

HANSER

Elektrische und elektronische Messtechnik

Rainer Felderhoff

Grundlagen, Verfahren, Geräte und Systeme

ISBN 3-446-40571-2

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40571-2> sowie im Buchhandel

1 Messtechnische Grundlagen

1.1 Aufgabenstellung der Messtechnik

1.1.0 Kompetenzen

Nach Durcharbeiten dieses Kapitels können Sie die Begriffe Messgröße und Messwert unterscheiden, die Begriffe Messinstrument, Messgerät, Messaufbau und Mess-System beschreiben, die Basisfunktionen der Messtechnik aufzeigen, den Begriff Prüfen interpretieren und die Einsatzbereiche der Messtechnik darstellen.

1.1.1 Grundbegriffe

Wie lang? Wie schnell? Wie schwer? Hier handelt es sich um typische Fragestellungen, die jedem aus dem Alltag bekannt sind. Dabei ist stets eine messtechnische Aufgabe formuliert. Es soll nämlich die als zu messende Größe vorgegebene Messgröße (z. B. die Länge eines Gegenstandes) als Teil oder Vielfaches einer festgelegten Einheit (z. B. Meter (m)) angegeben werden. Dies erfolgt durch den Vergleich der Messgröße mit der Einheit und führt zum Messwert, bestehend aus einem Zahlenwert und dem Kurzzeichen für die jeweilige Einheit. Es handelt sich bei dem Zahlenwert im Prinzip um den Multiplikator mit dem Einfachen der Einheit.

Messgröße = zu messende Größe

Messen bedeutet Vergleich der Messgröße mit der jeweiligen Einheit.

$\text{Messwert} = \text{Zahlenwert} \cdot \text{Einheit}$
--

Beispiel 1.1–1

Die Messung der Spannung an einer Autobatterie soll erläutert werden.

Die Messgröße ist die Spannung, für die das Formelzeichen U gilt. Für die Einheit der Spannung ist Volt (V) festgelegt. Der Vergleich der Messgröße mit der Einheit ergibt:

$$U = 12 \cdot 1 \text{ V}$$

$$\underline{\underline{U = 12 \text{ V}}}$$

Zur Durchführung einer Messung ist stets eine Messeinrichtung erforderlich. Bezogen auf die in diesem Buch vorgesehene Behandlung der elektrischen und elektronischen Messtechnik kann es sich dabei um ein Messinstrument, ein Messgerät, einen Messaufbau oder ein Mess-System handeln.

Jede Messung erfordert eine Messeinrichtung.

Analoge Messinstrumente sind mit Messwerken ausgestattete Messeinrichtungen, bei denen der Messwert mit Hilfe eines Zeigers auf einer Skala

Analoges Messinstrument

d. h. Messwertangabe durch Zeiger auf Skala (Steuerung durch Messwerk)

angezeigt wird. Bei digitalen Messinstrumenten erfolgt die Angabe der Messwerte über eine elektronische Anzeige, im Regelfall als Display bezeichnet.

Messgeräte nehmen die Funktion von Messinstrumenten wahr, sie weisen jedoch zahlreiche Einstellmöglichkeiten auf, als Beispiel seien die Messbereiche erwähnt. Dadurch ist gegenüber Messinstrumenten ein vielfältiger Einsatz möglich. Bei dieser Art von Messeinrichtungen werden auch umfangreichere Displays für die Anzeige verwendet.

Wenn für die Durchführung von Messaufgaben ein einzelnes Messgerät nicht ausreicht, dann wird eine Zusammenschaltung verschiedener Geräte und Komponenten benötigt. Dafür gilt der Begriff Messaufbau.

Erfolgt ein Messvorgang in einem Messaufbau ausschließlich rechnergestützt, dann handelt es sich um ein Mess-System. Dies ist jedoch unabhängig davon, dass viele Messgeräte bereits Prozessoren für die interne Steuerung enthalten.

Bei den Messgrößen kann es sich um elektrische Größen (z. B. Spannung U) oder nichtelektrische Größen (z. B. Drehzahl n) handeln. Da dieses Buch nur elektrische und elektronische Messverfahren behandelt, erfolgt bei nichtelektrischen Messgrößen zuerst eine Wandlung in elektrische Größen, die dann entsprechend verarbeitet werden können.

