

Wechselstromtechnik - Leistungsfaktor

Schein-, Wirk- und Blindleistung

Michael Dienert

Walther-Rathenau-Gewerbeschule Freiburg

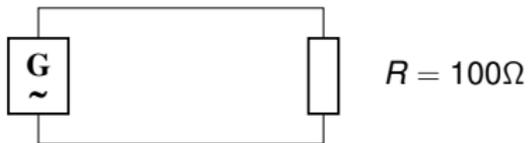
26. November 2022

Inhalt

Strom, Spannung, Leistung

Komplexe Wechselstromrechnung

Einfacher Widerstand als Verbraucher



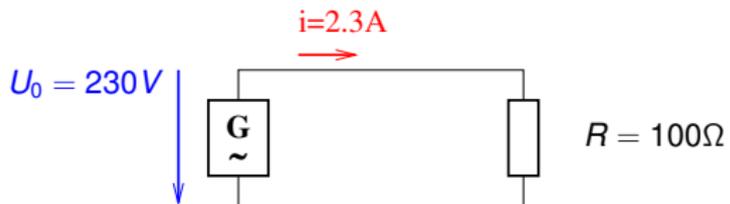
Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

Einfacher Widerstand als Verbraucher



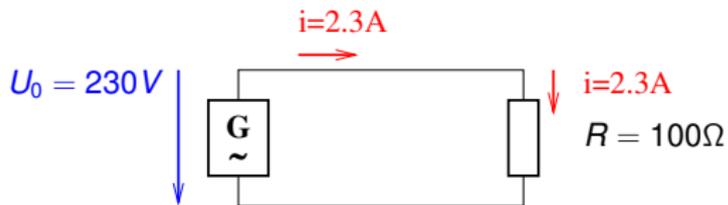
Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

Einfacher Widerstand als Verbraucher



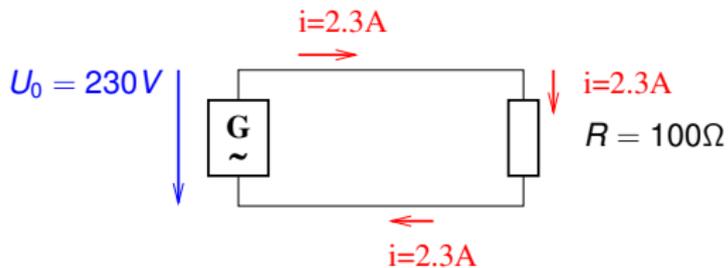
Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

Einfacher Widerstand als Verbraucher



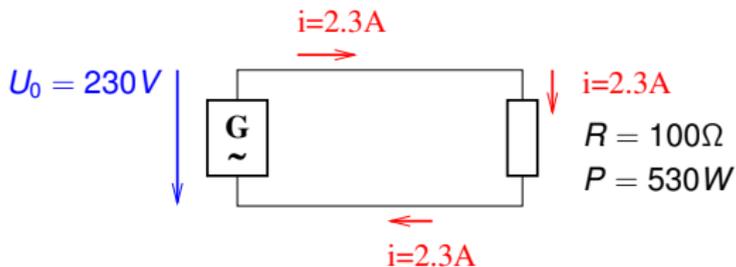
Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

Einfacher Widerstand als Verbraucher



Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

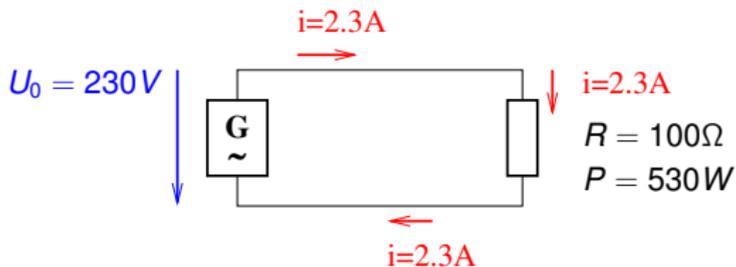
Einfacher Widerstand als Verbraucher



Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

- ▶ ohmscher Lastwiderstand, z.b. Wasserkocher
- ▶ es gilt: $i = \frac{U}{R}$
- ▶ elektrische Leistung: $P = U \cdot i$

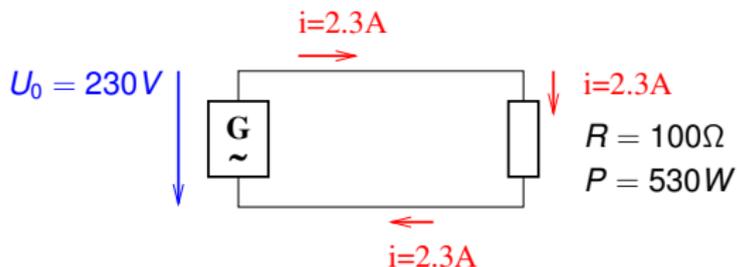
Einfacher Widerstand als Verbraucher



Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

- ▶ ohmscher Lastwiderstand, z.b. Wasserkocher
- ▶ es gilt: $i = \frac{U}{R}$
- ▶ elektrische Leistung: $P = U \cdot i$

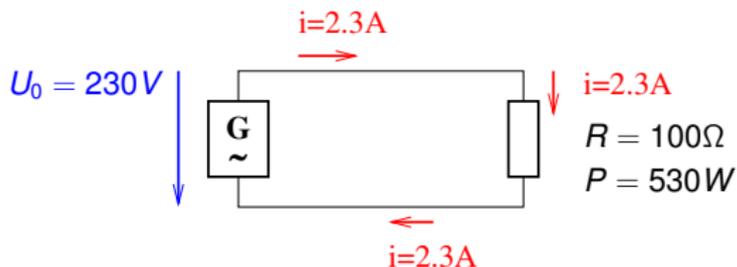
Einfacher Widerstand als Verbraucher



Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

- ▶ ohmscher Lastwiderstand, z.b. Wasserkocher
- ▶ es gilt: $i = \frac{U}{R}$
- ▶ elektrische Leistung: $P = U \cdot i$

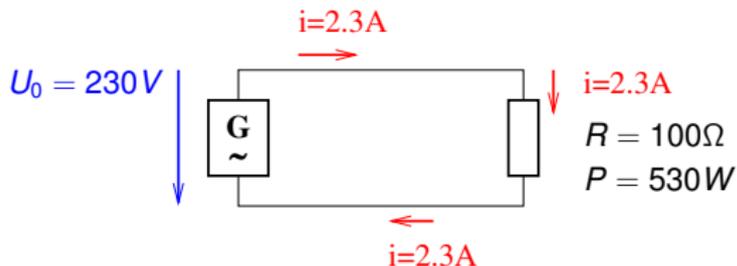
Einfacher Widerstand als Verbraucher



Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

- ▶ ohmscher Lastwiderstand, z.b. Wasserkocher
- ▶ es gilt: $i = \frac{U}{R}$
- ▶ elektrische Leistung: $P = U \cdot i$

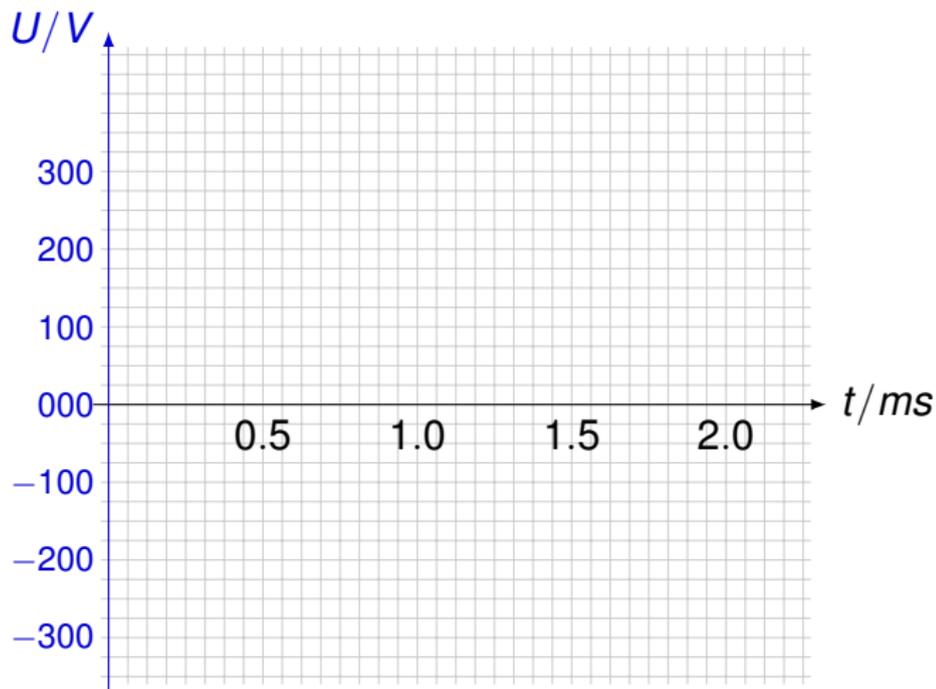
Einfacher Widerstand als Verbraucher



Einfacher Stromkreis mit Widerstandsverbraucher

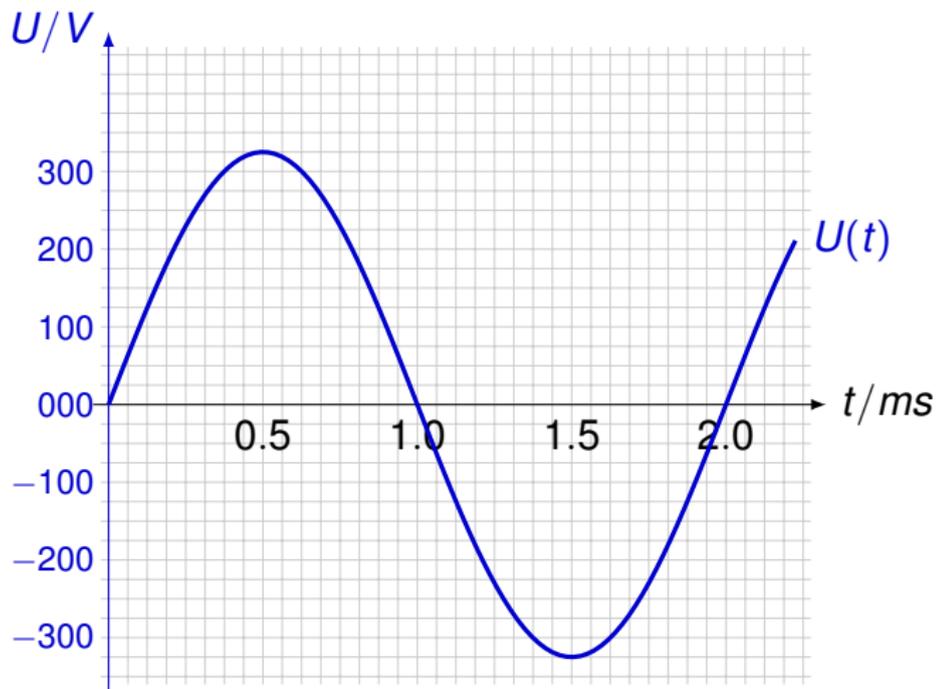
- ▶ ohmscher Lastwiderstand, z.b. Wasserkocher
- ▶ es gilt: $i = \frac{U}{R}$
- ▶ elektrische Leistung: $P = U \cdot i$

