

## Thema: Wechselstrom

Fach: VP

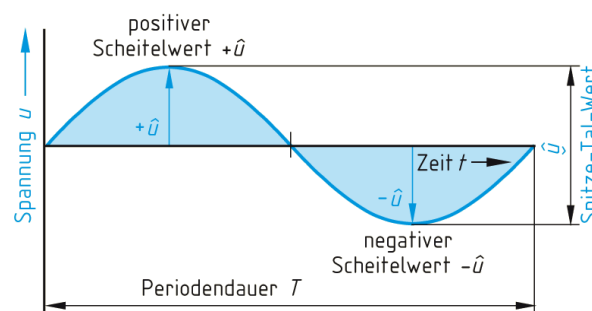
Datum: \_\_\_\_\_

Zur Energieübertragung und zur Energieversorgung, z. B. für Haushalte und Betriebe, verwendet man Wechselspannungen.

### 1 Kenngrößen der Wechselstromtechnik

#### 1.1 Periode und Scheitelwert

Die Wechselspannung ändert sich ständig zwischen einem positiven und einem negativen Höchstwert. Ein solcher Höchstwert wird auch als Scheitelwert, Spitzenwert oder Amplitude bezeichnet. Die Differenz aus dem positiven und dem negativen Scheitelwert ergibt den Spitze-Tal-Wert (auch  $u_{ss}$  = Spitze-Spitze-Wert). Das Hin- und Herpendeln der Spannung zwischen einem positiven und einem negativen Scheitelwert wiederholt sich regelmäßig: Die Spannung ändert sich periodisch



Eine Periode besteht aus zwei Halbperioden. Die Zeitdauer einer ganzen Periode bezeichnet man als Periodendauer oder Schwingungsdauer  $T$ ; sie wird in Sekunden gemessen.

Wechselstrom und Wechselspannung werden durch die Kurzbezeichnung AC gekennzeichnet.

#### 1.2 Frequenz und Periodendauer

Die Anzahl der Perioden je Sekunde nennt man Frequenz  $f$  (Häufigkeit). Die Einheit der Frequenz ist Hertz (Einheitenzeichen Hz).

Die Frequenz ist umso größer, je kleiner die Periodendauer ist. Die Frequenz ist der Kehrwert der Periodendauer.

Der Wechselstrom aus dem Energieversorgungsnetz hat in Europa 50 Perioden je Sekunde (50 Hz). In den USA beträgt die Frequenz 60Hz und in Japan 50 Hz oder 60 Hz. Die Deutsche Bahn betreibt ihr Fahrleitungsnetz mit  $16 \frac{2}{3}$  Hz. In der Elektrotechnik und Elektronik werden für verschiedene Anwendungen unterschiedliche Frequenzbereiche benutzt.

Frequenz und Periodendauer		
$f = \frac{1}{T}$	$T = \frac{1}{f}$	$[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$
$f$	Frequenz	
$T$	Periodendauer, Zeitdauer einer vollständigen Schwingung	

## 2 Sinusförmige Wechselgrößen

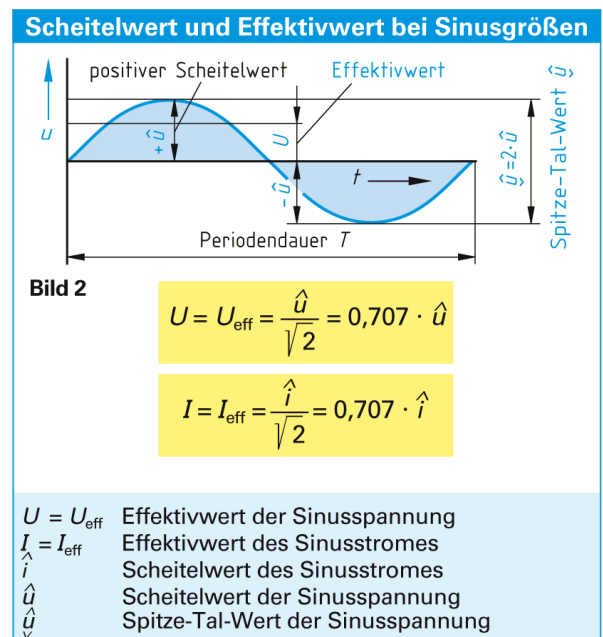
Eine Wechselspannung bzw. einen Wechselstrom mit zeitlich sinusförmigem Verlauf nennt man Sinusspannung bzw. Sinusstrom.

### 2.1 Scheitelwert und Effektivwert bei sinusförmigen Wechselgrößen

Die Gleichspannung ist so groß wie der Effektivwert der Wechselspannung. Somit ist der Gleichstrom so groß wie der Effektivwert des Wechselstromes.

Der Effektivwert des Wechselstromes ist so groß wie ein Gleichstrom derselben Wärmewirkung.

