die Frequenz f , die Periodendauer T und der gegenüber einem Bezugszeitpunkt (z. B. Nullpunkt des Koordinatensystems) bestehende Phasenwinkel ϕ , der auch als Phasenverschiebungswinkel bezeichnet wird (**Bild 3.4**). Es gilt:

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t \pm \varphi) \quad (3.1)$$

Periodendauer

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.2)$$

Ein positiver Phasenwinkel bedeutet, dass die Zeitfunktion um die Gradzahl des Phasenwinkels gegenüber dem Bezugspunkt früher auftritt. Bei einem negativen Phasenwinkel liegen die umgekehrten Verhältnisse vor.

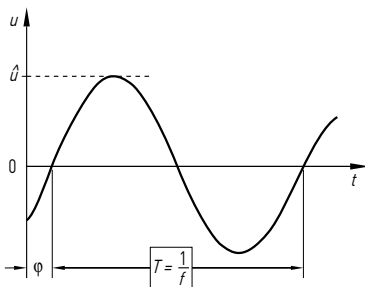


Bild 3.4 Sinusförmige Zeitfunktion

Das Produkt $2 \cdot \pi \cdot f$ wird als Kreisfrequenz ω bezeichnet. Damit lassen sich Gleichungen einfacher und damit auch überschaubarer darstellen.

Kreisfrequenz

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3.3)$$

Für eine sinusförmige Zeitfunktion, die keine Phasenverschiebung aufweist (also im Nullpunkt des Koordinatensystems beginnt), ergibt sich damit:

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) \tag{3.4}$$

Neben sinusförmigen Verläufen sind in der Nachrichtentechnik auch **rechteckförmige Verläufe** von Bedeutung. Bei diesen treten periodisch sprunghafte Wechsel zwischen zwei definierten Spannungswerten auf. Es liegt deshalb Zweiwertigkeit vor, wobei auch diese Zeitfunktion durch Amplitude, Frequenz, Periodendauer und Phasenwinkel beschreibbar ist (**Bild 3.5**).

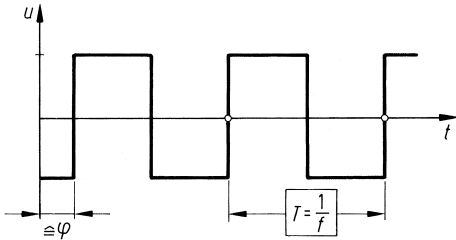


Bild 3.5 Rechteckförmige Zeitfunktion

Eine rechteckförmige Zeitfunktion muss weder symmetrisch zur Zeitachse verlaufen noch während der Periodendauer gleiche Anteile für die beiden Signalwerte aufweisen. Eine typische Variante liegt vor, wenn der Minimalwert der Funktion 0 V beträgt (also auf der auch als Zeitachse bezeichneten x-Achse verläuft) und der Maximalwert weniger als die Hälfte der Periodendauer T vorliegt. Es handelt sich dann um eine periodische Folge von Impulsen, die als Puls oder Impulsfolge bezeichnet wird (**Bild 3.6**).

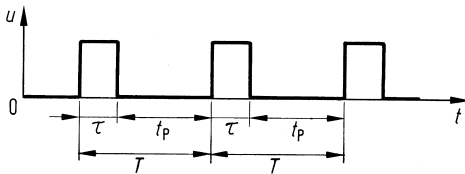


Bild 3.6 Puls (Impulsfolge)

Die Periodendauer eines Pulses unterteilt sich in die Impulsdauer T und die Impulspause t_p , während sich die Pulsfrequenz f_p aus dem Kehrwert der Periodendauer ergibt.