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



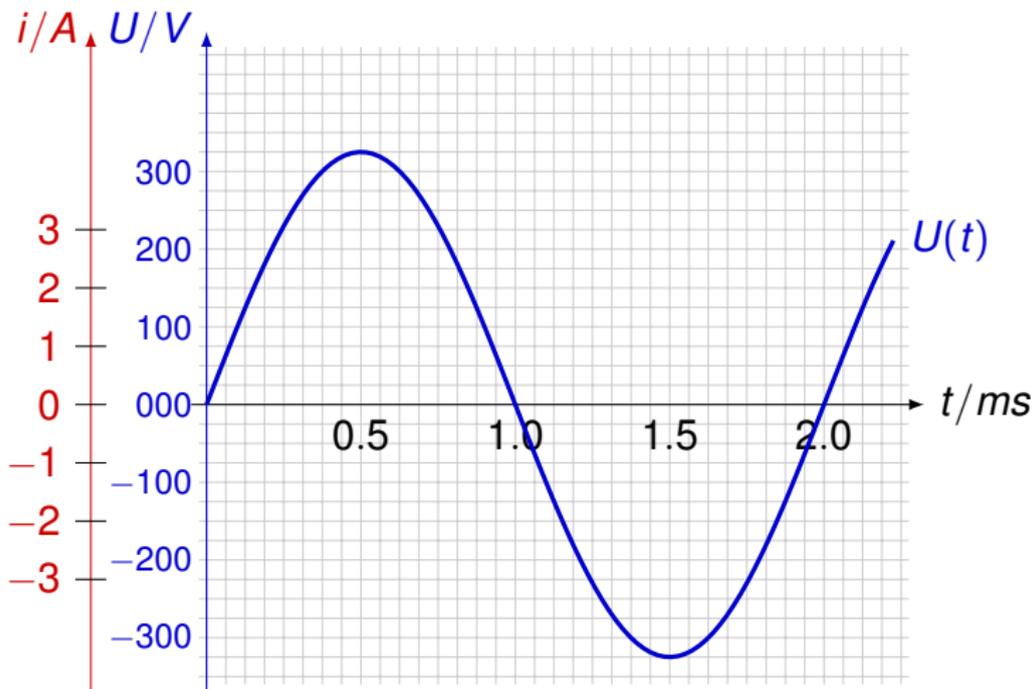
Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



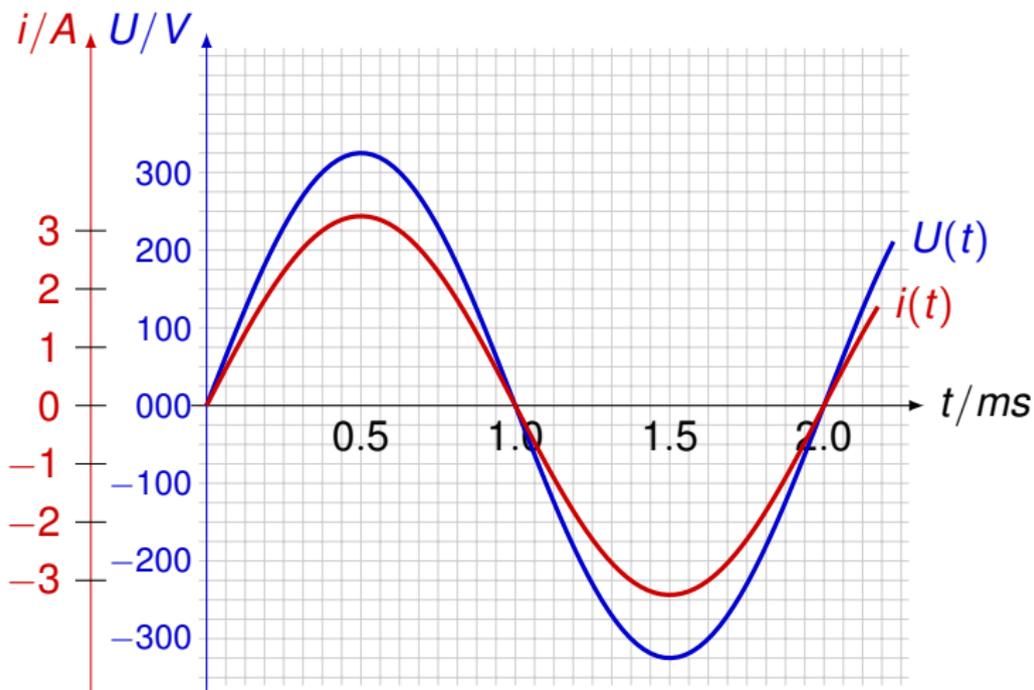
Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



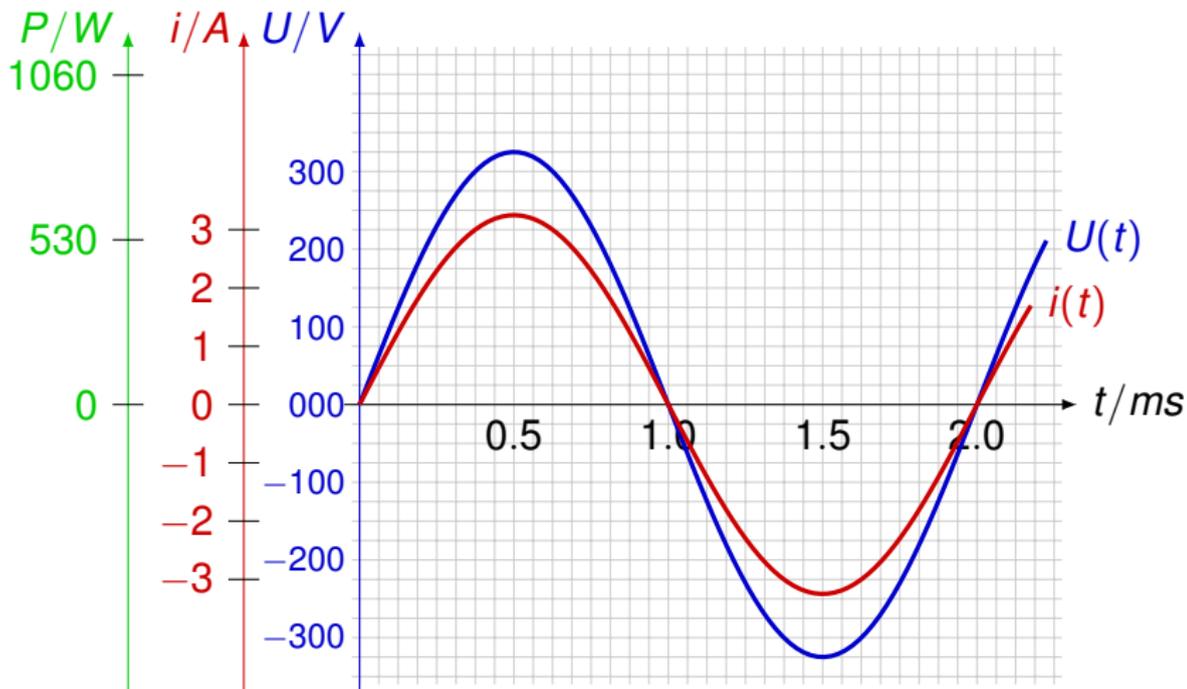
Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



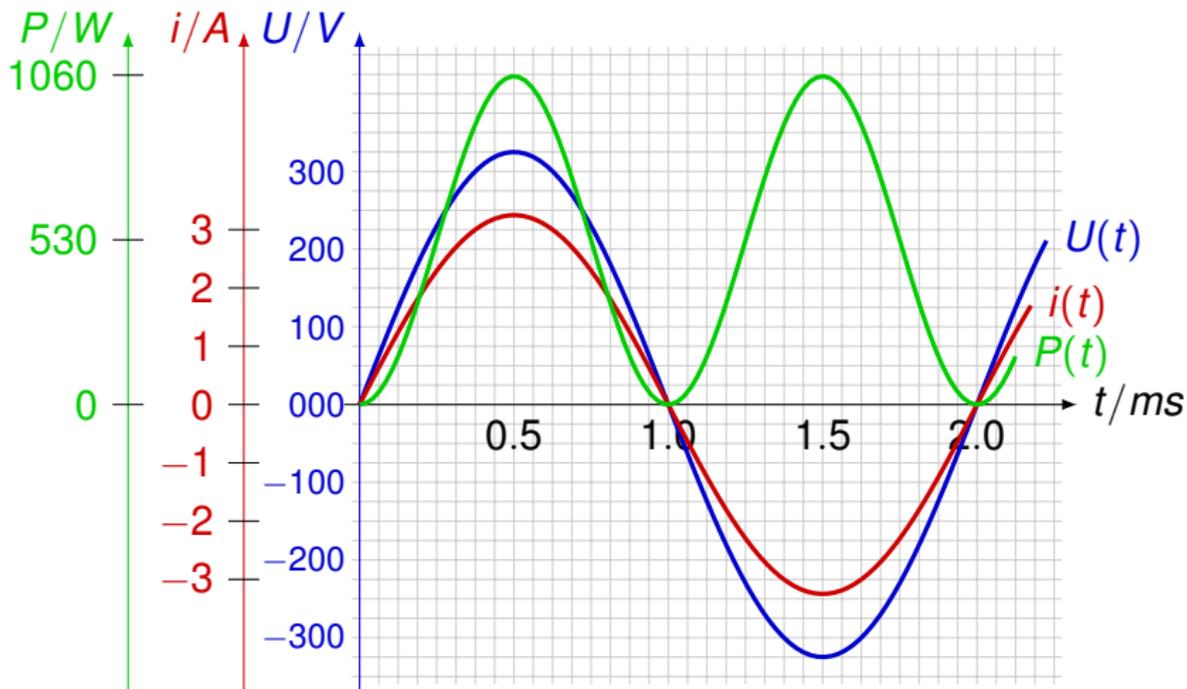
Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