In der Energietechnik werden bei Sinusströmen und Sinusspannungen, z. B. Netzspannung 230 V, immer Effektivwerte angegeben. Bei der Berechnung des Effektivwertes geht man vom Mittelwert der Wechselstromleistung aus. Die augenblickliche Leistung  $P$  des Sinusstromes  $i$  an einem Widerstand  $R$  ist  $P = u \cdot i = i^2 \cdot R$ . Die Sinusleistung ändert sich mit dem Quadrat des Stromes und hat doppelte Frequenz. Der Effektivwert heißt auch geometrischer (quadratischer) Mittelwert.



Durch Auffüllen der Täler mit der oberen Hälfte der Leistungskurve erhält man ein flächengleiches Rechteck und somit den arithmetischen Mittelwert der Wechselstromleistung  $P_{\text{eff}}$ . Er ist bei Sinusverlauf halb so groß wie der Höchstwert  $\beta$  der Sinusleistung.

Effektivwerte, z. B.  $U$ ,  $I$  oder  $P$ , werden wie Gleichgrößen mit Großbuchstaben bezeichnet.

In der Praxis sind bei Messungen von Sinusgrößen meist nur die Effektivwerte von Interesse. Deshalb werden Drehspulmessgeräte mit Gleichrichtern sowie einfache digitale Messgeräte für Effektivwerte von Sinusgrößen geeicht.

Das Verhältnis Scheitelwert zu Effektivwert nennt man Scheitelfaktor. Er hat bei Sinusgrößen den Wert  $\sqrt{2}$ .

## 2.2 Phasenverschiebung

Erreichen zwei periodische Vorgänge gleicher Frequenz zu verschiedenen Zeiten sowohl ihre Null-durchgänge als auch zu verschiedenen Zeiten ihre Scheitelwerte, so sind die periodischen Vorgänge phasenverschoben (zeitlich verschoben). Die Größe der zeitlichen Verschiebung nennt man Phasenverschiebung'.

Zwischen Sinusstrom und Sinusspannung besteht eine Phasenverschiebung, wenn Strom und Spannung zu verschiedenen Zeitpunkten ihre positiven Scheitelwerte erreichen.

## 2.3 Wirkwiderstand

Einen Widerstand, der im Wechselstromkreis die gleiche Wirkung hat wie im Gleichstromkreis, bezeichnet man als Wirkwiderstand R. Am Wirkwiderstand sind Spannung und Strom phasengleich.

In jedem Wirkwiderstand, der ein ohmscher Widerstand ist, wird elektrische Energie in eine andere Energieform. z. B. in Wärme, umgesetzt. Wirkwiderstände sind z. B. Glühlampen und Heizwiderstände. Wirkwiderstände können aus den Effektivwerten von Strom und Spannung berechnet werden.

## 2.4 Scheinwiderstand

Der Widerstand der Spule ist an Sinusspannung größer als bei Gleichspannung. Den Widerstand bei Sinusstrom nennt man Scheinwiderstand Z (Impedanz).

Der Scheinwiderstand Z ist eine Rechengröße und wird aus den Effektivwerten von Sinusstrom und Sinusspannung berechnet.

$$Z = \frac{U}{I}$$

Der Scheinwiderstand einer Spule besteht aus dem Wirkwiderstand und dem induktiven Blindwiderstand.

## 2.5 Spule im Wechselstromkreis

### 2.5.1 Induktiver Blindwiderstand

Die Stromaufnahme einer Spule an Wechselspannung ist kleiner als an Gleichspannung. Ursache dafür ist der induktive Blindwiderstand  $X_L$ . Der induktive Blindwiderstand entsteht durch die Selbstinduktionsspannung in der Spule, die auf den Sinusstrom  $I$  hemmend wirkt.

Induktiver Blindwiderstand	
Bei Sinusspannung:	
$X_L = \frac{U_{bl}}{I}; X_L = \omega \cdot L$	
$[L] = \frac{Vs}{A} = H$	$[X_L] = \frac{1}{s} \cdot \frac{Vs}{A} = \Omega$
H: Henry, Einheit der Induktivität L	
$U_{bl}$	induktive Blindspannung
$I$	Strom
$X_L$	induktiver Blindwiderstand
$\omega$	Kreisfrequenz
$L$	Induktivität

Eine Spule im Wechselstromkreis hat einen induktiven Blindwiderstand, der durch Selbstinduktion entsteht.

Der Strom erzeugt einen phasengleichen magnetischen Fluss. Als Folge der Flussänderung entsteht eine Selbstinduktionsspannung. Die Selbstinduktionsspannung wirkt hemmend auf den Anstieg bzw. Abfall des Stromes. Der Spulenstrom erreicht seinen Scheitelwert jeweils eine Viertelperiode (90°) später als die Spannung  $U_{bl}$  an der Spule.

Am induktiven Blindwiderstand eilt der Wechselstrom der Wechselspannung um 90° nach.

