



## 7.4 Wechselstromleistung

### 7.4.1 Wirkleistung

Schaltet man einen Wirkwiderstand, z.B. ein Heizgerät, in einen Wechselstromkreis, so sind Spannung und Strom phasengleich (**Bild 1**). Durch Multiplikation zusammengehöriger Augenblickswerte von Strom und Spannung erhält man die Augenblickswerte der Leistung bei Wechselstrom. Das Linienbild der Wirkleistung ist immer positiv (**Bild 1**). 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.

Die Wechselstromleistung hat den Scheitelwert  $\hat{P} = \hat{U} \cdot \hat{I}$ . Sie kann durch Flächenverwandlung in eine gleichwertige Gleichstromleistung, die sogenannte **Wirkleistung**  $P$ , umgewandelt werden (**Bild 1**). Beim Wirkwiderstand ist die Wirkleistung halb so groß wie der Scheitelwert  $\hat{P}$  der Leistung.

Zur Bestimmung der Wechselstromleistung rechnet man immer mit den Effektivwerten.

### 7.4.2 Scheinleistung

**Versuch:** Schließen Sie eine Spule an Wechselspannung 50 Hz an (**Bild 2**). Messen Sie Stromstärke, Spannung und Leistung mit dem Leistungsmesser. Vergleichen Sie das Produkt aus Spannung und Stromstärke mit der Anzeige des Leistungsmessers.

Die berechnete Leistung ist größer als die Anzeige des Leistungsmessers.

Die Multiplikation der Messwerte von Spannung und Stromstärke ergibt eine scheinbare Leistung. Man nennt diese Leistung deshalb **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  $\varphi$  zwischen Strom und Spannung immer kleiner als die **Scheinleistung**  $S$  (**Bild 3**). Periodenabschnitte mit negativer Leistung bedeuten, 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.

<sup>1</sup> nach DIN 1304 anstelle von VA (Voltampere) auch W

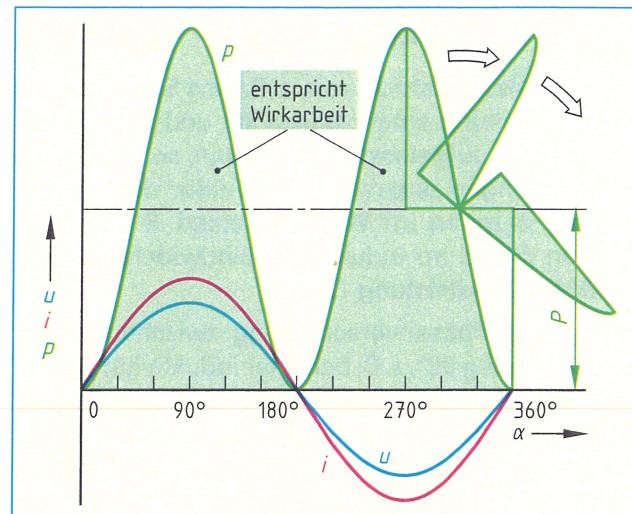


Bild 1: Wechselstromleistung bei Wirklast

#### Scheitelwerte und Effektivwerte bei Wirklast

$$P = \frac{1}{2} \cdot \hat{P} = \frac{1}{2} \cdot \hat{U} \cdot \hat{I} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot U \cdot \sqrt{2} \cdot I = U \cdot I$$

$P$  Wirkleistung [ $P$ ] =  $W$   
 $\hat{U}, \hat{I}$  Scheitelwerte: Leistung, Strom, Spannung  
 $U, I$  Effektivwerte: Spannung, Strom