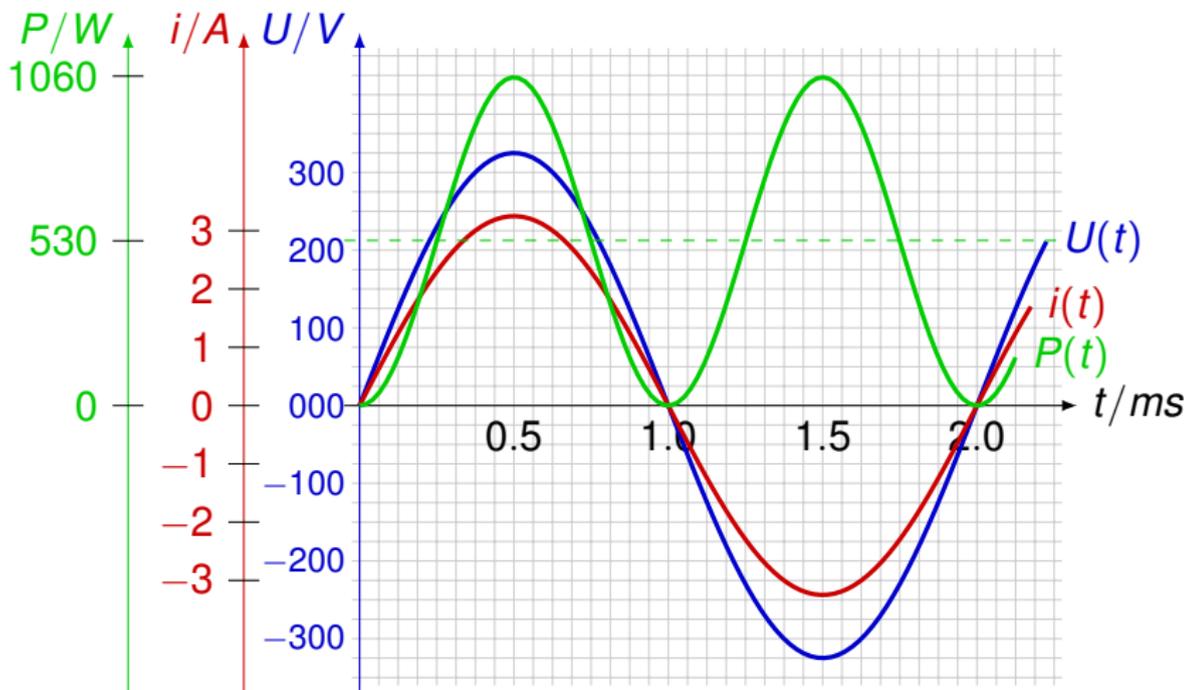
Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Verlauf von Strom und Spannung am ohmschen Widerstand



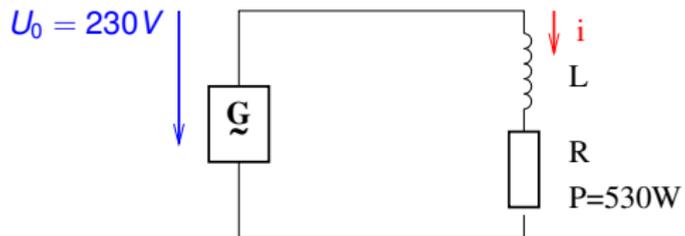
Strom und Spannungsverlauf sind in Phase

Inhalt

Strom, Spannung, Leistung

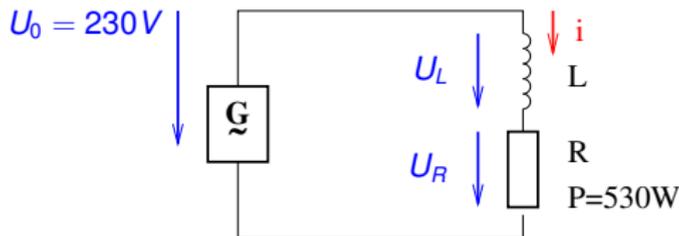
Komplexe Wechselstromrechnung

Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

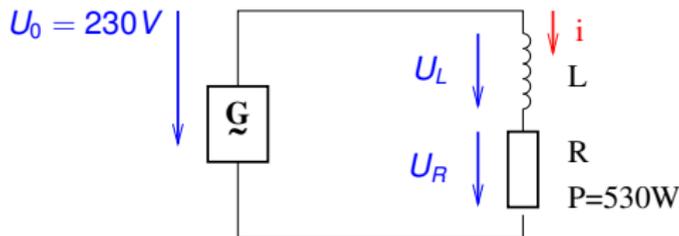
Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

- ▶ Der Strom i ist im gesamten Stromkreis an jeder Stelle gleich
- ▶ Aufgrund der Maschenregel gilt: $U_0 = U_L + U_R$
- ▶ Die elektrische Leistung soll im Beispiel gleich bleiben
- ▶ Wie wir noch sehen werden, muss sich dabei aber der Strom ändern

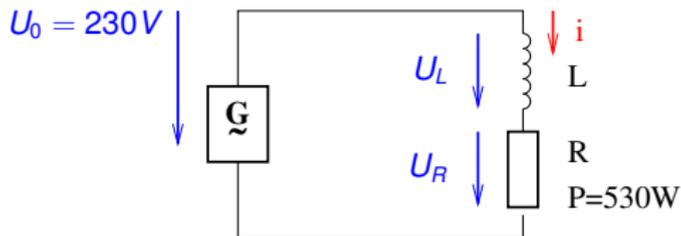
Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

- ▶ Der Strom i ist im gesamten Stromkreis an jeder Stelle gleich
- ▶ Aufgrund der Maschenregel gilt: $U_0 = U_L + U_R$
- ▶ Die elektrische Leistung soll im Beispiel gleich bleiben
- ▶ Wie wir noch sehen werden, muss sich dabei aber der Strom ändern

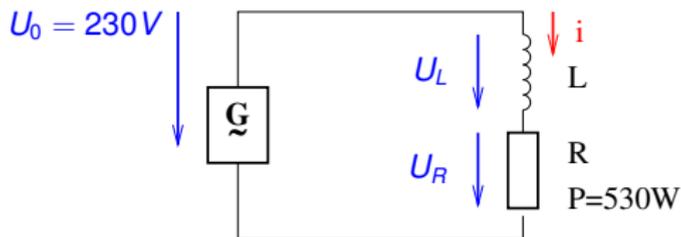
Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

- ▶ Der Strom i ist im gesamten Stromkreis an jeder Stelle gleich
- ▶ Aufgrund der Maschenregel gilt: $U_0 = U_L + U_R$
- ▶ Die elektrische Leistung soll im Beispiel gleich bleiben
- ▶ Wie wir noch sehen werden, muss sich dabei aber der Strom ändern

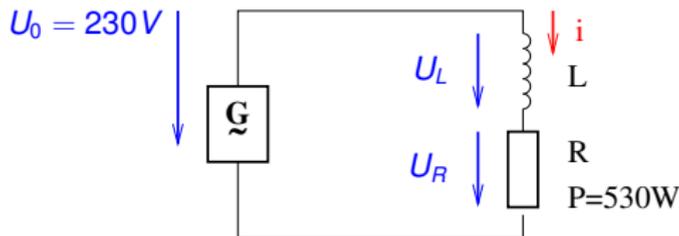
Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

- ▶ Der Strom i ist im gesamten Stromkreis an jeder Stelle gleich
- ▶ Aufgrund der Maschenregel gilt: $U_0 = U_L + U_R$
- ▶ Die elektrische Leistung soll im Beispiel gleich bleiben
- ▶ Wie wir noch sehen werden, muss sich dabei aber der Strom ändern

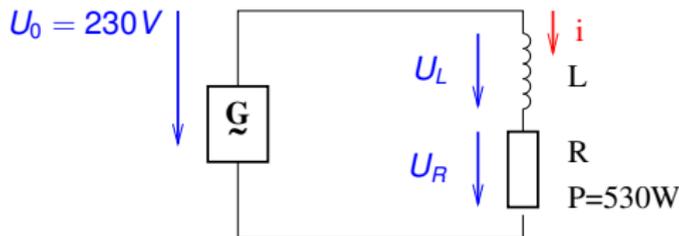
Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

- ▶ Der Strom i ist im gesamten Stromkreis an jeder Stelle gleich
- ▶ Aufgrund der Maschenregel gilt: $U_0 = U_L + U_R$
- ▶ Die elektrische Leistung soll im Beispiel gleich bleiben
- ▶ Wie wir noch sehen werden, muss sich dabei aber der Strom ändern

