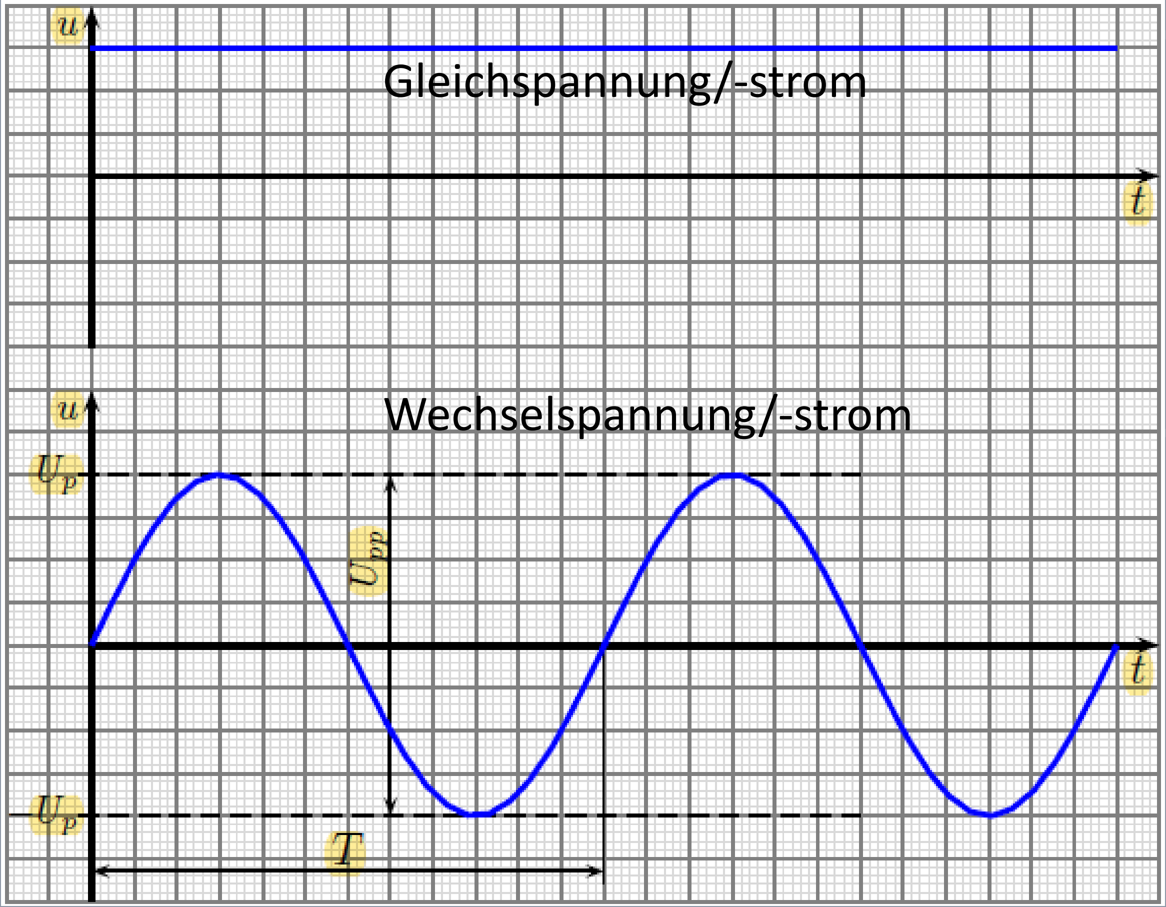
Klaus Dahlheimer
ihr
Online-Dozent

Wechselstromtechnik

Definitionen der Grundgrößen

Ein Gleichstrom fließt immer in der gleichen Richtung. Die zugehörige Gleichspannung ist immer gleich groß und verändert sich nicht.



Die Wechselspannung ist zu jedem Zeitpunkt eine andere. Nicht nur die Spannungshöhe ändert sich, sondern auch die Spannungsrichtung. Der zeitliche Verlauf der hier gezeigten Wechselspannung hat Sinusform. Daher spricht man von Sinusförmiger Wechselspannung. Wenn auch nicht jede Wechselspannung diese Form hat, ist jedoch diese Wechselspannung bei weitem die bedeutendste. Im Verlauf dieses Artikels soll daher immer die Sinusform vorausgesetzt werden, solange nicht ausdrücklich etwas anderes gesagt wird.

Wechselstromtechnik
Grundgrößen

Jede Wechselspannung hat bestimmte Kenngroßen. Dazu gehören unter anderem der **Scheitelwert** **Û** oder **U_p** , die **Spitze-Spitze-Spannung** **U_{ss}** oder **U_{pp}** und die **Periodendauer** ***T*** . Diese drei Größen sind im Diagramm eingetragen.

Anmerkung: Die Bezeichnungen U_p für den Spitzenwert der Spannung (auf englisch: peak) und U_{pp} für den Spitze-Spitze-Wert (peak to peak) sind die neueren heute genormten Bezeichnungen. Weil die alten Bezeichnungen Û für den Scheitelwert und U_{ss} für den Spitze-Spitze-Wert aber auch noch verwendet werden, möchte ich diese hier ebenfalls vorstellen.