Als Information über den zeitlichen Abstand zwischen den Impulsen und damit auch über die Impulspause wurden der Tastgrad g und als dessen Kehrwert das Tastverhältnis v definiert. Es gilt:

$$g = \frac{\tau}{T} \Leftrightarrow v = \frac{T}{\tau} \tag{3.5}$$

Ist der Tastgrad vorgegeben, dann berechnet sich die Impulspause t_p wie folgt:

$$t_p = T - \tau = T \cdot (1 - g) \tag{3.6}$$

**Beispiel:**

Für eine Impulsfolge mit der Pulsfrequenz $f_p = 1 \text{ kHz}$ und dem Tastgrad $g = 0,5$ soll die Impulsdauer T und die Impulspause t_p ermittelt werden:

1. Schritt: Berechnung der Periodendauer

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1 \text{ kHz}} = 1 \text{ ms}$$

2. Schritt: Berechnung der Impulsdauer gemäß Gleichung (3.5)

$$\tau = g \cdot T = 0,5 \cdot 1 \text{ ms} = 0,5 \text{ ms}$$

3. Schritt: Berechnung der Impulspause gemäß Gleichung (3.6)

$$t_p = T - \tau = 1 \text{ ms} - 0,5 \text{ ms} = 0,5 \text{ ms}$$

Im Beispiel weisen Impulsdauer und Impulspause gleiche Werte auf, die Impulsfolge ist also zeitlich symmetrisch aufgebaut. Der Tastgrad hängt unmittelbar von der Impulsdauer ab:

Kurze Impulsdauer → Kleiner Tastgrad

Lange Impulsdauer → Großer Tastgrad



Der Tastgrad kann Werte zwischen 0 und 1 aufweisen.

Bei digitalen Signalen handelt es sich im Prinzip um rechteckförmige Zeitfunktionen mit dem in vorstehendem Beispiel vorgegebenen Tastgrad $g = 0,5$. Sie weisen somit einen für Impulsdauer und Impulspause gleiches Zeitraster auf. Bei jedem Schritt wird eine Elementarentscheidung getroffen, da der Signalwert entweder den Zustand 0 oder den Zustand 1 aufweist. Diese kleinstmögliche Informationseinheit wird als **Bit** bezeichnet, abgeleitet von dem englischen Begriff „binary digit“.



Kennzeichnendes Merkmal digitaler Signale: Bit [binary digit]

Bei der digitalen Kommunikation handelt es sich deshalb um die kontinuierliche Übertragung von Bits, also beliebigen Folgen von Nullen und Einsen. Als Einheit für die Elementarentscheidung wurde „bit“ festgelegt.



1 bit = 1 Elementarentscheidung (0 oder 1)

Große Bitmengen lassen sich mit den üblichen Vorzeichen wie folgt angeben:

Kilobit:	1 kbit	=	10^3 bit	=	1000 bit
Megabit:	1 Mbit	=	10^6 bit	=	1 000 000 bit
Gigabit:	1 Gbit	=	10^9 bit	=	1 000 000 000 bit

Die Übertragung vorgegebener Bitmengen ist gekennzeichnet durch die Übertragungsgeschwindigkeit, wobei stets der Bezug auf die Zeiteinheit Sekunde (s) erfolgt. Die als Bitrate bezeichnete Übertragungsgeschwindigkeit v_{bit} weist konsequenterweise die Einheit „bit/s“, also Bit pro Sekunde, auf.



Bitrate = Übertragungsgeschwindigkeit digitaler Signale v_{bit}
Einheit: bit/s

Für die Angabe großer Bitraten lassen sich auch hier die Vorzeichen verwenden:

Kilobit pro Sekunde:	1 kbit/s	=	1000 bit/s
Megabit pro Sekunde:	1 Mbit/s	=	1 000 000 bit/s
Gigabit pro Sekunde:	1 Gbit/s	=	1 000 000 000 bit/s

Bei der Angabe von Bitraten tauchen oftmals auch die Bezeichnungen kbps und Mbps auf. Hierbei handelt es sich um die im englischen Sprachraum übliche Einheitenkennzeichnung für die Übertragungsgeschwindigkeit digitaler Signale:

kbps [kilobit per second] = kbit/s

Mbps [Megabit per second] = Mbit/s

Aus der Bitrate lässt sich durch Kehrwertbildung die maximal zulässige Bitdauer ermitteln.



Beispiel:

Bezogen auf eine Bitrate von 10 Mbit/s soll die maximale Bitdauer berechnet werden.

$$t_{\text{bit}} = \frac{1}{10 \text{ Mbit/s}} = \frac{1}{10^7 \text{ bit/s}} = 10^{-7} \text{ s/bit} = 0,1 \mu\text{s/bit}$$

Das einzelne Bit darf also nur $0,1 \mu\text{s}$ (= 100 ns) dauern.