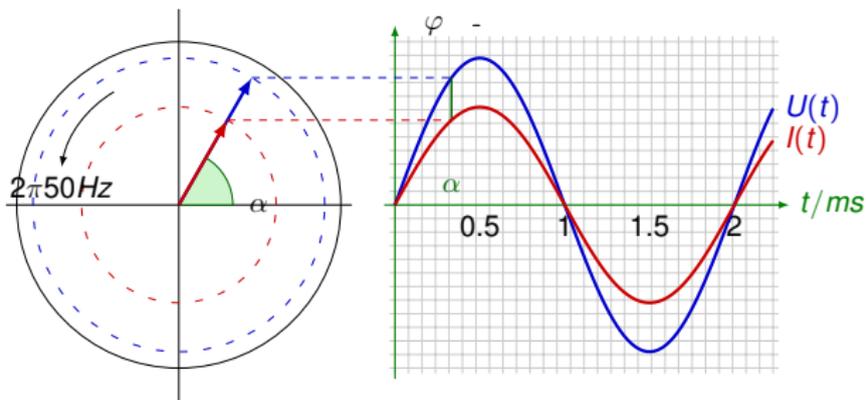
Verbraucher mit induktivem Anteil



Verbraucher mit induktivem Anteil

- ▶ Der Strom i ist im gesamten Stromkreis an jeder Stelle gleich
- ▶ Aufgrund der Maschenregel gilt: $U_0 = U_L + U_R$
- ▶ Die elektrische Leistung soll im Beispiel gleich bleiben
- ▶ Wie wir noch sehen werden, muss sich dabei aber der Strom ändern

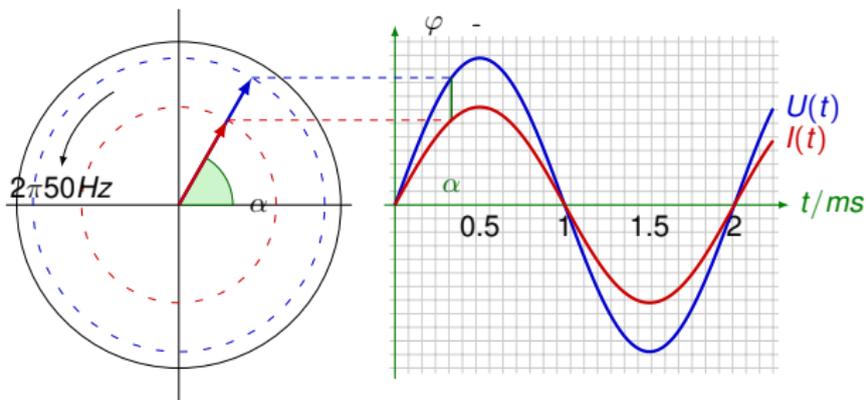
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung am Widerstand

- ▶ Zeigerdiagramme sind ein unersetzliches Hilfsmittel bei der Betrachtung von Wechselstromschaltungen mit Widerständen und Spulen (auch bei Kondensatoren, die betrachten wir hier nicht).
- ▶ Im Zeigerdiagramm sieht man den *Phasenwinkel* φ zwischen Strom und Spannung direkt.

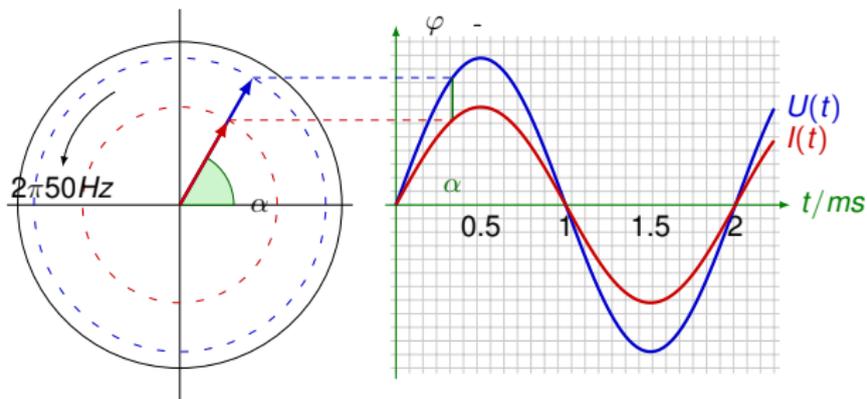
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung am Widerstand

- ▶ Zeigerdiagramme sind ein unersetzliches Hilfsmittel bei der Betrachtung von Wechselstromschaltungen mit Widerständen und Spulen (auch bei Kondensatoren, die betrachten wir hier nicht).
- ▶ Im Zeigerdiagramm sieht man den *Phasenwinkel* φ zwischen Strom und Spannung direkt.

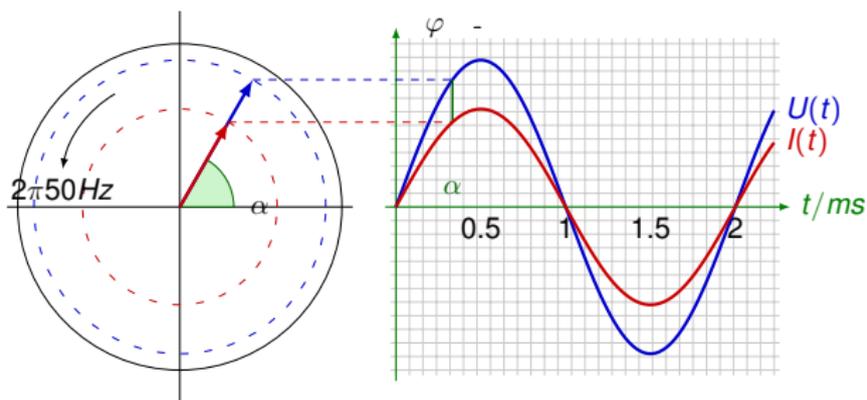
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung am Widerstand

- ▶ Zeigerdiagramme sind ein unersetzliches Hilfsmittel bei der Betrachtung von Wechselstromschaltungen mit Widerständen und Spulen (auch bei Kondensatoren, die betrachten wir hier nicht).
- ▶ Im Zeigerdiagramm sieht man den *Phasenwinkel* φ zwischen Strom und Spannung direkt.

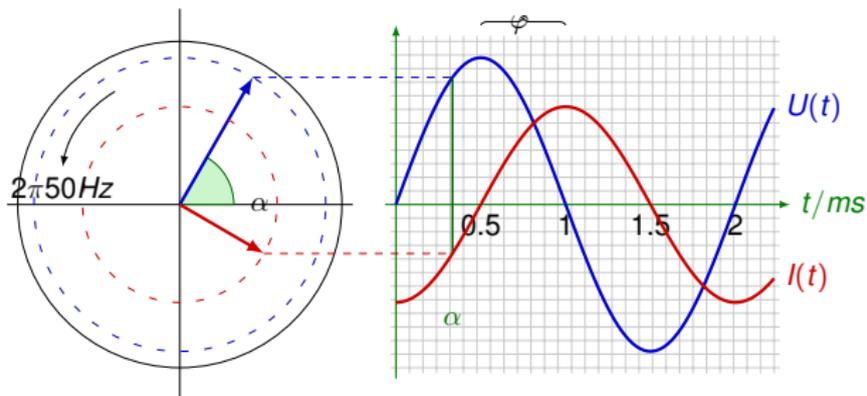
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung am Widerstand

- ▶ Zeigerdiagramme sind ein unersetzliches Hilfsmittel bei der Betrachtung von Wechselstromschaltungen mit Widerständen und Spulen (auch bei Kondensatoren, die betrachten wir hier nicht).
- ▶ Im Zeigerdiagramm sieht man den *Phasenwinkel* φ zwischen Strom und Spannung direkt.

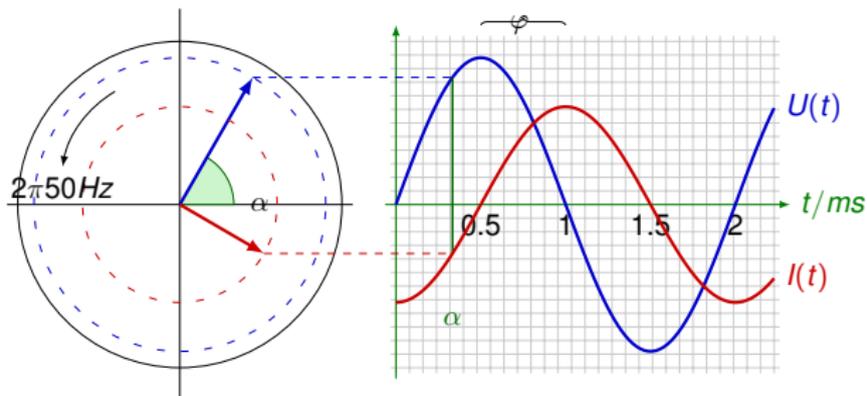
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an einer Spule

- ▶ Eine Spule kann man sich wie ein Schwungrad vorstellen: man legt ein Drehmoment an der Achse an und es dauert, bis das Schwungrad auf Touren kommt.
- ▶ An der Spule L ist der Strom um exakt $\varphi = 90^\circ$ gegenüber der Spannung an der Spule nach *später* versetzt.

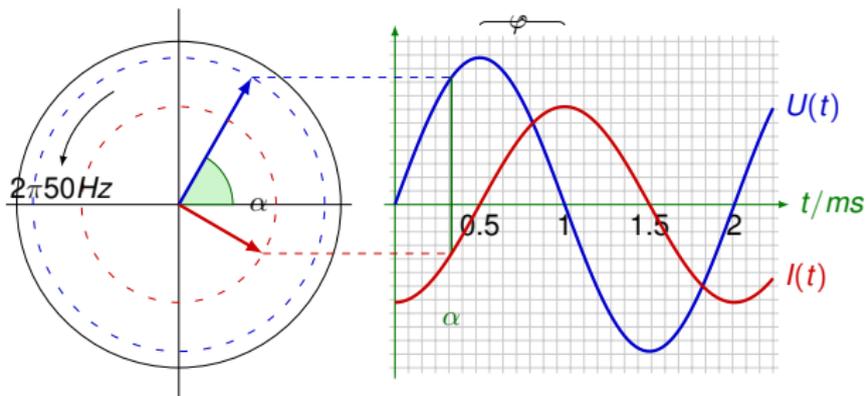
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an einer Spule

- ▶ Eine Spule kann man sich wie ein Schwungrad vorstellen: man legt ein Drehmoment an der Achse an und es dauert, bis das Schwungrad auf Touren kommt.
- ▶ An der Spule L ist der Strom um exakt $\varphi = 90^\circ$ gegenüber der Spannung an der Spule nach *später* versetzt.