Jede Messaufgabe soll verständlicherweise ein konkretes Ergebnis aufweisen. Dabei kann es sich um einen einzelnen Messwert handeln oder um eine aus mehreren Messwerten gebildete Angabe.

1.1.2 Funktionsweise

Jede Messeinrichtung weist folgende Basisfunktionen auf:

Wegen dieser Abfolge der Schritte ist auch die Bezeichnung EVA-Prinzip üblich.

In der Praxis sind nicht immer exakte Messwerte erforderlich, sondern häufig ist bereits die Erkenntnis ausreichend, ob ein vorgegebener Wert überschritten oder unterschritten wird. Bei der Feststellung solcher Vorgaben handelt es

Digitales Messinstrument

d.h. Messwertangabe über elektronische Anzeige (Display)

Messgeräte sind Messinstrumente mit Einstellmöglichkeiten (z. B. Messbereiche).

Messgeräte können auch umfangreiche Displays aufweisen.

Messaufbau =

Zusammenschaltung verschiedener Geräte und Komponenten zur Durchführung von Messaufgaben

Mess-System =

Messaufbau, bei dem der Messvorgang rechnergestützt erfolgt

Arten von Messgrößen

- Elektrische Messgrößen
- Nichtelektrische Messgrößen

Messergebnis =

einzelner Messwert oder aus mehreren Messwerten gebildete Angabe

Eingabe \Rightarrow Messgröße

Verarbeitung

Ausgabe \Rightarrow Messwert

Prüfen (= Testen) =

Feststellen, ob ein vorgegebener Wert überschritten oder unterschritten wird

sich um Prüfvorgänge, für die auch die Bezeichnung Test gilt.

Das Prüfen stellt somit einen Sonderfall des Messens dar, da nicht der genaue Messwert das angestrebte Ergebnis ist, sondern lediglich die Information über die Lage des Messwertes in einem vorgegebenen Bereich.

Übung 1.1–1

Gilt das EVA-Prinzip auch beim Prüfen?

Die Mess- und Prüftechnik arbeitete ursprünglich nur mit analogen Verfahren, in der Zwischenzeit ist jedoch die digitale Technik mindestens in gleichem Umfang gegeben.

Bei messtechnischen Aufgaben sind Einzelmessungen nicht immer ausreichend, häufig werden nämlich Messwerte in Abhängigkeit von der Zeit t , dem Ort x oder der Frequenz f benötigt. Diese mehrfachen Messungen bezeichnen wir als Messreihen. Sie können neben der üblichen Auflistung auch in einem rechtwinkligen Koordinatensystem überschaubar dargestellt werden.

Beispiel 1.1–2

Es soll das Konzept einer auf die Zeit t bezogenen Messreihe für die Ausgangsspannung U einer Stromversorgungseinheit aufgezeigt werden.

Für die Erstellung der Messreihe messen wir die Spannung am Ausgang der Stromversorgungseinheit zu verschiedenen Zeiten, wobei konstante Zeitabstände üblich sind. Jeder Messwert wird dann für den richtigen Zeitpunkt in das Spannungs-Zeit-Diagramm eingetragen. Damit ist einfach erkennbar, ob die Ausgangsspannung auch über längere Zeit in einem vorgegebenen Toleranzbereich liegt.

Bei der Messtechnik sind bezüglich der Anforderungen und Randbedingungen folgende Einsatzbereiche unterscheidbar:

Bei Forschung und Entwicklung handelt es sich um typische Labortätigkeit. Diese umfasst Einzelmessungen und Messreihen, stellt aber in der Praxis nur einen kleinen Teil der Messtechnik dar.

Einen sehr wichtigen Bereich stellt die Messtechnik bei Fertigung und Produktion dar.

Prüfen ist ein Sonderfall des Messens.