Je größer die Bitrate, desto kleiner wird die zulässige Bitdauer. Damit auf der Empfangsseite die einzelnen Bits noch unterschieden werden können, darf die Bitdauer allerdings bestimmte Werte nicht unterschreiten. Diese hängen vom Übertragungsverfahren und der eingesetzten Technologie ab (**Bild 3.7**).

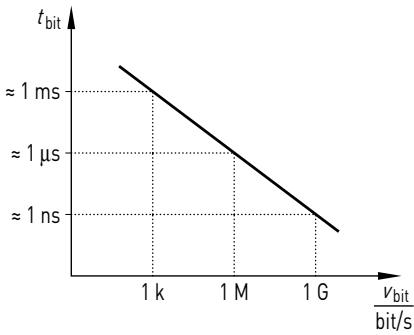


Bild 3.7 Zusammenhang zwischen Bitrate und Bitdauer

In der Nachrichtentechnik treten bei digitalen Signalen häufig auch Gruppen von 8 bit auf. Für eine solche zusammenhängende Folge von Bits gilt die Bezeichnung **Byte**. Als Einheit wurde „B“ gewählt, es ist aber auch „Byte“ üblich.

Bei Speichern erfolgt die Angabe der Kapazität in der Regel in Byte. Dabei werden folgende Potenzen zur Basis 2 verwendet:

1 KB	=	2^{10} B	=	1024 Byte
1 MB	=	2^{20} B	=	1 048 576 Byte
1 GB	=	2^{30} B	=	1 073 741 824 Byte

Grundsätzlich kann die Bitrate auch bezogen auf Bytes angegeben werden.

■ 3.2 Frequenzabhängige Signale

Während bei der Zeitfunktion Signalwert und Zeit einander zugeordnet sind, ist es bei der **Frequenzfunktion** der Signalwert und die Frequenz. Dabei gilt als vereinbart, dass sich Angaben stets auf sinusförmige Verläufe beziehen, die bekanntlich durch Amplitude, Frequenz und Phasenwinkel gekennzeichnet sind.

Der Bezug auf sinusförmige Verläufe ermöglicht den einfachen Übergang zwischen Zeit- und Frequenzfunktionen. Die Frequenzabhängigkeit ist für die Amplitude und den Phasenwinkel darstellbar (**Bild 3.8**). Da bei sinusförmiger Spannung zwischen dem Scheitelwert (Amplitude) und dem Effektivwert eine feste Verkopplung besteht, unterscheiden sich die Ergebnisse nur durch einen konstanten Faktor.

Bei der Frequenzabhängigkeit des Phasenwinkels ist stets ein Referenzwert erforderlich. Dabei stellt die Größe des Phasenwinkels ein Maß für die Signallaufzeit dar.

Bei den üblicherweise als Frequenzgang bezeichneten Frequenzfunktionen sind folgende Formen unterscheidbar:

- **Amplituden-Frequenzgang** [amplitude frequency response] (auch als Amplitudengang bezeichnet): Darstellung der Amplitude (oder des Effektivwertes) in Abhängigkeit von der Frequenz (**Bild 3.9**)

- **Phasen-Frequenzgang** [phase frequency response]
 (auch als Phasengang bezeichnet):
 Darstellung des Phasenwinkels in Abhängigkeit von der Frequenz (**Bild 3.10**)

