

GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK 1

Vorlesung 12 Wechselstromleistung



WECHSELSTROM

Inhalte der Kapitel 5 bis 7: Wechselstrom



7 WECHSELSPANNUNG

7.1 Sinusförmige Größen

7.2 Komplexe Wechselstromrechnung

7.3 Elektrische Impedanz

7.4 Admittanz

7.5 Wechselstromleistung

7.6 Blindstromkompensation

7.7 Leistungsanpassung bei Impedanzen

7.8 Wechselstrom-Messbrücken



<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/0201114.htm>

HINTERGRUND: EINKAUF VON STROM

Preisblatt
gültig ab 01.01.2020

Stromnetz
Hamburg
Stand: 10.01.2020

Netzentgelte

Die Netzentgelte für SLP-Kunden in der Niederspannungsebene bestehen aus einem Arbeits- und einem Grundpreis.
Der Grundpreis findet keine Anwendung für Speicherheizungen, sonstige steuerbare Verbrauchseinrichtungen sowie Pauschanlagen.

Arbeitspreis
Arbeitspreis für SLP
Arbeitspreis für SLP
Grundpreis

Die Netzentgelte für
Entnahmestelle an

Benutzungsstufe
Entnahmespannung
Hochspannung
Umspannung Hoch-
Mittelspannung
Umspannung Mittel-
Niederspannung

Blindarbeit

Unterschreitet der durchschnittliche Leistungsfaktor den Wert 0,9 induktiv, so kann die monatlich 50 % der Wirkarbeit übersteigende Blindarbeit je Blindarbeitskilowattstunde (kvarh) berechnet werden.

Blindarbeitspreis

1,53 ct/kvarh

Benutzungsdauer ≥ 2.500 h/a	Jahresleistungspreis	Arbeitspreis
Entnahmespannungsebene		
Hochspannung	65,93 €/kW*a	0,69 ct/kWh
Umspannung Hoch-/Mittelspannung	42,05 €/kW*a	1,23 ct/kWh
Mittelspannung	56,92 €/kW*a	1,66 ct/kWh
Umspannung Mittel-/Niederspannung	85,52 €/kW*a	1,66 ct/kWh
Niederspannung	54,69 €/kW*a	3,86 ct/kWh
Entnahmespannungsebene	Monatsleistungspreis	Arbeitspreis
Hochspannung	10,99 €/kW*Monat	0,69 ct/kWh
Umspannung Hoch-/Mittelspannung	7,01 €/kW*Monat	1,23 ct/kWh
Mittelspannung	9,49 €/kW*Monat	1,66 ct/kWh
Umspannung Mittel-/Niederspannung	14,25 €/kW*Monat	1,66 ct/kWh
Niederspannung	9,12 €/kW*Monat	3,86 ct/kWh
Entnahmespannungsebene	Tagesleistungspreis	Arbeitspreis
Hochspannung	0,36 €/kW*Tag	0,69 ct/kWh
Umspannung Hoch-/Mittelspannung	0,23 €/kW*Tag	1,23 ct/kWh
Mittelspannung	0,31 €/kW*Tag	1,66 ct/kWh

Anmerkung:
Tagesleistungspreise können gemäß § 17 Abs. 8 StromNEV nur für den Strombezug der von Land aus erbrachten Stromversorgung von Seeschiffen beansprucht werden.

Blindarbeit

Unterschreitet der durchschnittliche Leistungsfaktor den Wert 0,9 induktiv, so kann die monatlich 50 % der Wirkarbeit übersteigende Blindarbeit je Blindarbeitskilowattstunde (kvarh) berechnet werden.

Blindarbeitspreis 1,53 ct/kvarh

Beispiel:

Netzentgelte Stromnetz Hamburg

<https://www.stromnetz-hamburg.de/download/netzentgelte-2020/?wpdmdl=17113>

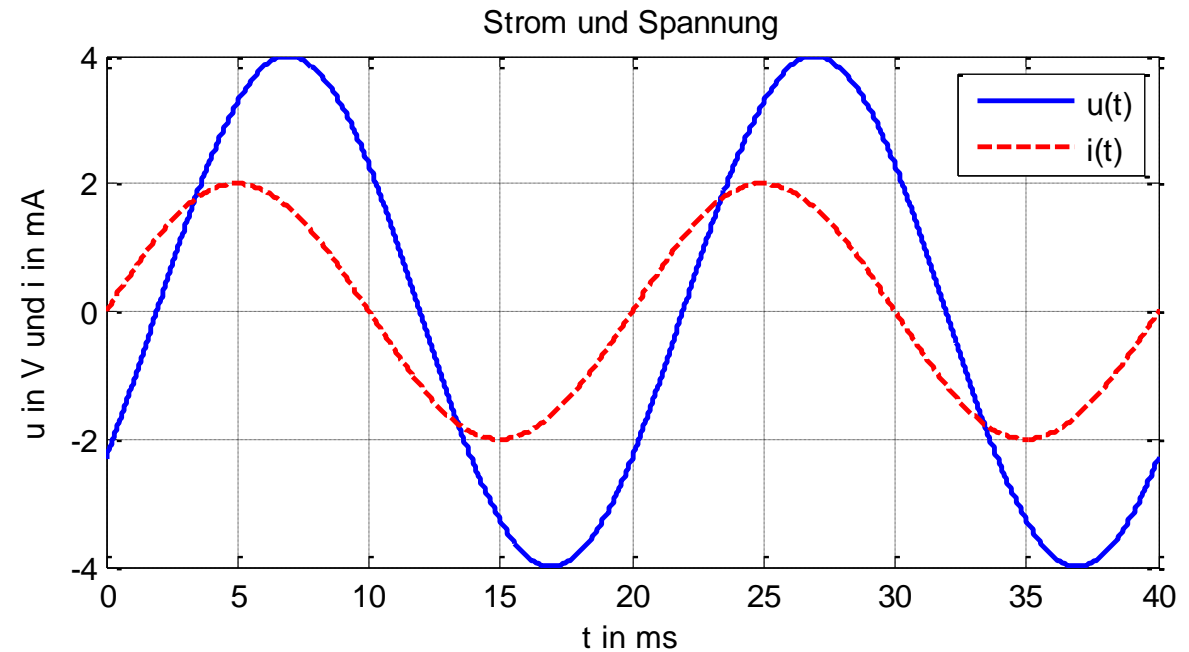
WECHSELSTROMLEISTUNG

Aufgabe:

Skizzieren Sie den Verlauf von $p(t) = u \cdot i$ in dem Diagramm.

$$\hat{u} = 4V \angle -30^\circ$$

$$\hat{i} = 2mA \angle 0^\circ$$



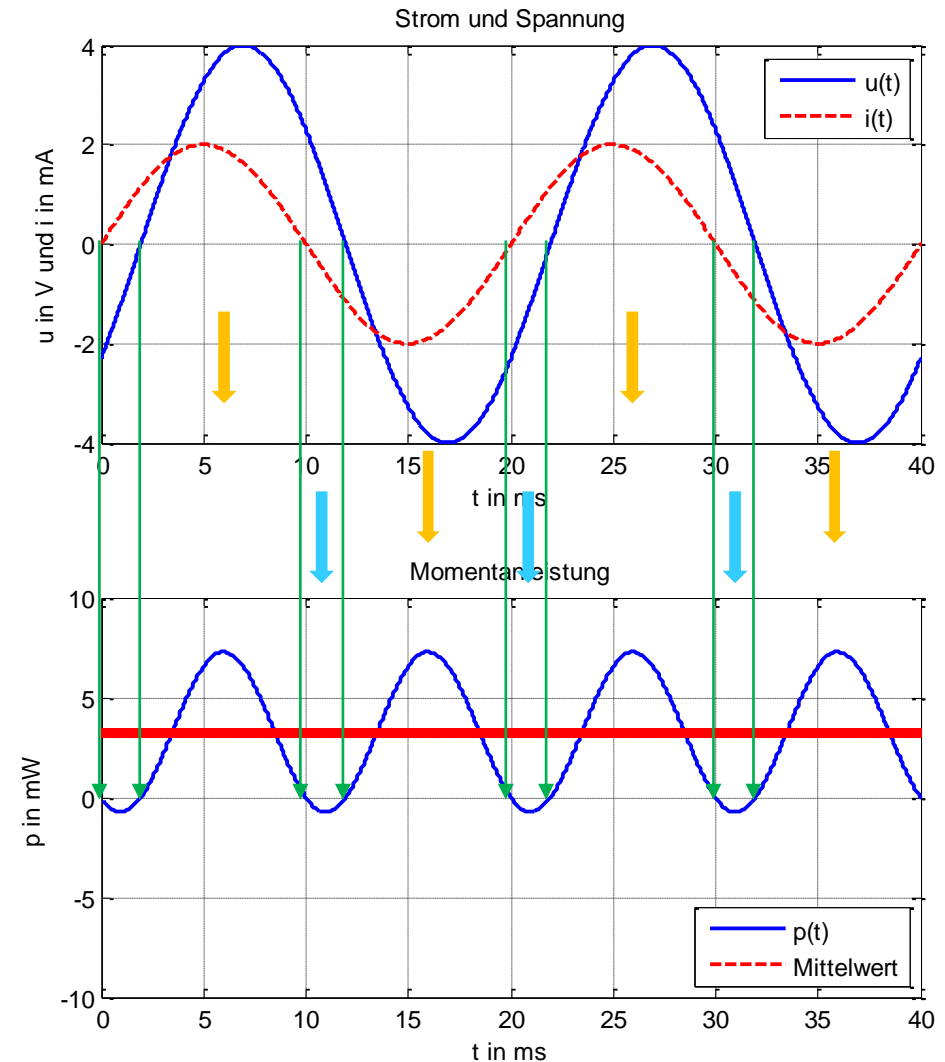
WECHSELSTROMLEISTUNG

Ergebnis :

$$p(t) = u \cdot i$$

Beobachtung :