Mess- und Prüftechnik

- Analoge Verfahren
- Digitale Verfahren

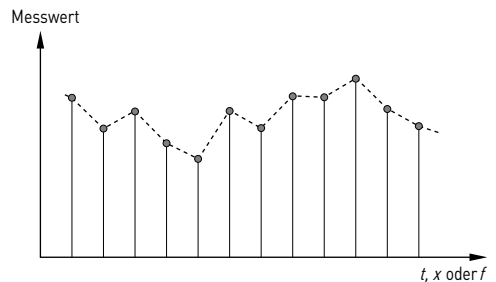


Bild 1.1–1 Messreihe

Einsatzbereiche der Messtechnik

- Forschung und Entwicklung
- Fertigung und Produktion
- Betrieb und Service

Forschung und Entwicklung



Einzelmessungen und Messreihen im Labor

Hierbei handelt es sich um das Problemfeld der Qualitätssicherung, was zu umfangreichen Messreihen führt. Das Ziel ist dabei die Feststellung, ob das jeweilige Produkt vorgegebene Messwerte im Rahmen eines festgelegten Toleranzbereiches aufweist. Tendieren die Werte der Messreihen gegen eine der Grenzen, dann können rechtzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, um die Qualität des Produktes durchgehend zu gewährleisten.

Übung 1.1–2

Welches Merkmal weist die Messtechnik bei Produktion und Fertigung auf?

Der Betrieb von Geräten und Anlagen, aber auch der damit verbundene Service (Kundendienst) ist ein weiteres wichtiges Gebiet für die Messtechnik. Hier sind im Regelfall einzelne Messungen oder Prüfungen erforderlich. Sie dienen jeweils der Feststellung, ob ermittelte Werte im Rahmen eines für den Betrieb vertretbaren Toleranzbereiches liegen.

Für alle aufgezeigten Einsatzbereiche der Messtechnik gilt dasselbe Konzept. Zuerst muss die Messgröße erfasst werden, bei nichtelektrischen Größen ist eine entsprechende Wandlung in eine elektrische Größe erforderlich. Danach erfolgt die Verarbeitung, also die Ermittlung des Messwertes. Den Abschluss bildet die Ausgabe des Ergebnisses. Dies kann wahlweise oder gleichzeitig durch Anzeige, Ausdruck oder Speicherung erfolgen.

Fertigung und Produktion



Messreihen zur Feststellung, ob die Messwerte den vorgegebenen Toleranzbereich einhalten

Betrieb und Service



Einzelmessungen zur Feststellung, ob vorgegebene Betriebsparameter eingehalten werden

Schrittfolge für alle Einsatzbereiche:

- Erfassung** der Messgröße
(ggf. Wandlung)
- Verarbeitung**
(d. h. Ermittlung des Messwertes)
- Ausgabe** des Messwertes
(durch Anzeige, Ausdruck und/oder Speicherung)

Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.1

1. Was wird unter dem Begriff EVA-Prinzip verstanden?
2. Wodurch unterscheiden sich die drei Einsatzbereiche der Messtechnik?

1.2 Messgrößenerfassung

1.2.0 Kompetenzen

Nach Durcharbeiten dieses Kapitels können Sie die Aufgabenstellung von Messgrößenaufnehmern erklären, Formen von Messgrößenaufnehmern unterscheiden, den Begriff Mess-Signal interpretieren, das Konzept der Fernmessung beschreiben, Mehrkanal-Messgrößenaufnehmer skizzieren und Einsatzfelder für Messgrößenvandler darstellen.

1.2.1 Erfassung elektrischer Messgrößen

Als wichtigste Messgröße in der elektrischen und elektronischen Messtechnik gilt die elektrische Spannung U , weil sie einfach zu messen ist und andere Messgrößen auf sie zurückgeführt werden können. Für alle weiteren Betrachtungen soll deshalb die elektrische Spannung als Bezug gelten, wenn nicht abweichende Angaben erfolgen.

Beispiel 1.2–1

Wie kann die Messgröße elektrischer Strom I auf die elektrische Spannung U zurückgeführt werden? Der elektrische Strom I ist als proportionale elektrische Spannung U darstellbar, wenn er durch einen definierten Widerstand fließt und an diesem das Spannungsgefälle gemessen wird. Es gilt das Ohm'sche Gesetz.

In der Praxis treten die Messgrößen im Regelfall an solchen Stellen auf, wo die Messeinrichtung nicht unmittelbar Platz finden kann. Es sind deshalb Messgrößenaufnehmer erforderlich, die dann über Kabel oder eine sonstige Verbindung an die eigentliche Messeinrichtung angeschlossen sind.