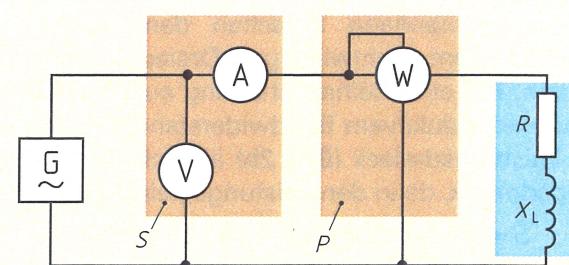


Bild 2: Ermittlung der Wirkleistung und Scheinleistung

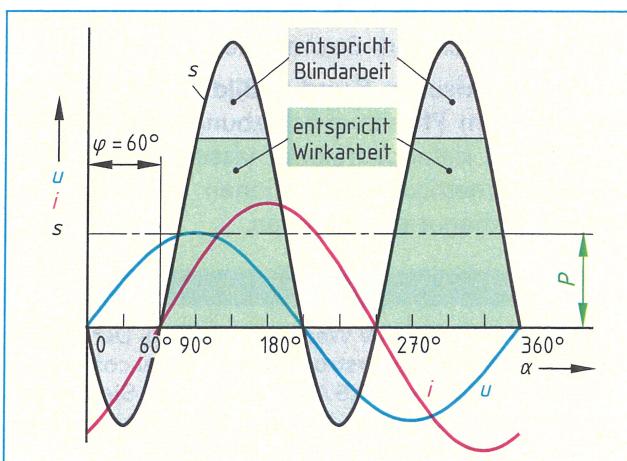


Bild 3: Wechselstromleistung (Phasenverschiebung  $\varphi = 60^\circ$ )

#### Scheinleistung

$$S = U \cdot I$$

$$[S] = V \cdot A = VA^1$$

$S$  Scheinleistung  
 $U$  Spannung (Effektivwert)  
 $I$  Strom (Effektivwert)



### 7.4.3 Blindleistung

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 Induktivität (**Bild 1**) oder bei einer Kapazität, so werden die positiven Flächenteile 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.

Bei reinen Induktivitäten und reinen Kapazitäten tritt nur Blindleistung auf.

### 7.4.4 Leistungsdreieck bei induktiver Last

Der Zusammenhang zwischen den Leistungen kann in einem rechtwinkligen Dreieck dargestellt werden. Für eine Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand (**Bild 2a**) ist das Leistungsdreieck (**Bild 2b**) ähnlich dem Spannungsdreieck, da in den Leistungsgleichungen

$$S = U \cdot I \text{ und } P = U_w \cdot I \text{ und } Q_L = U_{BL} \cdot I$$

jedesmal derselbe Strom auftritt. Bei einer Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand (**Bild 3a**) ist das Leistungsdreieck (**Bild 3b**) ähnlich dem Stromdreieck.

Der Winkel zwischen  $P$  und  $S$  (**Bild 2b** und **Bild 3b**) ist gleich dem Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$ . Die Seiten des Leistungsdreiecks lassen sich mithilfe der trigonometrischen Funktionen oder mit dem Satz des Pythagoras berechnen.

#### Beispiel:

Eine Spule liegt an 24 V Wechselspannung. Der Strommesser im Verbraucherstromkreis zeigt bei  $\cos \varphi = 0,9$  eine Stromstärke von 2,5 A an. Berechnen Sie Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung sowie den auftretenden Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$ .

#### Lösung:

$$S = U \cdot I = 24 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A} = 60 \text{ VA} = 60 \text{ W}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi = 60 \text{ VA} \cdot 0,9 = 54 \text{ W}$$

$$Q_L = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{60^2 \text{ (VA)}^2 - 54^2 \text{ W}^2} = 26,15 \text{ var} = 26,15 \text{ W}$$

$$\text{Für } \cos \varphi = 0,9 \text{ erhält man } \varphi = 25,84^\circ$$

<sup>1</sup> var = Volt Ampere reaktiv; reaktiv (lat.) = rückwirkend; nach DIN 1304 anstelle von var auch W