Eisen verstärkt die magnetische Flussdichte und damit die Spuleninduktivität. Je größer die Induktivität der Spule ist, desto größer ist die Selbstinduktionsspannung und damit auch der Blindwiderstand. Der rechnerisch ermittelte Scheinwiderstand  $Z$  der Spule enthält den Wirkwiderstand  $R$  der Spule und den von der Spuleninduktivität  $L$  abhängigen induktiven Blindwiderstand  $X_L$ .

Der induktive Blindwiderstand  $X_L$  einer Spule ist umso größer, je größer die Induktivität  $L$  der Spule und je höher die Frequenz  $f$ .

## 3 Leistungen im Wechselstromkreis

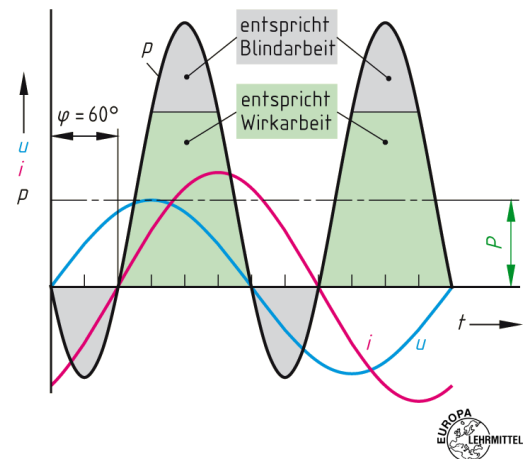
### 3.1 Wirkleistung

Schaltet man einen Wirkwiderstand, z. B. ein Heizgerät, in einen Wechselstromkreis, so sind Spannung und Strom phasengleich. Durch Multiplikation zusammengehöriger Augenblickswerte von Strom und Spannung erhält man die Augenblickswerte der Leistung bei Wechselstrom. Das Linienbild der Wirkleistung  $P$  ist immer positiv. Die Leistung hat jedoch die doppelte Frequenz wie die Spannung. Sie kann deswegen nicht mit Strom und Spannung in ein gemeinsames Zeigerbild gezeichnet werden. Positive Leistung bedeutet einen Energiefluss vom Erzeuger zum Verbraucher.

$$P = \frac{1}{2} \hat{p} = \frac{1}{2} \hat{u} \hat{i} = \frac{1}{2} \sqrt{2} \hat{u} \sqrt{2} \hat{i} = U I$$

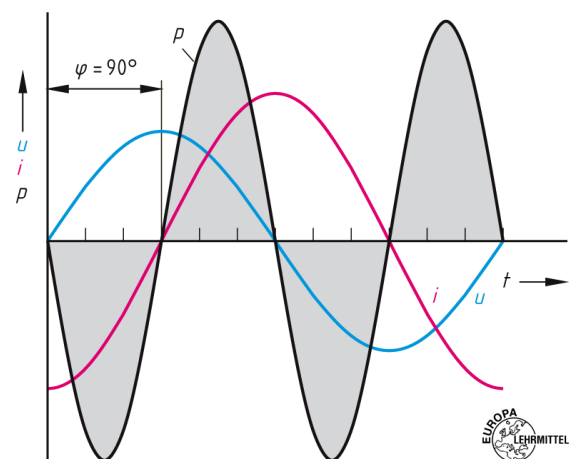
### 3.2 Scheinleistung S

Die Multiplikation der Messwerte von Spannung und Stromstärke ergibt eine scheinbare Leistung, die Scheinleistung S. Der Leistungsmesser zeigt die Wirkleistung P an, die so groß ist wie der Mittelwert aller Augenblickswerte  $p = u \cdot i$ . Die Wirkleistung P ist deshalb bei einer Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung immer kleiner als die Scheinleistung S. Negative Leistung bedeutet, dass Energie an das Netz zurückgeliefert wird. Während der Periodenabschnitte mit positiver Leistung wird Energie aus dem Netz entnommen. Die Differenz zwischen der positiven Energie und der negativen Energie wird in der Spule in Wirkarbeit (Wärme) umgesetzt.



### 3.3 Blindleistung $Q_L$

Liegt im Wechselstromkreis z. B. eine Spule, die als Reihenschaltung einer Induktivität und eines Wirkwiderstands aufgefasst werden kann, so muss man drei Leistungen unterscheiden: Außer der Scheinleistung S treten im Wirkwiderstand R die Wirkleistung P und im induktiven Blindwiderstand die induktive Blindleistung  $Q_L$  auf. Beträgt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung  $90^\circ$ , z. B. bei einer reinen Induktivität oder bei einer reinen Kapazität, so werden die positiven Flächenanteile der Leistungskurve gleich groß wie die negativen.



Die Wirkleistung P ist dann null, und es tritt nur Blindleistung auf. Die ganze Energie pendelt dabei zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her, sie wird in keine andere Energieform, z. B. Wärme, umgesetzt. Eine Blindleistung ist eine Leistung, die keine Wirkung erzielt.

$$S^2 = P^2 + Q_L^2$$

$$P = S \cos \Phi$$

$$Q_L = S \sin \Phi$$