Unter dem **Scheitelwert U_p (Û)** versteht man den Betrag des maximal (und minimal) auftretenden Momentanwertes der Spannung. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Spannung gleich weit in den positiven wie in den negativen Bereich verläuft. Man nennt den Scheitelwert der Spannung auch „*Amplitude*“. Die Einheit des Scheitelwertes einer Spannung ist natürlich das Volt, denn auch er ist eine Spannung.

$$U_p = 1\ \text{V}$$

Wechselstromtechnik

Grundgrößen

Wenn man eine Wechselspannung mit dem Oszilloskop misst, dann kann man am einfachsten den **Spitze-Spitze-Wert U_{pp}** bestimmen. Darunter versteht man den Potentialunterschied zwischen der untersten und der obersten Spitze. Bei einer symmetrischen Wechselspannung ist der Wert das Doppelte der Amplitude.

$$U_{pp} = 2 \cdot U_p$$

Die **Periodendauer *T*** ist die Zeitspanne, die abläuft, bis die Spannung wieder den gleichen Zustand erreicht. Eingezeichnet ist im Diagramm die Zeit von einem Nulldurchgang in positiver Richtung bis zum nächsten. Alternativ könnte man aber auch die Zeit von einem Spannungsmaximum bis zum nächsten Maximum messen. Der zugehörige Teil der Kennlinie wird **Periode** genannt. Die Einheit der Periodendauer ist die Sekunde.

$$T = 1\ \text{s}$$

Wechselstromtechnik

Grundgrößen

- Eine weitere wichtige Größe ist die Frequenz f . Darunter versteht man die Anzahl der Schwingungen je Zeiteinheit. Die Einheit der Frequenz ist Hz (gesprochen: Hertz), eine Abkürzung von 1 s^{-1}.
- $$\boxed{f = 1\ \text{Hz} = 1\ \text{s}^{-1}}$$
- Aufgrund der Definition für die Frequenz gilt der formelmäßige Zusammenhang:

$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

- Eine weitere wichtige Größe ist die sogenannte Kreisfrequenz ω. Auf den ersten Blick ist ω durchaus verzichtbar, denn ω ist nur ein Vielfaches von f , genauer:

$$\boxed{\omega = 2 \cdot \pi \cdot f}$$

Wechselstromtechnik

Grundgrößen

Die Kreisfrequenz wird jedoch benötigt, wenn man den Spannungsverlauf mathematisch in den Griff bekommen will. Da ein Vollwinkel im Bogenmaß (bekanntlich) 2 π beträgt und die Winkelfunktionen in der Technik immer in diesem Winkelmaßsystem berechnet werden, kommt dieser Faktor zustande.

Für die Einheit der Kreisfrequenz, die ja auch 1 s^{-1} beträgt, wird im Gegensatz zur Frequenz f nicht die Einheit 1 Hz verwendet. Es bleibt bei 1 s^{-1} oder 1/s .

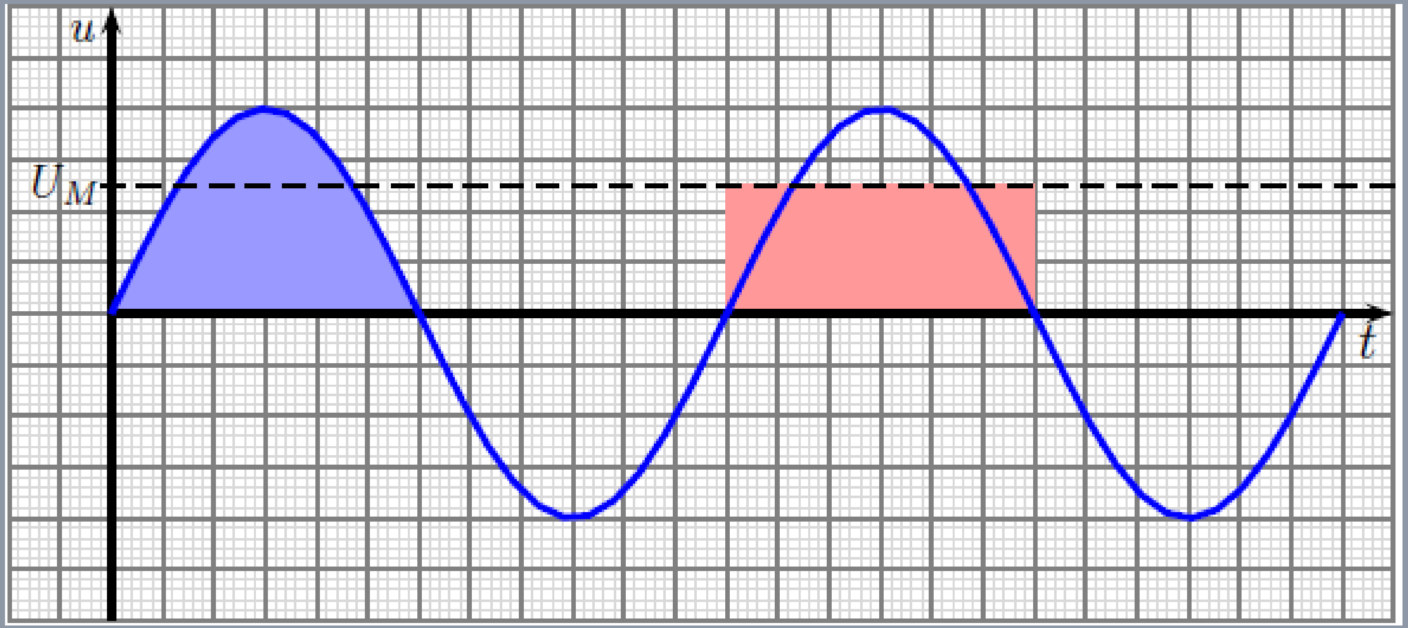
Mit der Kreisfrequenz ω können wir die Funktionsgleichung einer sinusförmigen Wechselspannung angeben. Hierbei ist zu beachten, dass man für zeitveränderliche Größen Kleinbuchstaben verwendet, wie hier das **u** für die zeitveränderliche Spannung. (Ähnliches gilt auch für einen zeitveränderlichen Strom, der dann mit **i** bezeichnet wird.)

$$\boxed{u(t) = U_p \cdot \sin \omega t}$$

Wechselstromtechnik

Mittelwert und Effektivwert

Als Nenngröße für eine Wechselspannung wird der **Effektivwert** verwendet.
Da er gern mit dem **Mittelwert** verwechselt wird, möchte ich diesen zuerst erklären.