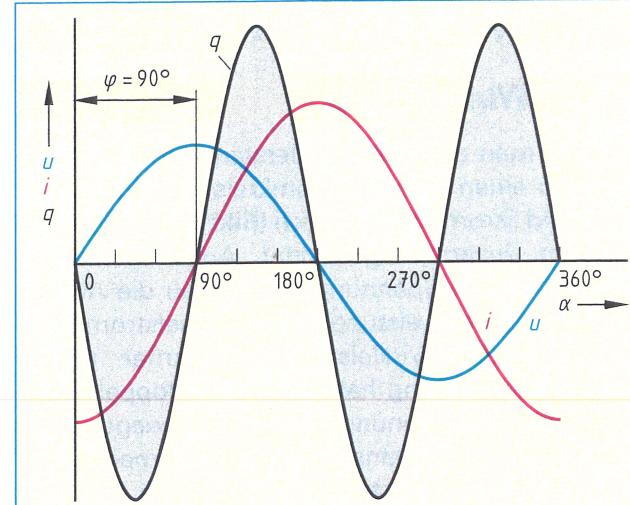


Bild 1: Induktive Blindleistung

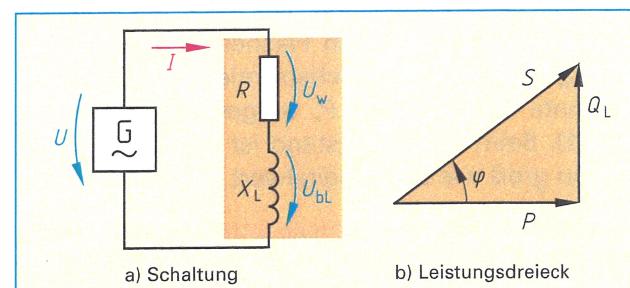


Bild 2: Leistungen bei RL-Reihenschaltung

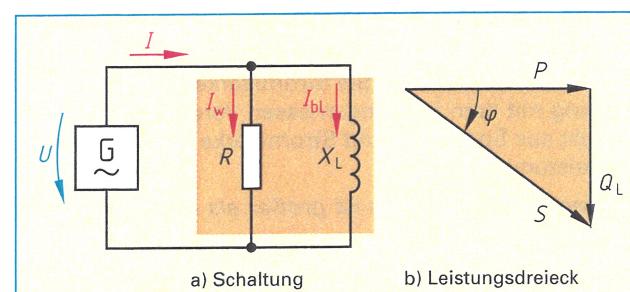


Bild 3: Leistungen bei RL-Parallelschaltung

#### Leistungen bei induktiver Last

$$S^2 = P^2 + Q_L^2 \Rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} \quad S = U \cdot I$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow P = S \cdot \cos \varphi \quad P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{Q_L}{S} \Rightarrow Q_L = S \cdot \sin \varphi \quad Q_L = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_L}{P} \quad Q_L = P \cdot \tan \varphi$$

$S$ Scheinleistung	$[S] = \text{VA} = \text{W}$
$P$ Wirkleistung	$[P] = \text{W}$
$Q_L$ induktive Blindleistung	$[Q_L] = \text{var}^1 = \text{W}$
$\varphi$ Phasenverschiebungswinkel	



### 7.4.5 Leistungsfaktor

Das Verhältnis von Wirkleistung zu Scheinleistung nennt man Wirkleistungsfaktor oder Wirkfaktor.

Bei Sinusströmen stimmt der Wirkleistungsfaktor mit dem  $\cos \varphi$  überein. Der Wirkleistungsfaktor ist ein Maß dafür, welcher Teil der Scheinleistung in Wirkleistung umgesetzt wird. Bei gleich bleibender Wirkleistung und gleich bleibender Spannung ist die Scheinleistung und der Strom umso kleiner, je größer der Wirkleistungsfaktor  $\cos \varphi$  ist.

Soll z.B. Wirkleistung bei einem Wirkleistungsfaktor von  $\cos \varphi = 0,5$  zu einem Verbraucher transportiert werden, so müssen Generatoren, Umspanner und Leitungsnetz bei gleicher Wirkleistung für den doppelten Strom ausgelegt sein als bei  $\cos \varphi = 1$ . Die Anlagenkosten steigen dadurch erheblich. Der Wirkleistungsfaktor kann durch Kompensation der Blindleistung ([Seite 156](#)) verbessert werden.

Das Verhältnis von Blindleistung zu Scheinleistung nennt man Blindleistungsfaktor oder Blindfaktor

#### Beispiel:

In einem Fabriksaal sind 20 Leuchtstofflampen 230 V/58 W angeschlossen. Das Vorschaltgerät nimmt je Lampe 11 W auf. Berechnen Sie die Stromstärke für a)  $\cos \varphi_1 = 0,5$  (unkompensiert) und b)  $\cos \varphi_2 = 0,9$  (kompensiert).

#### Lösung: (siehe auch Bild 2)

a) Leistungsaufnahme je Lampe und Vorschaltgerät:  $P_1 = 58 \text{ W} + 11 \text{ W} = 69 \text{ W}$ . Wirkleistungsaufnahme für 20 Lampen:  $P_G = 20 \cdot 69 \text{ W} = 1380 \text{ W} = 1,38 \text{ kW}$ .