Betrachtung der elektrischen Spannung U als typische Messgröße

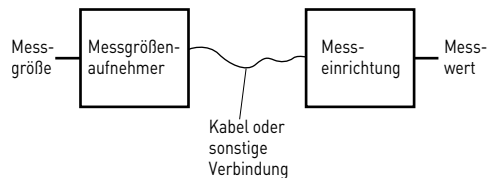


Bild 1.2–1 Messgrößenaufnehmer

Messgrößenaufnehmer können unterschiedliche Formen aufweisen. Die einfachste Version stellt ein Kontaktpunkt dar, an dem das Kabel zur Messeinrichtung angelötet oder verschraubt ist. Soll wechselweise an verschiedenen Stellen gemessen werden, dann bieten sich dafür schlanke stabförmige Hülsen mit metallischen Spitzen an, die wir als Mess-Spitzen, Tastköpfe, Messköpfe, Sonden oder Sensoren bezeichnen.

Da bei elektrischen Größen (z. B. der Spannung) häufig zwischen zwei Punkten zu messen ist, wobei einer auch Erde, Masse oder sonstiger gemeinsamer Bezugspunkt sein kann, sind die Messgrößenaufnehmer entsprechend zu konzipieren. Die Kontakte zur Messgrößenaufnahme können dabei auch mit leicht handhabbaren Klemmen versehen sein.

Formen von Messgrößenaufnehmern:

- Mess-Spitzen
- Tastköpfe
- Messköpfe
- Sonden
- Sensoren

Messung erfolgt häufig zwischen zwei Punkten.



Gemeinsamer Bezugspunkt (z. B. Erde) ist möglich

Übung 1.2–1

Welche Aufgabe soll ein Messgrößenaufnehmer bezogen auf die zu messende Stelle primär erfüllen?

Messgrößenaufnehmer sind wichtige Komponenten bei jedem Messaufbau, weil nur auf diese Weise die Messgröße für die Messung

erfasst werden kann. Es handelt sich um das Mess-Signal, also den Verlauf der zu messenden elektrischen Größe in Abhängigkeit von der Zeit t , die dann zur Messeinrichtung übertragen wird.

In der Praxis kann sich die Situation ergeben, dass zwischen dem Messort und der Messeinrichtung große Entfernungen liegen. Dabei sind durchaus auch mehrere Kilometer möglich. Wir sprechen dann von Fernmessung, wobei der Messgrößenaufnehmer das Mess-Signal für die Übertragung entsprechend aufbereiten muss. Der einfachste Fall ist dabei eine definierte Verstärkung, um die Verluste des Übertragungskanals zu kompensieren.

Der Messgrößenaufnehmer übernimmt im Bedarfsfall auch die Aufgabe einer Messgrößenwandlung. Dabei wird die zu messende Größe in eine andere umgewandelt. Dies erfolgt immer dann, wenn dadurch Übertragung und/oder Verarbeitung optimiert werden können.

Beispiel 1.2–2

Es soll die Strommessung als Einsatzmöglichkeit für Messgrößenwandlung dargestellt werden.

Fließt der Strom I durch einen definierten Widerstand R , dann ergibt sich eine dem Stromwert proportionale Spannung U . Diese lässt sich im Regelfall einfacher zur Messeinrichtung übertragen, weshalb die aufgezeigte Strom-Spannungs-Wandlung eine zweckmäßige Lösung darstellt.

Übung 1.2–2

Können Aufbereitung des Mess-Signals für Fernmessung und Messgrößenwandlung gleichzeitig auftreten?

Bei verschiedenen Anwendungen kann sich der Bedarf ergeben, gleichzeitig an verschiedenen örtlich benachbarten Stellen zu messen. In solchen Fällen bieten sich Messgrößenaufnehmer an, die eine entsprechende Zahl von Aufnahmekontakten aufweisen. Es ist dann mehrkanalige Messung möglich, wobei erfasste und gegebenenfalls auch gewandelte Mess-Signale auf demselben Weg zur Messeinrichtung übertragen werden.

Mehrkanal-Messgrößenaufnehmer können wir als eine Parallelschaltung mehrerer unabhängiger Einkanal-Messgrößenaufnehmer betrachten.