Berechnen wir zunächst die linke Fläche unter der Kurve. Das geht mit dem bestimmten Integral von 0 bis T/2 von der Spannungsfunktion.

Wechselstromtechnik

Mittelwert und Effektivwert

Blaue Fläche

$$
\begin{aligned}
A_{Kurve} &= \int_0^{\frac{T}{2}} U_p \cdot \sin \omega t \; dt \\
&= \left[-\frac{U_p}{\omega} \cdot \cos \omega t \right]_0^{\frac{T}{2}} \\
&= \left[-\frac{U_p}{2\pi f} \cdot \cos 2\pi f t \right]_0^{\frac{T}{2}} \\
&= \left[-\frac{U_p}{2\pi \frac{1}{T}} \cdot \cos 2\pi \frac{1}{T} \cdot t \right]_0^{\frac{T}{2}} \\
&= \left[-\frac{U_p \cdot T}{2\pi} \cdot \cos \frac{2\pi}{T} \cdot t \right]_0^{\frac{T}{2}} \\
&= -\frac{U_p \cdot T}{2\pi} \cdot \cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} + \frac{U_p \cdot T}{2\pi} \cdot \cos \frac{2\pi}{T} \cdot 0 \\
&= -\frac{U_p \cdot T}{2\pi} \cdot \cos \pi + \frac{U_p \cdot T}{2\pi} \cdot \cos 0 \\
A_{Kurve} &= \frac{U_p \cdot T}{\pi}
\end{aligned}
$$

Die (rechte rote) Rechteckfläche hat die Höhe U_M und die Breite T/2. Damit ist die Rechteckfläche schnell bestimmt:

$$A_{Rechteck} = U_M \cdot \frac{T}{2}$$

Da beide Fläche gleich sein sollen, kann ich sie mathematisch gleichsetzen.

$$
\begin{aligned}
A_{Rechteck} &= A_{Kurve} \\
U_M \cdot \frac{T}{2} &= \frac{U_p \cdot T}{\pi} \quad \left| \cdot \frac{2}{T} \right. \\
U_M &= \frac{2}{\pi} \cdot U_p
\end{aligned}
$$

Die Konstante 2/π kann auch durch eine dezimale Näherung ausgedrückt werden. Damit erhält man die Formel:

$$\boxed{U_M = \frac{2}{\pi} \cdot U_p \approx 0{,}6366 \cdot U_p}$$

Wechselstromtechnik

Mittelwert und **Effektivwert**

Kommen wir nun zum Begriff “Effektivwert“. Die Definition lautet:

> **Eine Gleichspannung, die in gleichen Zeiträumen die gleiche Wärmeleistung in einem Ohmschen Widerstand zur Folge hat, wie eine Wechselspannung, heißt: *Effektivwert* der Wechselspannung.**

Auch hier gibt es einen Umrechnungsfaktor, der den Effektivwert U_{RMS} mit dem Scheitelwert U_p verknüpft. Diesen Wert wollen wir nun herleiten.

Die Formel zur Berechnung der Arbeit *bei konstanter Leistung* lautet:

$$W = P \cdot t$$

Ist die Leistung zeitabhängig, also nicht konstant, dann muss die Arbeit über das Integral bestimmt werden. Die Arbeit, die vom Zeitpunkt t_1 bis zum Zeitpunkt t_2 verrichtet wird, ist dann:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)\ dt$$

Man wählt genau die Zeit für eine Periode (also die Periodendauer T) zur Bestimmung der Arbeit. Damit erhalten wir:

$$W = \int_{0}^{T} p(t)\ dt$$

Wechselstromtechnik

Mittelwert und **Effektivwert**

Als nächstes müssen wir uns die Funktion p(t) ansehen. Aus der Gleichstromtechnik bekannt ist die Formel, mit deren Hilfe die Leistung P in einem Widerstand R bestimmt werden kann, wenn man eine Spannung U anlegt:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Ist die Spannung U eine Wechselspannung $u(t) = U_p \sin \omega t$, dann muss dieser Term anstelle von U eingesetzt werden. Wir erhalten dann p(t):

$$p(t) = \frac{(U_p \cdot \sin \omega t)^2}{R}$$

Hiermit kann nun die Arbeit W für eine Periode berechnet werden:

$$\begin{aligned} W &= \int_0^T p(t)\ dt \\ W &= \int_0^T \frac{(U_p \cdot \sin \omega t)^2}{R}\ dt \\ W &= \frac{U_p^2}{R} \cdot \int_0^T \sin^2 \omega t\ dt \end{aligned}$$

Wechselstromtechnik

Mittelwert und **Effektivwert**

Um das Integral auflösen zu können, forme ich $\sin^2 \omega t$ mit Hilfe des folgenden Additionstheorems um:

$$\sin^2 \varphi = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos 2\varphi)$$

Das wenden wir nun an und können weiterrechnen:

$$\begin{aligned}
W &= \frac{U_p^2}{R} \cdot \int_0^T \sin^2 \omega t \; dt \\
&= \frac{U_p^2}{R} \cdot \int_0^T \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos 2\omega t) \; dt \\
&= \frac{U_p^2}{2R} \cdot \left(\int_0^T 1 \; dt - \int_0^T \cos 2\omega t \; dt \right) \\
&= \frac{U_p^2}{2R} \cdot \left([t]_0^T - [\omega \cdot \sin 2\omega t \;]_0^T \right) \\
&= \frac{U_p^2}{2R} \cdot \left((T - 0) - (\omega \cdot \sin 0 - \omega \cdot \sin 4\pi) \right) \\
W &= \frac{U_p^2}{2R} \cdot T
\end{aligned}$$