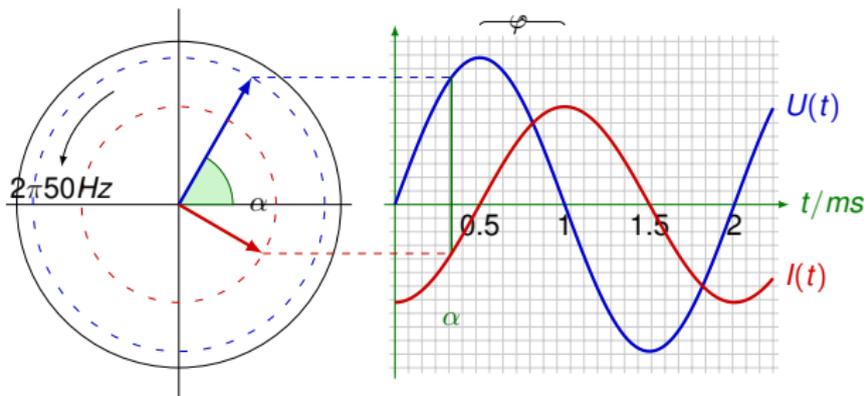
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an einer Spule

- ▶ Eine Spule kann man sich wie ein Schwungrad vorstellen: man legt ein Drehmoment an der Achse an und es dauert, bis das Schwungrad auf Touren kommt.
- ▶ An der Spule L ist der Strom um exakt $\varphi = 90^\circ$ gegenüber der Spannung an der Spule nach *später* versetzt.

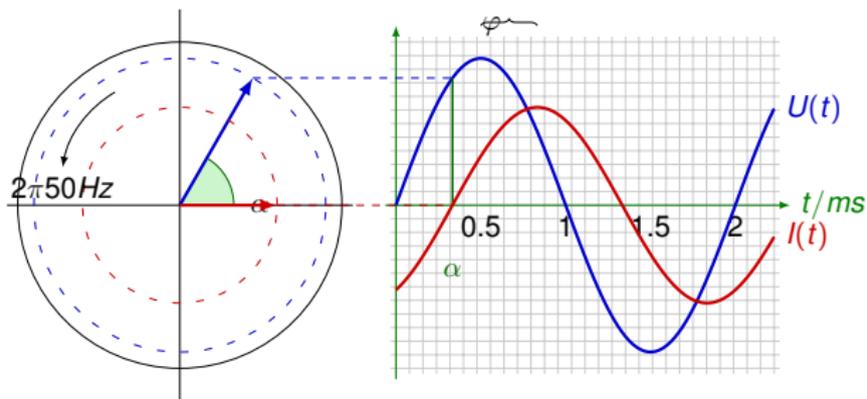
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an einer Spule

- ▶ Eine Spule kann man sich wie ein Schwungrad vorstellen: man legt ein Drehmoment an der Achse an und es dauert, bis das Schwungrad auf Touren kommt.
- ▶ An der Spule L ist der Strom um exakt $\varphi = 90^\circ$ gegenüber der Spannung an der Spule nach *später* versetzt.

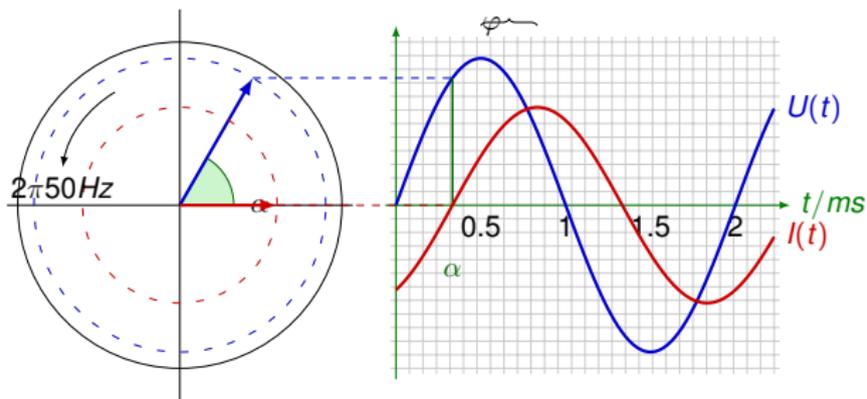
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an Reihenschaltung von Spule und Widerstand

- ▶ Schaltet man zur Spule einen Widerstand in Reihe, wird der Phasenwinkel φ kleiner
- ▶ Um einfacher rechnen zu können und aus Gründen der Anschaulichkeit wird hier im Beispiel $\varphi = 60^\circ$ gewählt.

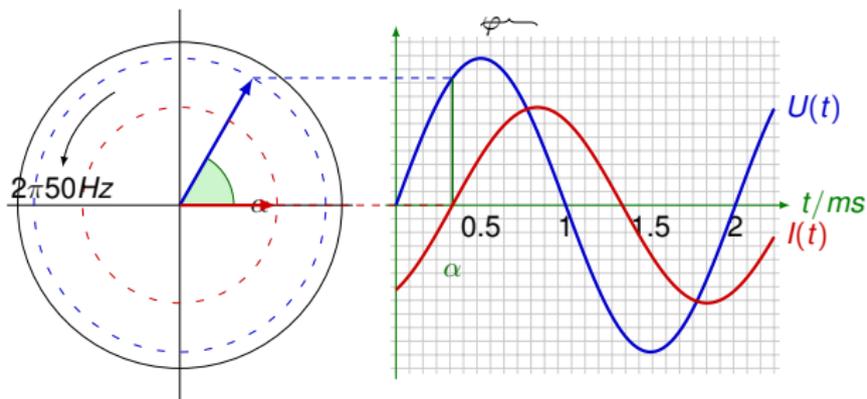
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an Reihenschaltung von Spule und Widerstand

- ▶ Schaltet man zur Spule einen Widerstand in Reihe, wird der Phasenwinkel φ kleiner
- ▶ Um einfacher rechnen zu können und aus Gründen der Anschaulichkeit wird hier im Beispiel $\varphi = 60^\circ$ gewählt.

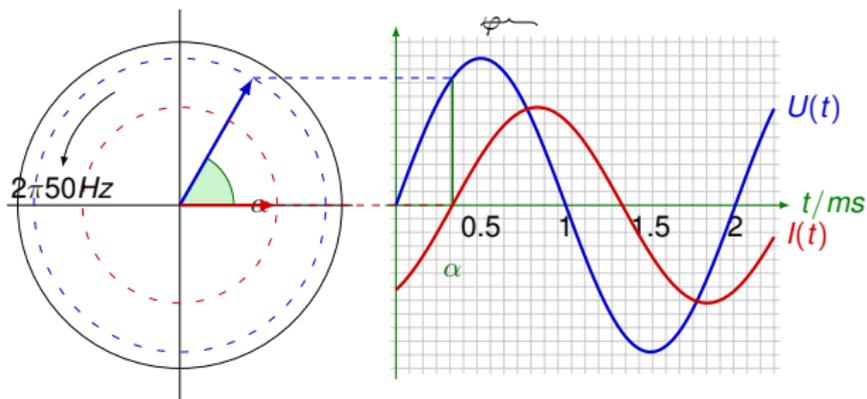
Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an Reihenschaltung von Spule und Widerstand

- ▶ Schaltet man zur Spule einen Widerstand in Reihe, wird der Phasenwinkel φ kleiner
- ▶ Um einfacher rechnen zu können und aus Gründen der Anschaulichkeit wird hier im Beispiel $\varphi = 60^\circ$ gewählt.

Zeigerdiagramme



Strom und Spannung an Reihenschaltung von Spule und Widerstand

- ▶ Schaltet man zur Spule einen Widerstand in Reihe, wird der Phasenwinkel φ kleiner
- ▶ Um einfacher rechnen zu können und aus Gründen der Anschaulichkeit wird hier im Beispiel $\varphi = 60^\circ$ gewählt.

Phasenverschiebung in der Praxis

- ▶ Ein Phasenwinkel von $\varphi = 60^\circ$ ist für die Praxis viel zu gross.
- ▶ Die europaweite Norm DIN EN 61000-3-2 schreibt vor, dass bei Netzteilen ab 75W $\varphi < 25^\circ$ sein muss.

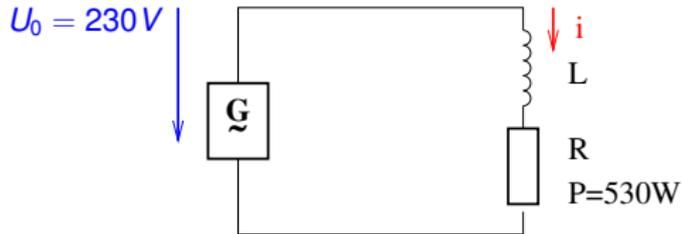
Phasenverschiebung in der Praxis

- ▶ Ein Phasenwinkel von $\varphi = 60^\circ$ ist für die Praxis viel zu gross.
- ▶ Die europaweite Norm DIN EN 61000-3-2 schreibt vor, dass bei Netzteilen ab 75W $\varphi < 25^\circ$ sein muss.

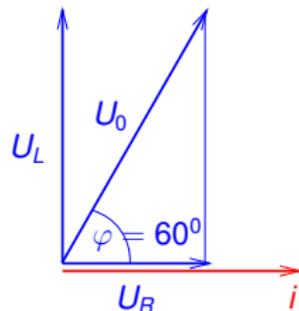
Phasenverschiebung in der Praxis

- ▶ Ein Phasenwinkel von $\varphi = 60^\circ$ ist für die Praxis viel zu gross.
- ▶ Die europaweite Norm DIN EN 61000-3-2 schreibt vor, dass bei Netzteilen ab 75W $\varphi < 25^\circ$ sein muss.