Mess-Signal = Zeitfunktion der Messgröße

Große Entfernung zwischen Messort und Messeinrichtung



Fernmessung

Aufbereitung des Mess-Signals für Fernmessung durch Messgrößenaufnehmer

Messgrößenwandlung =

Wandlung der vorgegebenen Messgröße in eine andere elektrische Größe

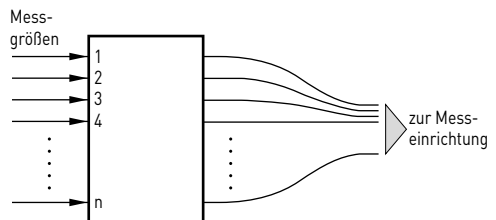


Bild 1.2–2 Mehrkanal-Messgrößenaufnehmer

1.2.2 Erfassung nichtelektrischer Messgrößen

Um nichtelektrische Messgrößen mit elektrischer oder elektronischer Messtechnik verarbeiten zu können, ist stets ein Messgrößenwandler erforderlich, der das nichtelektrische Signal in ein elektrisches Signal umformt. Es gilt deshalb auch die Bezeichnung Messgrößenumformer.

Derartige Wandler weisen im Idealfall eine lineare Kennlinie auf, die zu messende nichtelektrische Größe (z. B. die Temperatur) wird dabei proportional in eine elektrische Größe (z. B. Spannung) umgesetzt. Dies gilt allerdings nur für einen vorgegebenen Arbeitsbereich, der durch einen Wandlerfaktor gekennzeichnet werden kann (z. B. 50 mV/°C).

Die Messgrößenwandler bilden in vielen Fällen mit den Messgrößenaufnehmern eine Baueinheit, die Wandlung in die elektrische Größe wird also im Regelfall direkt am Messort durchgeführt. Danach erfolgt die bereits bekannte Übertragung zur Messeinrichtung.

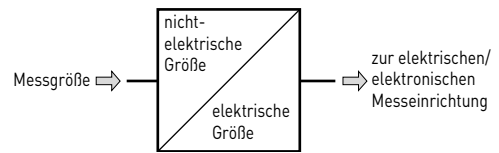


Bild 1.2–3 Messgrößenwandler

Wandlerfaktor „elektrische Größe/nichtelektrische Größe“ gilt nur für einen vorgegebenen Arbeitsbereich der Kennlinie des Messgrößenwandlers.

Anwendungsorientierte Aufgaben zu Kapitel 1.2

1. Wie kann die elektrische Leistung P auf die elektrische Spannung U zurückgeführt werden?
2. Welche Anforderung muss bei jeder Messgrößenwandlung grundsätzlich erfüllt sein?
3. Welchen Vorteil bietet die Wandlung nichtelektrischer Größen in elektrische Größen?

1.3 Messwertarten

1.3.0 Kompetenzen

Nach Durcharbeiten dieses Kapitels können Sie Zeit- und Frequenzfunktion unterscheiden, Periodendauer und Frequenz definieren, die Besonderheiten der sinusförmigen Zeitfunktion darstellen, spektrale Darstellungen bewerten, Spitzenwerte und Spitze-Tal-Werte erklären, die Varianten der Mittelwerte berechnen und den Bedarf für die verschiedenen Messwertarten aufzeigen.

1.3.1 Zeitfunktionen und Frequenzfunktionen

Messgrößen und die damit verbundenen Messwerte treten nur in Ausnahmefällen als einzelne impulsartige Signale auf. Es würde sich dann um stochastische Messwerte handeln.

Im Regelfall kann bei Messgrößen und damit auch bei Messwerten von einer ausgeprägten Zeitabhängigkeit ausgegangen werden. Dies ist durch Graphen darstellbar. Dabei handelt es sich um Linienzüge in rechtwinkligen (kartesischen) Koordinatensystemen. Auf der Abszisse (= waagerechte Achse) wird die Zeit t aufgetragen und auf der Ordinate (= senkrechte Achse) die Skala für die Messwerte (z. B. elektrische Spannung u). Diese Darstellung der Zeitabhängigkeit des Messwertes bezeichnen wir als Zeitfunktion $f(t)$.

Zeitfunktionen können beliebige Verläufe mit positiven und negativen Messwerten aufweisen. Ein Beispiel ist im **Bild 1.3–1** dargestellt, und zwar für die elektrische Spannung.