Wechselstromtechnik

Mittelwert und **Effektivwert**

Als nächstes berechnen wir die Arbeit, wenn am Widerstand R eine Gleichspannung der Größe U_{RMS} für die Zeit T anliegt:

$$W = P \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t = \frac{U_{RMS}^2}{R} \cdot T$$

Da die Arbeit mit der Gleichspannung und die Arbeit mit Wechselspannung gleich sein sollen, kann ich sie gleichsetzen:

$$\begin{aligned} \frac{U_{RMS}^2}{R} \cdot T &= \frac{U_p^2}{2R} \cdot T && \Big| \cdot \frac{R}{T} \\ U_{RMS}^2 &= \frac{U_p^2}{2} && \Big| \sqrt{\ } \\ U_{RMS} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_p \end{aligned}$$

Die Konstante $1/\sqrt{2}$ lässt sich – ähnlich, wie zuvor beim Mittelwert – durch eine dezimale Näherung beschreiben. Damit erhalten wir die Formel zur Bestimmung des Effektivwertes der Spannung:

$$\boxed{U_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_p \approx 0{,}7071 \cdot U_p}$$

Wechselstromtechnik

Mittelwert und Effektivwert

Vergleicht man die Umrechnungsfaktoren für den Mittel- und den Effektivwert miteinander, dann kann man erkennen, dass sie zwar grob näherungsweise gleich sind, sich aber doch um etwa 10% unterscheiden. Deshalb darf man sie nicht miteinander verwechseln.

$$\boxed{U_M = \frac{2}{\pi} \cdot U_p \approx 0{,}6366 \cdot U_p}$$

$$\boxed{U_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_p \approx 0{,}7071 \cdot U_p}$$

Man nennt den Effektivwert auch den Quadratischen Mittelwert. Damit ist gemeint, dass die Momentanwerte alle quadriert werden, bevor ein Mittelwert gebildet wird. Das spiegelt sich in der Leistungsformel $P = U^2 / R$ wieder, in der die Spannung im Quadrat vorkommt. Aus diesem Grund verwendet man in neuerer Literatur anstelle von U_{eff} auch die Bezeichnung U_{RMS} für den Effektivwert. Die Buchstaben RMS stehen für *„Root Mean Square"*, was auf deutsch nichts anderes als Quadratischer Mittelwert bedeutet.

Wechselstromtechnik

Übungsfragen zu Grundgrößen der Wechselspannung

Frage 1:

Die Netz-Wechselspannung hat eine Frequenz von f = 50 Hz. Bestimmen Sie:

1. die Periodendauer
2. die Kreisfrequenz

Frage 2:

Die Netz-Wechselspannung hat einen Effektivwert von U_{RMS} = 230 V. Wie groß ist der Scheitelwert U_p?

Frage 3:

Eine Wechselspannung hat einen Effektivwert von U_{RMS} = 10 V. Wie groß ist der Mittelwert U_M ?

Frage 4:

Mit Hilfe eines Oszilloskopes wird der Spitze-Spitze-Wert einer sinusförmigen Wechselspannung mit U_{pp} = 30 V gemessen. Wie groß ist der Effektivwert U_{RMS} der Spannung?

Frage 5:

Mit Hilfe eines Oszilloskopes wird die Periodendauer einer sinusförmigen Wechselspannung mit T = 200 µs gemessen. Wie groß ist die Frequenz f der Spannung?

Wechselstromtechnik

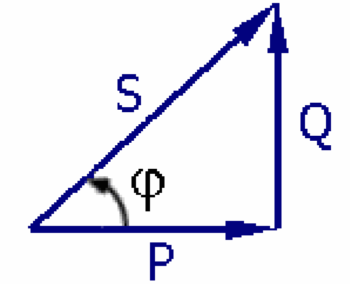
Leistung im Wechselstromkreis

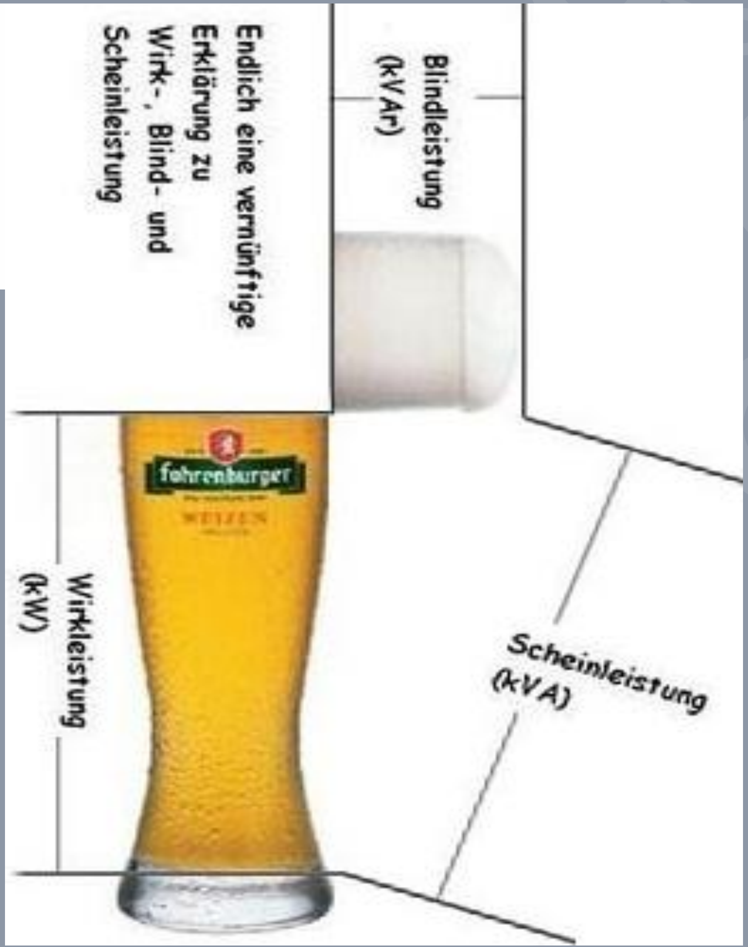
Wird ein induktiver bzw. kapazitiver Widerstand (Spule/Kondensator) an eine Wechselspannung angeschlossen, so tritt analog zu den Widerständen neben dem schon vorhandenen Wirkanteil zusätzlich noch ein Blindanteil in Erscheinung.
Der Blindanteil kommt durch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung der Induktivität bzw. der Kapazität zustande. Bei einem rein ohmschen Widerstand liegen Strom und Spannung in gleicher Phase, daher hat ein rein ohmscher Widerstand keinen Blindanteil.