Zeigerdiagramm

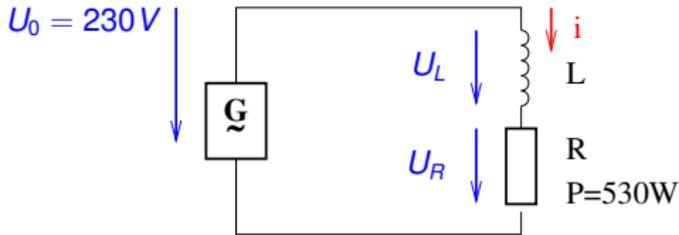


Verbraucher mit induktivem
Anteil

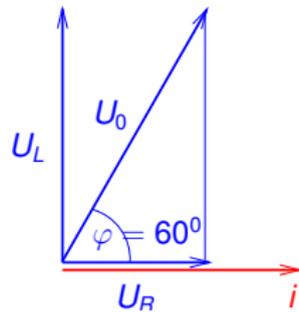


Zeigerdiagramm

Zeigerdiagramm



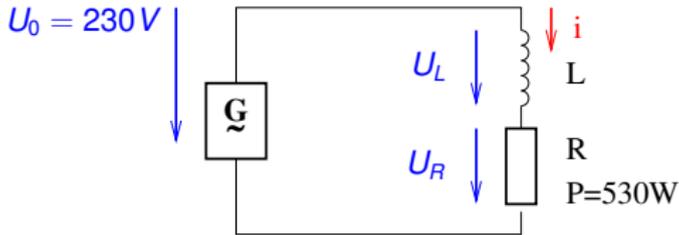
Verbraucher mit induktivem Anteil



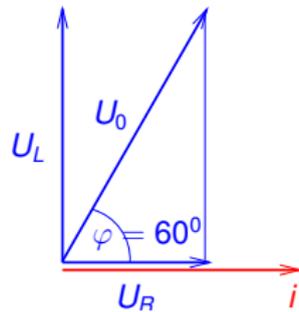
Zeigerdiagramm

- ▶ Der Strom i ist die gemeinsame Grösse: Strompfeil wird zuerst gezeichnet.
- ▶ Am Widerstand haben Strom und Spannung $\varphi = 0$: Spannungspfeil U_R zeichnen.
- ▶ Die Spannung U_L an der Spule muss nach oben zeigen, da der Strom ja hinterherhängt.
- ▶ Da immer noch $U_0 = U_R + U_L$ gilt, muss man die Pfeile *vektoriell* addieren.

Zeigerdiagramm



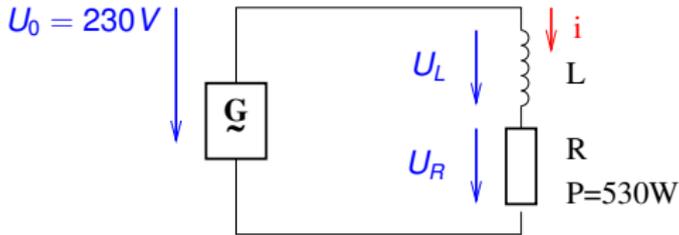
Verbraucher mit induktivem Anteil



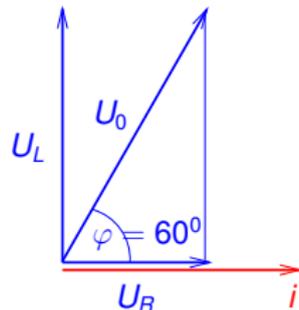
Zeigerdiagramm

- ▶ Der Strom i ist die gemeinsame Grösse: Strompfeil wird zuerst gezeichnet.
- ▶ Am Widerstand haben Strom und Spannung $\varphi = 0$: Spannungspfeil U_R zeichnen.
- ▶ Die Spannung U_L an der Spule muss nach oben zeigen, da der Strom ja hinterherhängt.
- ▶ Da immer noch $U_0 = U_R + U_L$ gilt, muss man die Pfeile *vektoriell* addieren.

Zeigerdiagramm



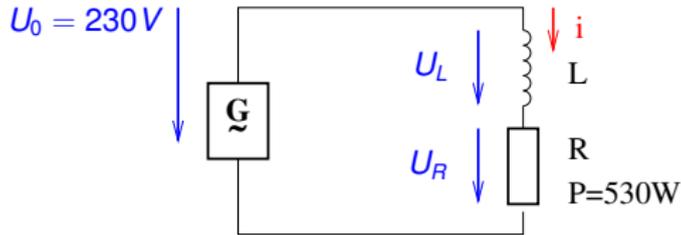
Verbraucher mit induktivem Anteil



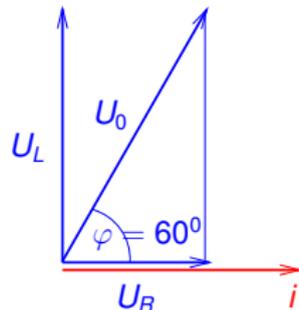
Zeigerdiagramm

- ▶ Der Strom i ist die gemeinsame Grösse: Strompfeil wird zuerst gezeichnet.
- ▶ Am Widerstand haben Strom und Spannung $\varphi = 0$: Spannungspfeil U_R zeichnen.
- ▶ Die Spannung U_L an der Spule muss nach oben zeigen, da der Strom ja hinterherhängt.
- ▶ Da immer noch $U_0 = U_R + U_L$ gilt, muss man die Pfeile *vektoriell* addieren.

Zeigerdiagramm



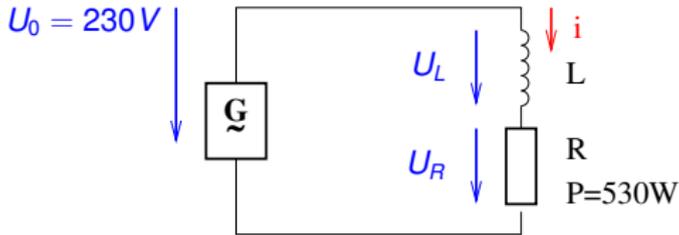
Verbraucher mit induktivem Anteil



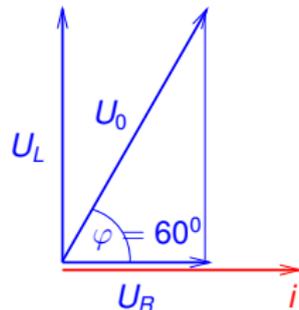
Zeigerdiagramm

- ▶ Der Strom i ist die gemeinsame Grösse: Strompfeil wird zuerst gezeichnet.
- ▶ Am Widerstand haben Strom und Spannung $\varphi = 0$: Spannungspfeil U_R zeichnen.
- ▶ Die Spannung U_L an der Spule muss nach oben zeigen, da der Strom ja hinterherhängt.
- ▶ Da immer noch $U_0 = U_R + U_L$ gilt, muss man die Pfeile *vektoriell* addieren.

Zeigerdiagramm



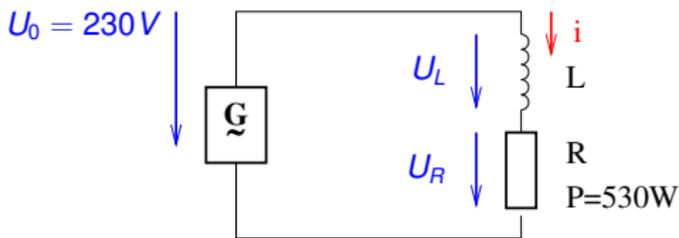
Verbraucher mit induktivem Anteil



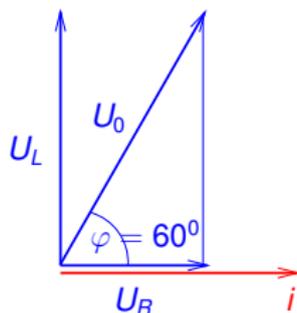
Zeigerdiagramm

- ▶ Der Strom i ist die gemeinsame Grösse: Strompfeil wird zuerst gezeichnet.
- ▶ Am Widerstand haben Strom und Spannung $\varphi = 0$: Spannungspfeil U_R zeichnen.
- ▶ Die Spannung U_L an der Spule muss nach oben zeigen, da der Strom ja hinterherhängt.
- ▶ Da immer noch $U_0 = U_R + U_L$ gilt, muss man die Pfeile *vektoriell* addieren.

Zeigerdiagramm



Verbraucher mit induktivem Anteil



Zeigerdiagramm

- ▶ Der Strom i ist die gemeinsame Grösse: Strompfeil wird zuerst gezeichnet.
- ▶ Am Widerstand haben Strom und Spannung $\varphi = 0$: Spannungspfeil U_R zeichnen.
- ▶ Die Spannung U_L an der Spule muss nach oben zeigen, da der Strom ja hinterherhängt.
- ▶ Da immer noch $U_0 = U_R + U_L$ gilt, muss man die Pfeile *vektoriell* addieren.

Rechnen im Zeigerdiagramm

- ▶ Ein bisschen Trigonometrie:
- ▶ $U_R = U_0 \cos \varphi = U_0 \cos 60^\circ = 0.5 U_0$.
- ▶ Die Leistung, die am Widerstand in Wärme umgesetzt wird soll gleich bleiben.
- ▶ Da die Spannung am Widerstand bei $\varphi = 60^\circ$ nun nur noch $0.5 U_0$ ist, muss sich der Strom verdoppeln, damit die Leistung $P = UI$ gleich bleibt.

Rechnen im Zeigerdiagramm

- ▶ Ein bisschen Trigonometrie:
- ▶ $U_R = U_0 \cos \varphi = U_0 \cos 60^\circ = 0.5 U_0$.
- ▶ Die Leistung, die am Widerstand in Wärme umgesetzt wird soll gleich bleiben.
- ▶ Da die Spannung am Widerstand bei $\varphi = 60^\circ$ nun nur noch $0.5 U_0$ ist, muss sich der Strom verdoppeln, damit die Leistung $P = UI$ gleich bleibt.

Rechnen im Zeigerdiagramm

- ▶ Ein bisschen Trigonometrie:
- ▶ $U_R = U_0 \cos \varphi = U_0 \cos 60^\circ = 0.5 U_0$.
- ▶ Die Leistung, die am Widerstand in Wärme umgesetzt wird soll gleich bleiben.
- ▶ Da die Spannung am Widerstand bei $\varphi = 60^\circ$ nun nur noch $0.5 U_0$ ist, muss sich der Strom verdoppeln, damit die Leistung $P = UI$ gleich bleibt.