In der Praxis sind zwei Sonderfälle bei den Zeitfunktionen von besonderer Bedeutung. Der eine ist gegeben, wenn der Messwert keine Abhängigkeit von der Zeit aufweist, also ein konstanter positiver oder negativer Wert vorliegt.

Die andere Variante der Zeitfunktion liegt vor, wenn sich deren Verlauf in definierten Zeitabständen wiederholt. Es handelt sich dabei um periodische Verläufe. Wir sprechen von einer vollen Periode, wenn die Wiederholung des Verlaufs beginnt, weshalb die Zeit für eine vollständige Periode als Periodendauer T [period] bezeichnet wird. Es gilt folgende Definition:

Die Zeitabhängigkeit von Messwerten kann grafisch dargestellt werden.

Rechtwinkliges Koordinatensystem

- Waagerechte Achse: Abszisse
- Senkrechte Achse: Ordinate

Zeitfunktion der elektrischen Spannung

$$u = f(t) \quad (1.3-1)$$

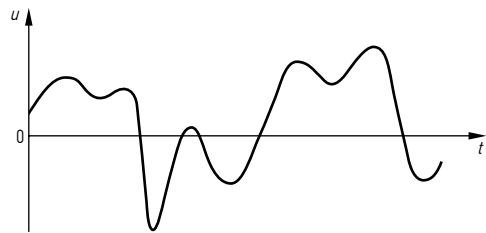


Bild 1.3–1 Zeitfunktion mit beliebigem Verlauf

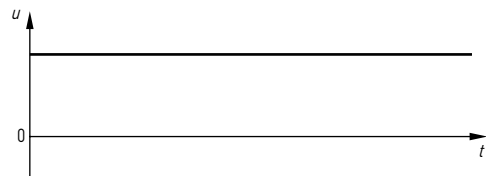


Bild 1.3–2 Zeitfunktion mit konstantem Verlauf

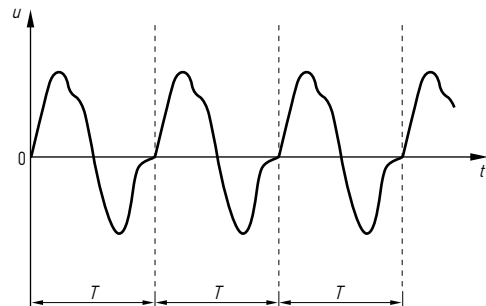


Bild 1.3–3 Zeitfunktion mit periodischem Verlauf

Periodendauer T [period] =
Zeitdauer, in welcher der Messwert eine volle Periode durchläuft

Die Zahl der Perioden, die pro Sekunde durchlaufen werden, ergibt die Frequenz f [frequency]. Sie ist deshalb der Kehrwert der Periodendauer.

Frequenz f [frequency] =
Zahl der vollständigen Perioden des Messwertes pro Sekunde

$$f = \frac{1}{T} \tag{1.3-2}$$

Übung 1.3-1

Welche Gemeinsamkeiten haben Zeitfunktionen mit konstantem und periodischem Verlauf?

Von besonderer Wichtigkeit sind in der Praxis periodische Zeitfunktionen mit sinusförmigem Verlauf, die wir auch als harmonische Zeitfunktionen bezeichnen.

Den sinusförmigen Verlauf können wir uns mit Hilfe eines Kreises erklären, in dem sich der Radius als Zeiger mit der Geschwindigkeit v bewegt. Für jeden Winkel α zwischen Zeiger und Abzisse ergibt sich ein bestimmter Wert für die trigonometrische Beziehung $\sin \alpha$. Als Graph dargestellt, erhalten wir die Sinusfunktion mit dem Winkel α als unabhängige Variable.

Harmonische Zeitfunktionen sind periodische Zeitfunktionen mit sinusförmigem Verlauf.