Der Blindanteil der Leistung wird als **Blindleistung Q** bezeichnet. Seine Einheit ist **var**.
Der Wirkanteil wird als **Wirkleistung P** bezeichnet. Seine Einheit ist **W**.
Die Gesamtleistung im Wechselstromkreis ist die **Scheinleistung S**. Sie hat die Einheit **VA**.
Die Scheinleistung berechnet sich aus der Wirkleistung P und der Blindleistung Q, gemäß dem Satz des Pythagoras, daraus ergibt sich hier:
$S = \text{Wurzel}(Q^2 + P^2)$.
Zur besseren Unterscheidbarkeit der drei Leistungsarten verwendet man die drei unterschiedlichen Einheiten var (Volt-Ampère-réactif), W und VA.

Wechselstromtechnik
Leistung im Wechselstromkreis

Zwischen der Wirkleistung P und der Blindleistung Q gibt es eine Phasenverschiebung von 90°. Das Leistungsdreieck verdeutlicht die Zusammenhänge:





Leistungen im Wechselstromkreis berechnen sich gemäß der folgenden Formeln:

	Formelzeichen	Einheit	Formel	Formel
Scheinleistung	**S**	VA	$S = U \cdot I$	$S = \sqrt{Q^2 + P^2}$
Wirkleistung	**P**	W	$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = S \cdot \cos\varphi$	$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$
Blindleistung	**Q**	var	$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = S \cdot \sin\varphi$	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

Klaus Dahlheimer, Online-Dozent

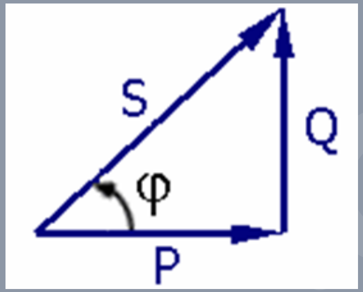
Wechselstromtechnik

Leistung im Wechselstromkreis

Leistungsfaktor cos φ

cos ϕ wird als Wirkleistungsfaktor oder kurz als Leistungsfaktor bezeichnet. Er wird häufig auf den Typenschildern von Elektromotoren angegeben.
Der Leistungsfaktor cos ϕ ist das Verhältnis zwischen Wirkleistung P und Scheinleistung S, er berechnet sich gemäß der Formel:

$$\boxed{\cos\varphi = \frac{P}{S}}$$



Der Leistungsfaktor gibt an welcher Teil der Scheinleistung in die gewünschte Wirkleistung umgesetzt wird.

Der **Blindleistungsfaktor sin φ** gibt das Verhältnis zwischen Blindleistung Q und Scheinleistung S an:

$$\sin\varphi = Q/S$$

Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstände

Schließt man eine Wechselspannung an einen Ohmschen Widerstand an, so ergibt sich ein Strom, dessen Momentanwerte zu jedem Zeitpunkt proportional zu den Momentanwerten der Spannung sind. Es gilt das Ohmsche Gesetz:

$$i(t) = \frac{u(t)}{R}$$

Gehen wir von einer sinusförmigen Spannung gemäß

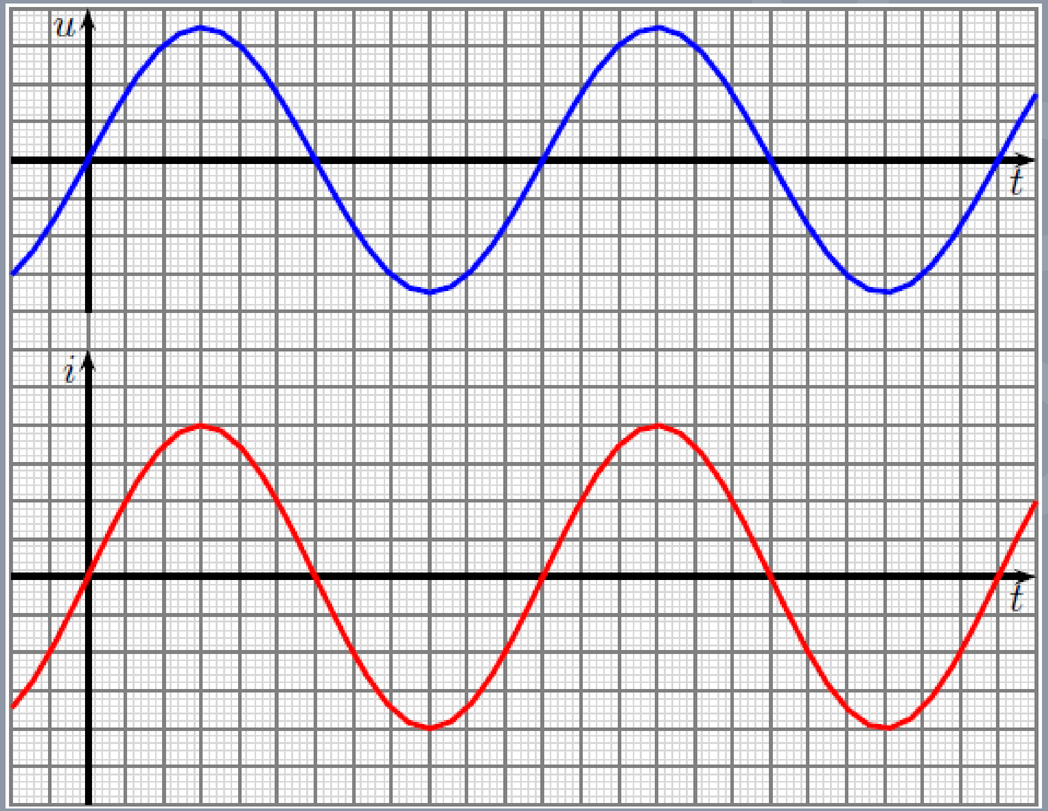
$$u(t) = U_p \cdot \sin \omega t$$

aus, dann erhält man für den Strom:

$$i(t) = \frac{U_p \cdot \sin \omega t}{R} = \frac{U_p}{R} \cdot \sin \omega t$$

Der Wert für U_p/R kann dabei als Scheitelwert des Stromes mit I_p bezeichnet werden:

$$\boxed{I_p = \frac{U_p}{R}}$$



Wechselstromtechnik

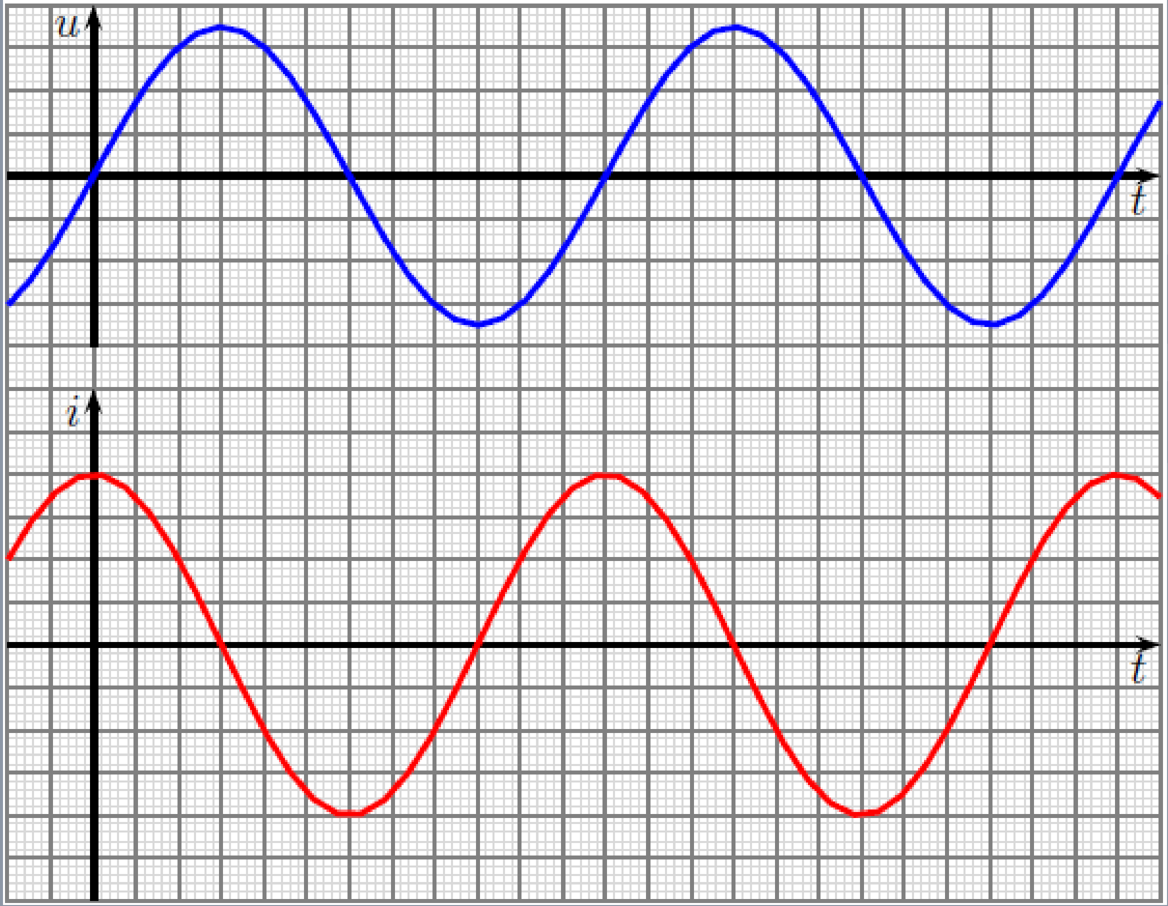
Wechselstromwiderstand eines Kondensators

Nebenstehend ist der Verlauf von Spannung und Strom in einem Kondensator dargestellt. Man kann erkennen, das der Strom keinesfalls proportional zur Spannung ist.

Man sagt: **Es gibt eine *Phasenverschiebung* zwischen Spannung und Strom, der Strom eilt der Spannung um 90° voraus.**

Merksatz:

Am Kondensator der Strom eilt vor.



Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstand eines Kondensators

Ähnlich zum Widerstand kann auch hier der Scheitelwert des Stromes angegeben werden. Berücksichtigt man, dass der Kosinus immer nur Werte zwischen +1 und -1 annehmen kann, erhalten wir:

$$I_p = U_p \cdot \omega C$$

Da für die Scheitelwerte eine Proportionalität zwischen Spannung und Strom besteht, liegt es nahe, hier auch von einem Widerstand zu sprechen. Da der Zusammenhang hier jedoch nicht für die Momentanwerte gilt, bekommt er einem eigenen Namen und ein anderes Formelzeichen. Man nennt diesen Wechselstromwiderstand eines Kondensators Blindwiderstand und gibt ihm das Formelzeichen $\mathbf{X_C}$.