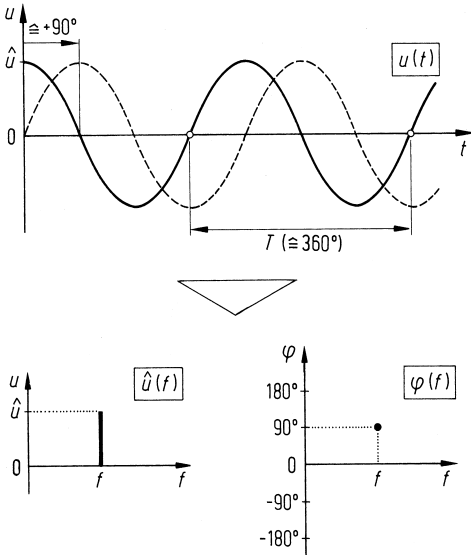


Bild 3.8 Übergang zwischen Zeit- und Frequenzfunktion

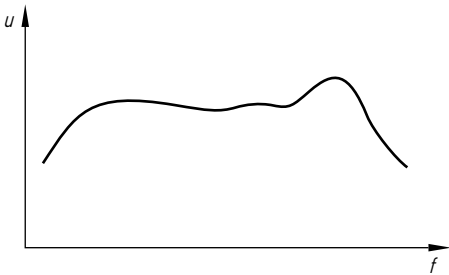


Bild 3.9 Amplituden-Frequenzgang

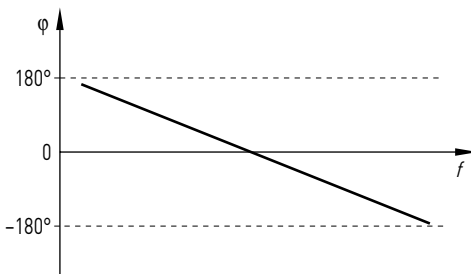


Bild 3.10 Phasen-Frequenzgang

Ein Spezialfall des Amplituden-Frequenzgangs liegt vor, wenn nur für einzelne Frequenzen Amplituden auftreten. Diese werden dann als Spektrallinien bezeichnet. Ihre Abstände zueinander können gleich aber auch unregelmäßig sein.

In der Nachrichtentechnik kommen Signale mit unterschiedlichen Frequenzen zum Einsatz. Sie reichen vom Hz-Bereich bis zum GHz-Bereich. Für Funkanwendungen werden zum Beispiel die Frequenzen von 9 kHz bis 345 GHz verwendet (**Tabelle 3.1**).

Tabelle 3.1 Frequenzbereiche der Funktechnik

Bezeichnung [deutsch]	Bezeichnung [englisch]	Frequenz f	Wellenlänge λ
Megameterwellen	extremely low frequencies (ELF)	kleiner 3 kHz	größer 100 km
Myriameterwellen	very low frequencies (VLF)	3 ... 30 kHz	100 ... 10 km
Kilometerwellen	low frequencies (LF)	30 ... 300 kHz	10 ... 1 km
Hektometerwellen	medium frequencies (MF)	0,3 ... 3 MHz	1000 ... 100 m
Dekameterwellen	high frequencies (HF)	3 ... 30 MHz	100 ... 10 m
Meterwellen	very high frequencies (VHF)	30 ... 300 MHz	10 ... 1 m
Dezimeterwellen	ultra high frequencies (UHF)	0,3 ... 3 GHz	100 ... 10 cm
Zentimeterwellen	super high frequencies (SHF)	3 ... 30 GHz	10 ... 1 cm
Millimeterwellen	extremely high frequencies (EHF)	30 ... 300 GHz	10 ... 1 mm

Für die Nutzung der Frequenzen gibt es eine klassische Einteilung, nämlich Niederfrequenz (NF), Hochfrequenz (HF) und Höchsthfrequenz. Es gibt dafür zwar keine festgelegten Grenzen, jedoch gilt NF bis etwa 50 kHz, während der GHz-Bereich zur Höchsthfrequenz zählt. Die Frequenzen dazwischen bilden somit den Hochfrequenzbereich.

Während bei leitungsgebundener Übertragung von Signalen elektrische Leitungen oder Lichtwellenleiter als Übertragungsmedium verwendet werden, ist es bei jeder Funkübertragung stets die Luft. Es kommen deshalb für dieses Medium elektromagnetische Wellen zum Einsatz. Als Schnittstellen für diesen Übertragungsweg ist auf der sendenden Seite wie auf der empfangenden Seite jeweils eine Antenne erforderlich.

■ 3.3 Pegel und ihre Anwendungen

Bei allen in der Nachrichtentechnik verwendeten Signalen handelt es sich bekanntlich um Verläufe physikalischer Größen. Sie werden durch Messung und/oder Berechnung ermittelt und stellen für die Anwendungen wichtige Informationen dar. In der elektrischen Nachrichtentechnik spielen dabei folgende Größen eine wichtige Rolle:

- Elektrische Spannung [voltage]
Formelzeichen: U
Einheit: V (Volt)
- Elektrische Wirkleistung [power]
Formelzeichen: P
Einheit: W (Watt)