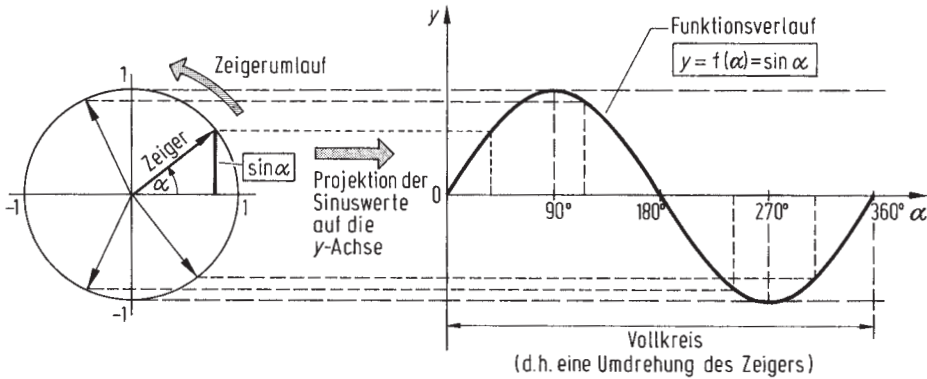


Bild 1.3-4 Sinusfunktion

Für harmonische Zeitfunktionen gilt als vereinbart, dass die Umläufe des Zeigers mit konstanter Geschwindigkeit v erfolgen, wobei ein voller Umlauf der Periodendauer T entspricht. Bezogen auf den Einheitskreis, also einen Kreis mit Radius $r = 1$, ergibt sich:

$$v = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{2 \cdot \pi}{T} \tag{1.3-3}$$

Diese Geschwindigkeit bezeichnen wir als Kreisfrequenz ω oder auch Winkelgeschwindigkeit. Es gilt:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \tag{1.3-4}$$

Der Zusammenhang zwischen einem vollen Umlauf und einem nicht vollständigen Umlauf lässt sich wie folgt beschreiben:

$$\frac{\omega \cdot T}{360^\circ} = \frac{\omega \cdot t}{\alpha} \quad (1.3-5)$$

Bei Sinusfunktionen ist deshalb statt des Winkels α oder der Zeit t die Größe $\omega \cdot t$ für die Abszisse verwendbar.

Jede Sinusfunktion weist eine positive und eine negative Halbwelle gleicher Größe auf. Den jeweils größten Wert dieser Halbwellen bezeichnen wir als Amplitude \hat{u} .

Per Definition beginnt die Sinusfunktion im Koordinatennullpunkt. Damit liegt die Amplitude der positiven Halbwelle bei einem Viertel der Periodendauer. In der Praxis sind aber auch sinusförmige Verläufe möglich, deren Maxima früher oder später auftreten. Sie weisen dann eine Phasenverschiebung gegenüber der Bezugsfunktion auf, was durch den Phasen(verschiebungs)winkel φ angegeben wird. Ist die Winkelangabe positiv, dann beginnt die Sinuskurve früher. Es gilt dann der Begriff Voreilung. Bei negativer Winkelangabe liegt konsequenterweise eine Nacheilung vor, die Sinuskurve beginnt dabei entsprechend später.

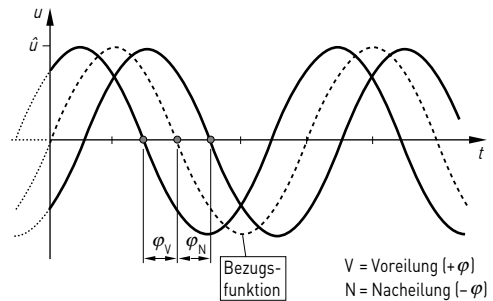


Bild 1.3-5 Phasenverschiebung

Unter Einbeziehung möglicher Phasenverschiebung erhalten wir für die Sinusfunktion folgende allgemeine mathematische Form:

Sinusförmige Spannung

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t \pm \varphi) \quad (1.3-6)$$

Ein spezieller Fall der Phasenverschiebung einer Sinusfunktion liegt vor, wenn für den Phasenwinkel $\varphi = 90^\circ$ gilt, also die Funktion eine viertel Periode (also $\pi/2$) voreilt. Es handelt sich dann um die Kosinusfunktion:

$$\begin{aligned} u(t) &= \hat{u} \cdot \cos(\omega \cdot t) \\ &= \hat{u} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (1.3-7)$$

Beispiel 1.3-1

Bei welchen Messgrößen treten in der Praxis typischerweise sinusförmige Verläufe auf?

Bei der Netzspannung (230 V) sind sinusförmige Verläufe gegeben. Dies gilt auch für reine Tonsignale, sei es als Schalldruck oder elektrische Spannung.

Übung 1.3-2

Durch welche drei Angaben sind Sinusfunktion und Kosinusfunktion gekennzeichnet?