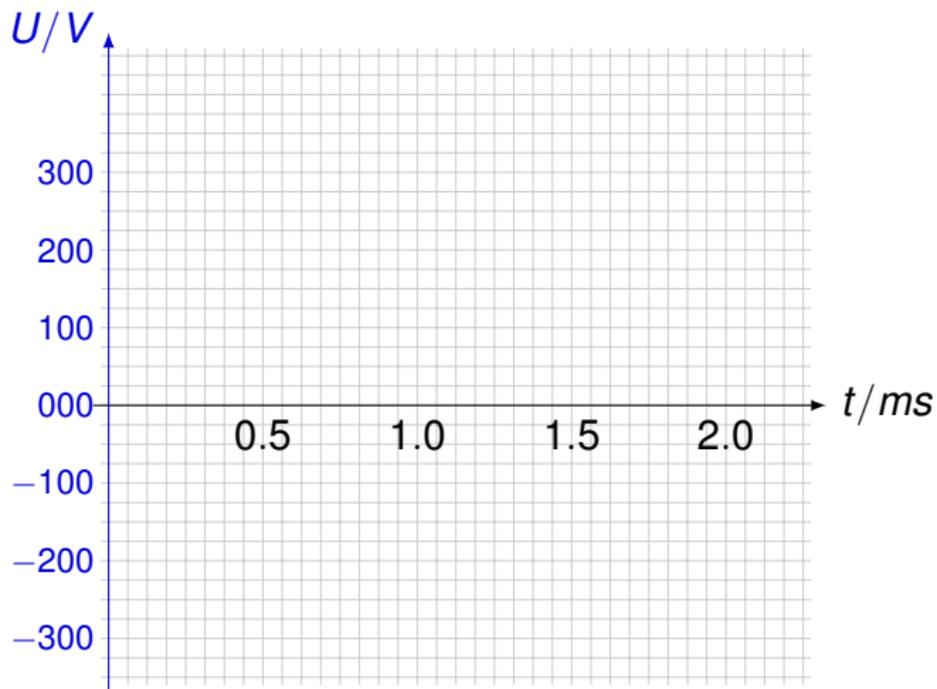
Rechnen im Zeigerdiagramm

- ▶ Ein bisschen Trigonometrie:
- ▶ $U_R = U_0 \cos \varphi = U_0 \cos 60^\circ = 0.5 U_0$.
- ▶ Die Leistung, die am Widerstand in Wärme umgesetzt wird soll gleich bleiben.
- ▶ Da die Spannung am Widerstand bei $\varphi = 60^\circ$ nun nur noch $0.5 U_0$ ist, muss sich der Strom verdoppeln, damit die Leistung $P = UI$ gleich bleibt.

Rechnen im Zeigerdiagramm

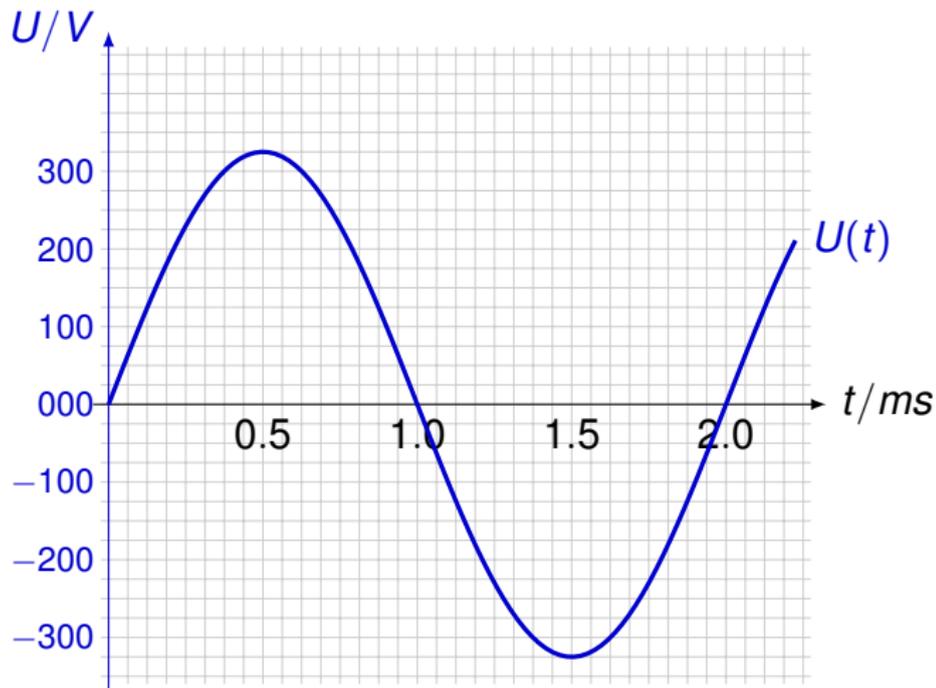
- ▶ Ein bisschen Trigonometrie:
- ▶ $U_R = U_0 \cos \varphi = U_0 \cos 60^\circ = 0.5 U_0$.
- ▶ Die Leistung, die am Widerstand in Wärme umgesetzt wird soll gleich bleiben.
- ▶ Da die Spannung am Widerstand bei $\varphi = 60^\circ$ nun nur noch $0.5 U_0$ ist, muss sich der Strom verdoppeln, damit die Leistung $P = UI$ gleich bleibt.

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



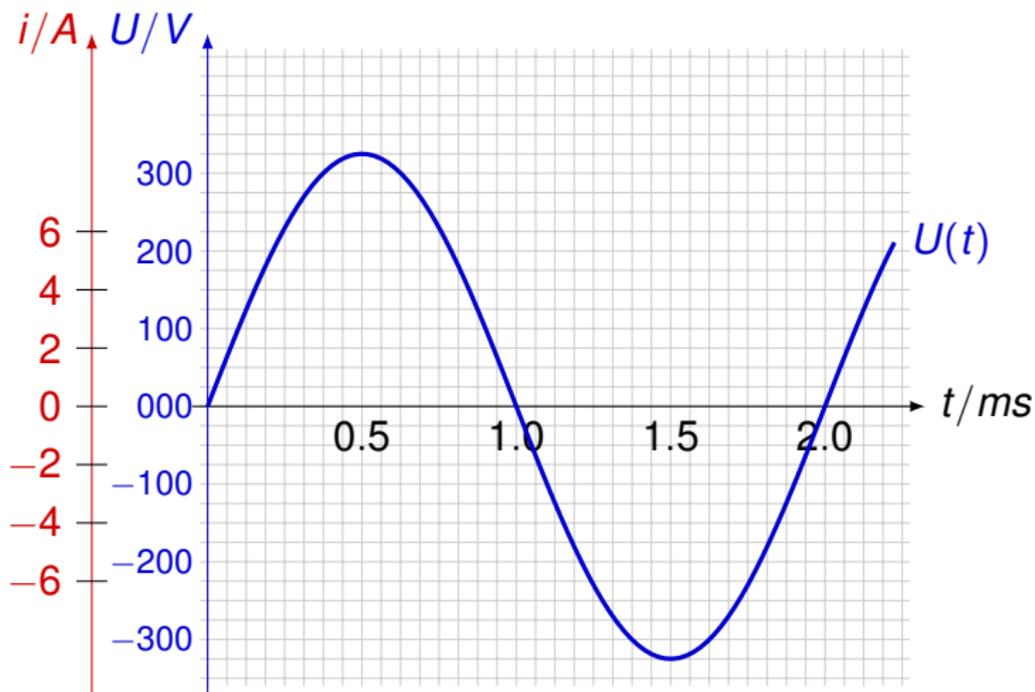
Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



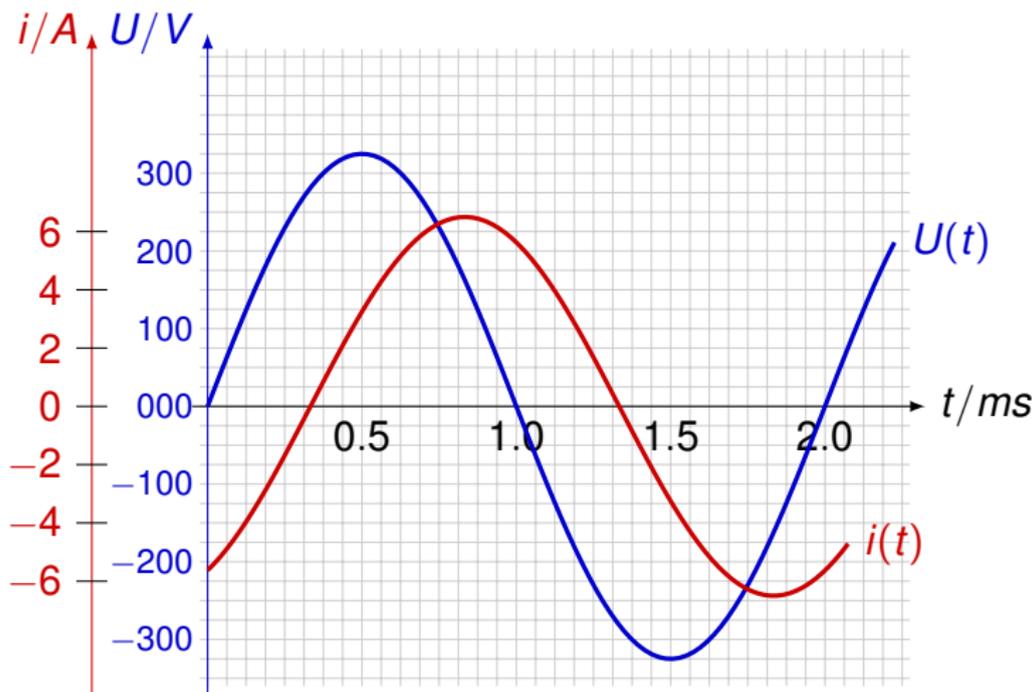
Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