Wir können X_C berechnen:

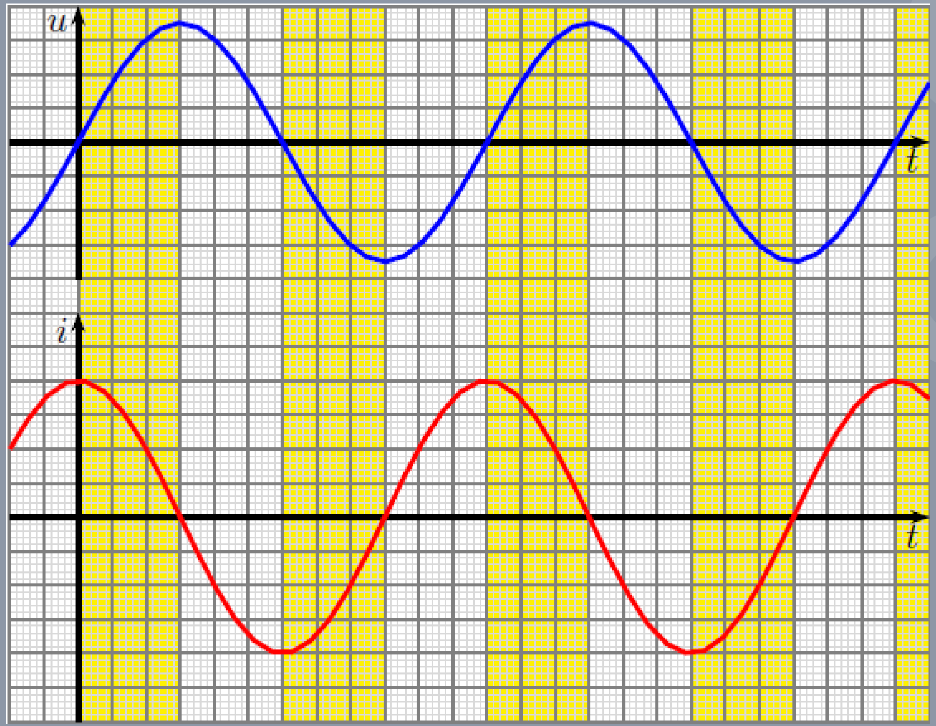
$$\boxed{X_C = \frac{U_p}{I_p} = \frac{U_p}{U_p \cdot \omega C} = \frac{1}{\omega C}}$$

Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstand eines Kondensators

Achtung! Ein Blindwiderstand nimmt keine Wirkleistung (Formelzeichen *P*) auf. Man spricht hier von **Blindleistung**, Formelzeichen ***Q***. Was bedeutet das?

Schaut man sich die Liniendiagramme von Spannung und Strom an, dann stellt man fest, dass bei diesen nur die Hälfte der Zeit die Vorzeichen übereinstimmen. Während dieser (kurzen) Zeitspanne entnimmt der Kondensator tat- sächlich Leistung aus dem Netz und lädt sich damit auf. Diese Zeitspannen sind nebenstehend gelb markiert. Die andere Hälfte der Zeit sind die Polaritäten von Spannung und Strom unterschiedlich. Das bedeutet, dass der Kondensator in dieser Zeitspanne seine gespeicherte Energie wieder ins Netz zurückspeist. Er gibt dann Leistung ab. Die abgegebene Leistung ist identisch mit der zuvor aufgenommenen Leistung, im Mittel wird also keine Leistung aufgenommen. Eine Leistung, die ständig zwischen Erzeuger und Verbraucher hin- und herpendelt, nennt man Blindleistung. Sie ist nicht nutzbar, belastet aber das Stromnetz.



Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstand eines Kondensators

Nimmt eine Schaltung teilweise Wirkleistung und Blindleistung auf, oder ist nicht bekannt, um welche Art Leistung es sich handelt, dann spricht man von Scheinleistung, Formelzeichen **Z**.

Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom liegt dabei irgendwo im Bereich $\pm 90^{\circ}$. Scheinleistung kann in einen Wirkleistungsanteil P (Realteil von *Z*) und einen Blindleistungsanteil Q (Imaginärteil von *Z*) aufgespalten werden.

Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstände einer Spule

An einer idealen Spule { besser: an einer Induktivität { gilt der Zusammenhang zwischen Spannung und Strom:

$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int u(t)\ dt$$

Das unbestimmte Integral über der Spannung nach der Zeit bestimmt zusammen mit der Induktivität die Größe des Stromes. Setzen wir nun die bekannte Funktion für die Spannung

$$u(t) = U_p \cdot \sin \omega t$$

in diese Stromfunktion ein, muss das Integral gebildet werden.

$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int U_p \cdot \sin \omega t\ dt = \frac{1}{L} \cdot \frac{U_p}{\omega} \cdot (-\cos \omega t) + i_0 = -\frac{U_p}{\omega L} \cdot \cos \omega t + i_0$$

Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstände einer Spule

Ähnlich zum kapazitiven Blindwiderstand kann auch hier der Scheitelwert des Stromes angegeben werden. Berücksichtigt man, dass der Kosinus immer nur Werte zwischen +1 und-1 annehmen kann, erhalten wir:

$$I_p = \frac{U_p}{\omega L}$$

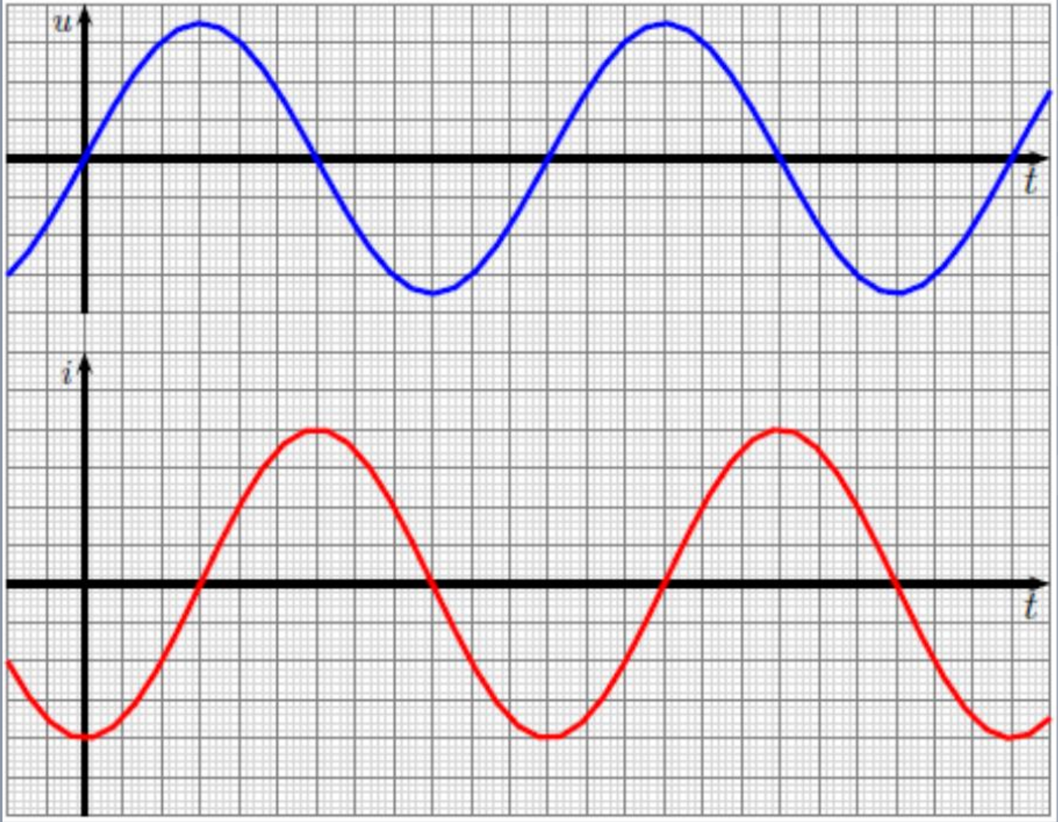
Wir können den Blindwiderstand XL der Induktivität brechnen:

$$\boxed{X_L = \frac{U_p}{I_p} = \frac{U_p}{\frac{U_p}{\omega L}} = \omega L}$$

Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstände einer Spule

Nebenstehend ist der Verlauf von Spannung und Strom in einer idealen Spule dargestellt. Man kann erkennen, das der Strom keinesfalls proportional zur Spannung ist. Zum Zeitpunkt t = 0 ist die Spannung noch 0. Es fließt hier ein negativer Strom. Mit steigender Spannung wird dieser Strom schwächer und wird im Spannungsmaximum schließlich zu Null. Dann kehrt sich die Stromrichtung um, und es beginnt ein positiver Strom zu fließen, während die Spannung schon wieder kleiner wird. Die Stromkurve wird Zusehens flacher, je kleiner die Spannung geworden ist. Wenn dann die Spannung negativ wird, fließt der Strom zunächst in der alten Richtung weiter, wird aber langsam wieder kleiner. Wie bei dem Kondensator haben wir auch hier eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom, jedoch in der anderen Richtung. Der Strom eilt der Spannung in der Phase um 90° nach.



Spannungs- und Stromverlauf in der Spule

Merksatz: Bei Induktivitäten die Ströme sich verspäten.

Wechselstromtechnik

Wechselstromwiderstände einer Spule

Wie bei der Kapazität kann man auch bei der Induktivität sinnvoll mit der Komplexen Rechnung arbeiten. Legt man die Spannung U_L an der Induktivität als reelle Größe fest, dann erhält man für den Spulenstrom I_L eine negativ imaginäre Größe, da der Strom der Spannung in der Phase um 90 nacheilt.

$$\underline{U}_L = U_L \text{ und } \underline{I}_L = -jI_L$$

Hiermit kann der Komplexe Widerstand der Induktivität bestimmt werden:

$$\underline{X}_L = \frac{\underline{U}_L}{\underline{I}_L} = \frac{U_L}{-jI_L} = \frac{U_L}{-j\frac{U_L}{\omega L}} = \frac{\omega L}{-j} = j\omega L$$

Zusammengefasst:

$$\boxed{\underline{X}_L = j\omega L}$$

Wechselstromtechnik

Übungsfragen zu Wechselstromwiderständen

Frage 1:
Ergänzen Sie den Satz: Der Strom in einer Induktivität eilt der Spannung in der Phase um . . .

Frage 2:
Ergänzen Sie den Satz: Je größer die Frequenz ist, desto . . . ist der Wechselstromwiderstand einer Induktivität.

Frage 3:
Ergänzen Sie den Satz: Der Strom in einer Kapazität eilt der Spannung in der Phase um . . .

Frage 4:
Ergänzen Sie den Satz: Je größer die Frequenz ist, desto . . . ist der Wechselstromwiderstand einer Kapazität.

Frage 5:
Wie groß ist der Strom I in einer Induktivität mit L = 10 H, die an eine Wechselspannung von U = 12V mit einer Frequenz von f = 50 Hz angeschlossen ist? Wie groß ist der Komplexe Strom I , wenn die Spannung U als Reele Spannung vorausgesetzt ist?

Frage 6:
Bei welcher Frequenz f hat ein Kondensator mit einer Kapazität von C = 1 µF einen Wechselstromwiderstand von X_C = 318 ?