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_G}{S_1} \Rightarrow S_1 = \frac{P_G}{\cos \varphi_1} = \frac{1,38 \text{ kW}}{0,5} = 2,76 \text{ kW} = 2,76 \text{ kVA.}$$

Bei 230 V ist:  $I_1 = \frac{S_1}{U} = \frac{2760 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 12 \text{ A}$  (unkompensiert)

$$\text{b)} S_2 = \frac{P_G}{\cos \varphi_2} = \frac{1,38 \text{ kW}}{0,9} = 1,53 \text{ kVA. } I_2 = \frac{S_2}{U} = \frac{1530 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 6,67 \text{ A} \text{ (kompensiert)}$$

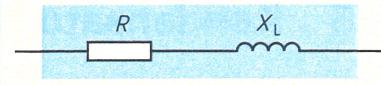


Bild 1: Ersatzschaltung der realen Spule

#### Wirk- und Blindleistungsfaktor

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \sin \varphi = \frac{Q_L}{S}$$

$\cos \varphi$	Wirkleistungsfaktor
$P$	Wirkleistung
$S$	Scheinleistung
$\sin \varphi$	Blindleistungsfaktor
$Q_L$	induktive Blindleistung

**i**  $\cos \varphi = \lambda$ :  $\cos \varphi$  ist der Leistungsfaktor für die Grundschwingung, z.B. 50 Hz. Lambda ( $\lambda$ ) berücksichtigt, neben der Grundschwingung, auch die Oberschwingungsblindleistung.

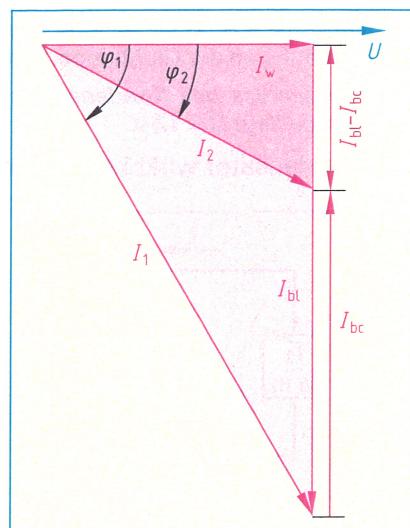


Bild 2: Stromdreieck

### 7.4.6 Verlustleistung bei realen Spulen

Bei Spulen wird ein Teil der elektrischen Energie in unerwünschte Wärme umgesetzt. Dadurch ist die vom Netz aufgenommene elektrische Leistung größer als die ins Netz zurückgegebene elektrische Leistung. Die Differenz zwischen aufgenommener elektrischer Leistung und abgegebener elektrischer Leistung wird als **Verlustleistung** der Spule bezeichnet. Man unterscheidet zwischen Wicklungsverluste und Eisenverluste.

**Wicklungsverluste** (Kupferverluste) entstehen durch den Leiterwiderstand der Wicklung bei Spulen an Gleichspannung und an Wechselspannung.

**Eisenverluste** bei Spulen treten nur bei Wechselspannung auf. Bei den Eisenverlusten unterscheidet man **Hystereseverluste** und **Wirbelstromverluste**. Hystereseverluste entstehen durch die erforderliche Arbeit, die beim Ummagnetisieren des Spulenkerne ständig aufgebracht werden muss. Wirbelstromverluste bilden sich durch Induktionsströme im Spulenkerne, wenn dieser aus elektrisch leitfähigem Material besteht.

In der **Ersatzschaltung der realen Spule (Bild 1)** werden alle Verluste, die in der Spule entstehen, in einem zusätzlichen Wirkwiderstand  $R$  zusammengefasst, weil sich die Spulenverluste in Wärme umsetzen.

#### Wiederholungsfragen

- 1 Welche Frequenz hat die Leistung im Vergleich zur Frequenz der dazugehörigen Spannung?
- 2 Wie groß ist bei einem Wirkwiderstand die Wirkleistung im Vergleich zum Scheitelwert der Leistung?
- 3 Was versteht man unter a) Wirkleistungsfaktor und b) Blindleistungsfaktor?
- 4 Wodurch entsteht bei einer Spule Verlustleistung?
- 5 Welche Verluste unterscheidet man bei Spulen?