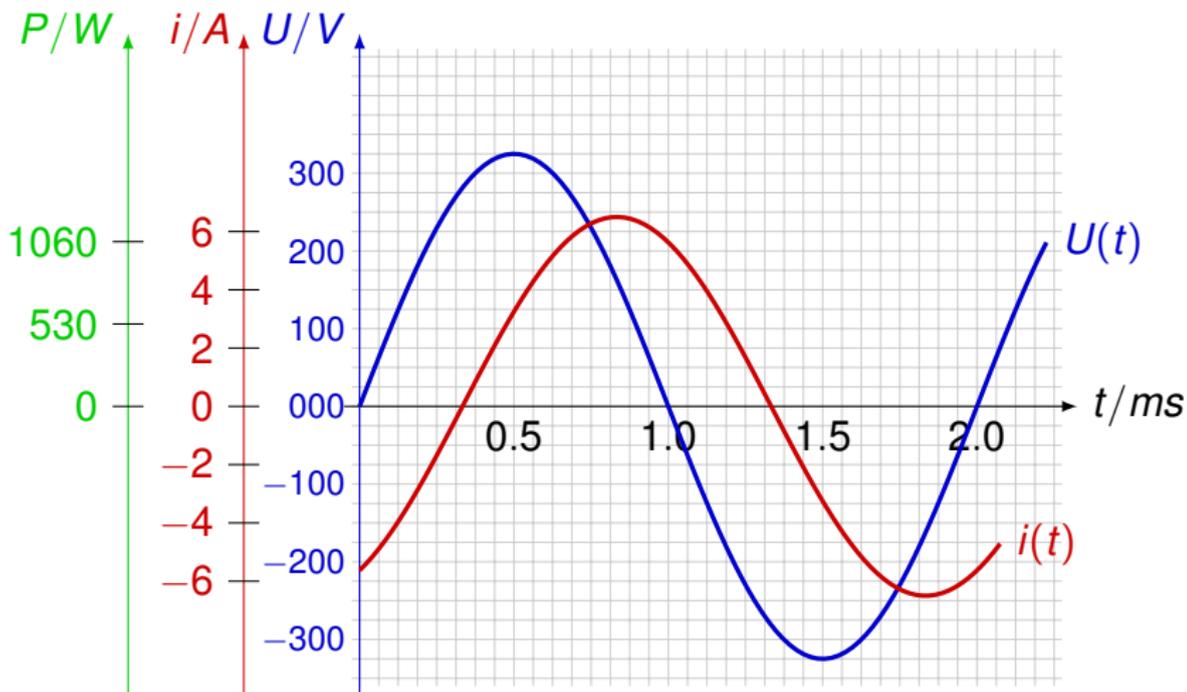
Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



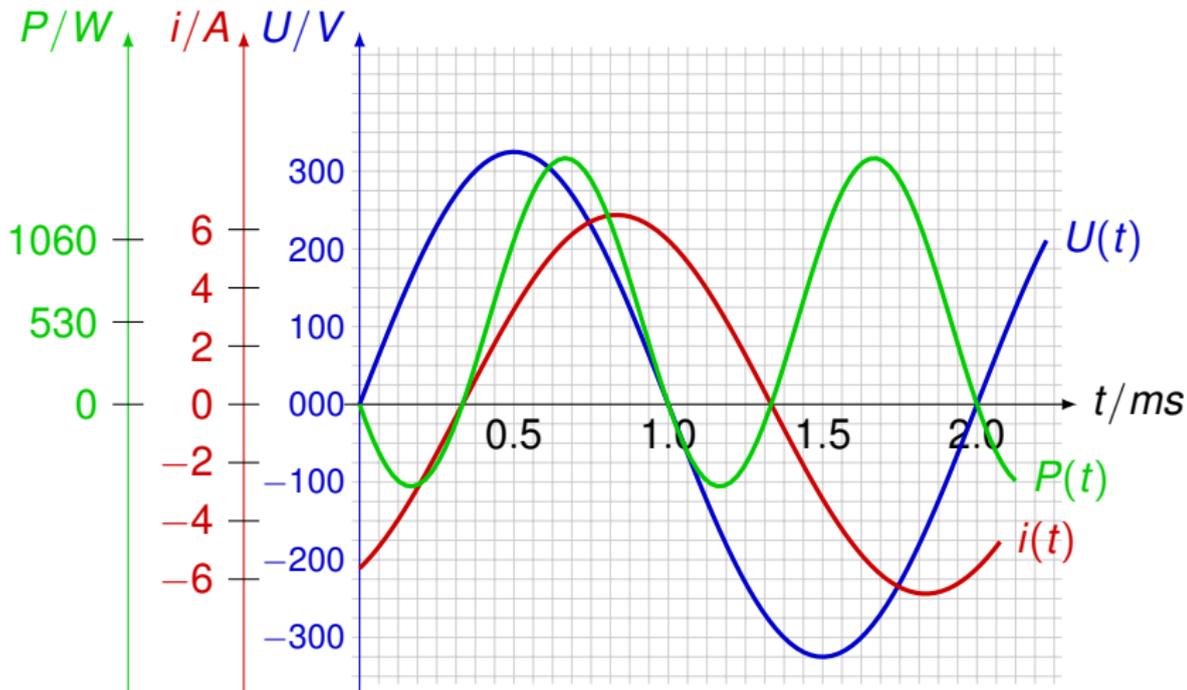
Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



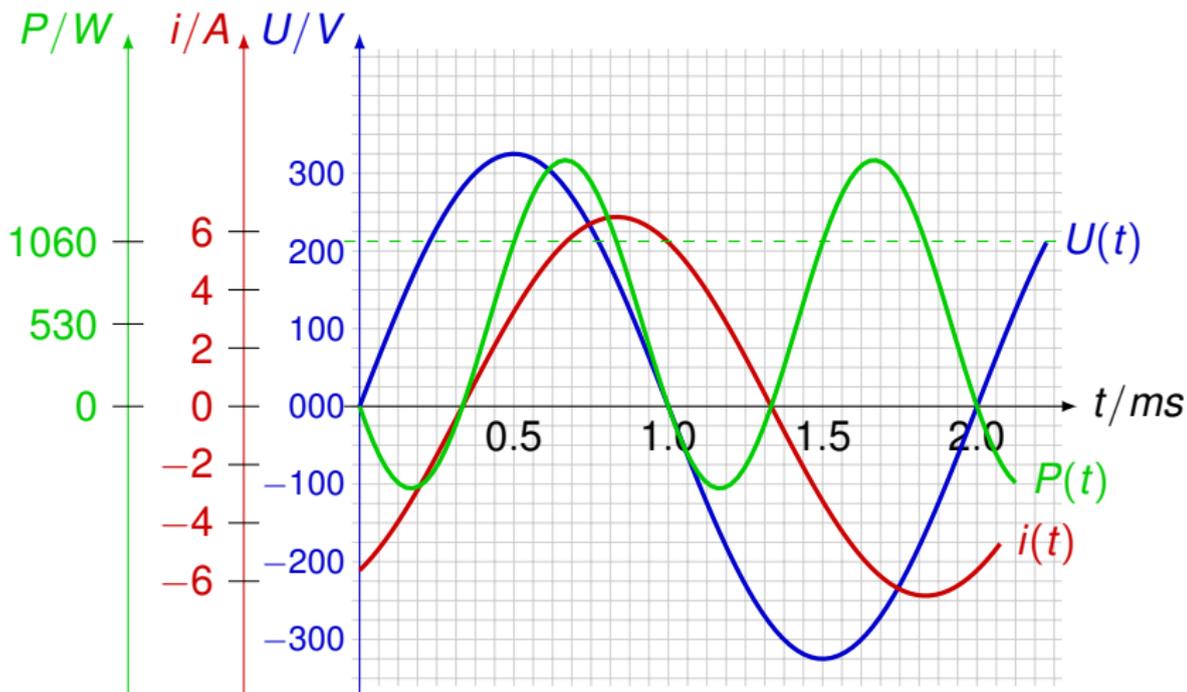
Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



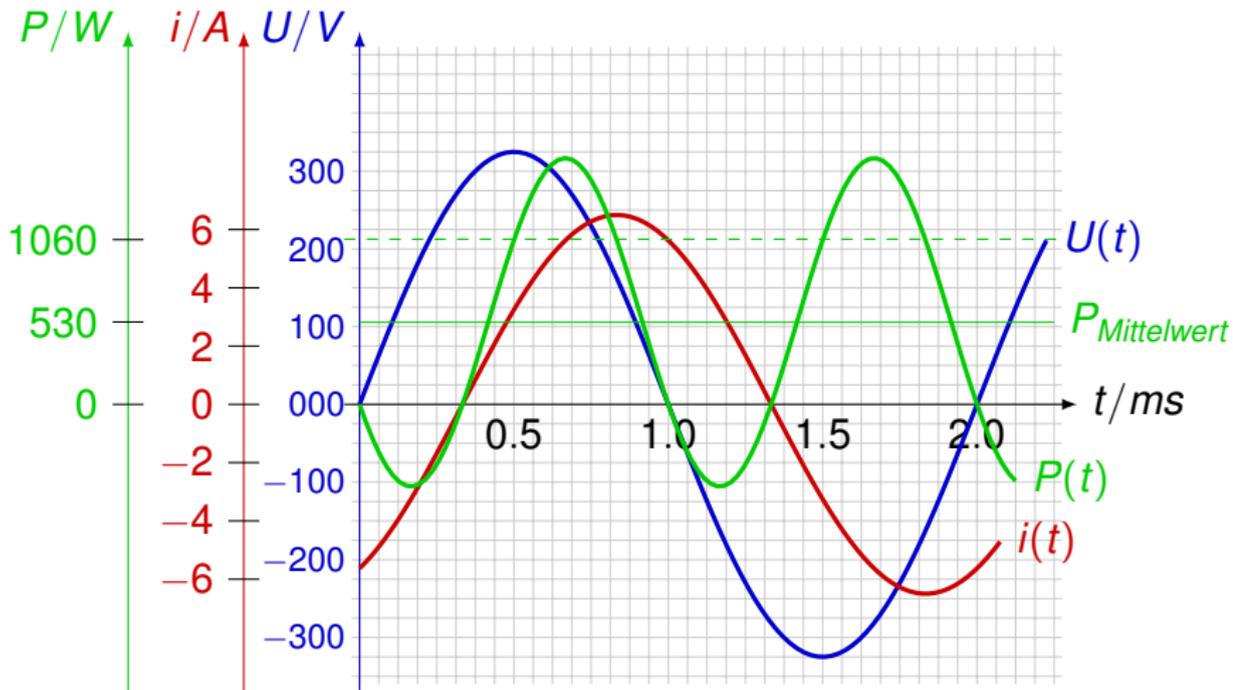
Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil

Verlauf von Strom und Spannung bei $\varphi = 60^\circ$



Strom, Spannung und Leistungen bei induktivem Lastanteil