-
-



WECHSELSTROMLEISTUNG

Mathematisch betrachtet:

$$\sin x \cdot \sin y = \frac{1}{2} [\cos(x - y) - \cos(x + y)]$$

mit i und u folgt aus:

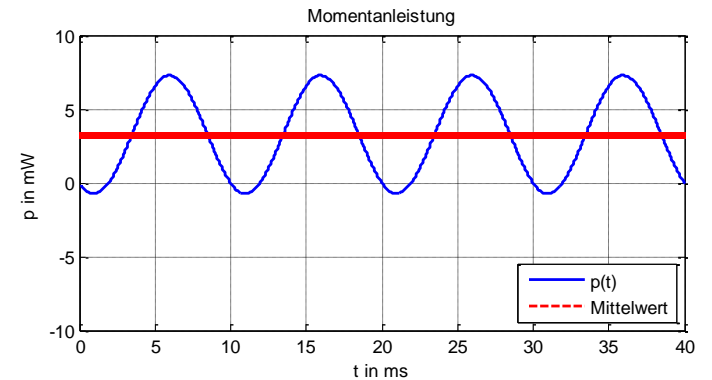
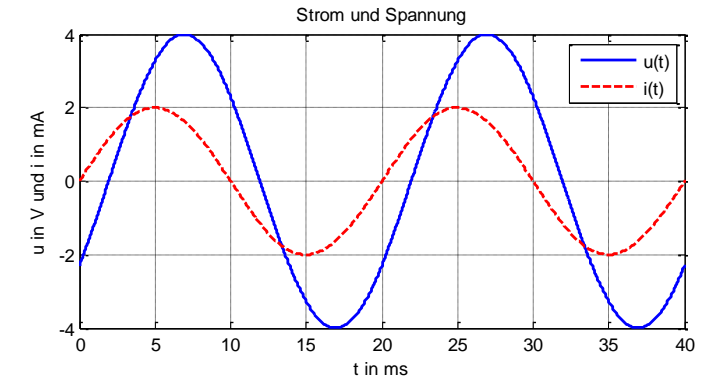
$$i = \hat{i} \cdot \sin \omega t$$

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\Rightarrow p =$$

\Rightarrow Gleichanteil:

\Rightarrow Amplitude des Wechselanteils:



\rightarrow Wirkleistung

\rightarrow Scheinleistung

DEFINITIONEN FÜR WECHSELSTROMLEISTUNG

Wirkleistung = mittlere Leistung

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

Mit den Effektivwerten U und I definiert man:

$$S = U \cdot I$$

Scheinleistung

$$\text{mit } [S] = 1 \text{ VA}$$

$$P = U \cdot I \cos \varphi$$

Wirkleistung

$$\text{mit } [P] = 1 \text{ W}$$

$$\cos \varphi = P / S$$

Leistungsfaktor

HINTERGRUND: EINKAUF VON STROM

Preisblatt
gültig ab 01.01.2020

Stromnetz
Hamburg
Stand: 10.01.2020

Netzentgelte

Die Netzentgelte für SLP-Kunden in der Niederspannungsebene bestehen aus einem Arbeits- und einem Grundpreis.
Der Grundpreis findet keine Anwendung für Speicherheizungen, sonstige steuerbare Verbrauchseinrichtungen sowie Pauschalanlagen.

Arbeitspreis
Arbeitspreis für SLP
Arbeitspreis für SLP
Grundpreis

Die Netzentgelte für
Entnahmestelle an

Benutzungsstufe
Entnahmespannung
Hochspannung
Umspannung Hoch-
Mittelspannung
Umspannung Mittel-
Niederspannung

Blindarbeit

Unterschreitet der durchschnittliche Leistungsfaktor den Wert 0,9 induktiv, so kann die monatlich 50 % der Wirkarbeit übersteigende Blindarbeit je Blindarbeitskilowattstunde (kvarh) berechnet werden.

Blindarbeitspreis

1,53 ct/kvarh

Benutzungsdauer ≥ 2.500 h/a	Jahresleistungspreis	Arbeitspreis
Entnahmespannungsebene		
Hochspannung	65,93 €/kW*a	0,69 ct/kWh
Umspannung Hoch-/Mittelspannung	42,05 €/kW*a	1,23 ct/kWh
Mittelspannung	56,92 €/kW*a	1,66 ct/kWh
Umspannung Mittel-/Niederspannung	85,52 €/kW*a	1,66 ct/kWh
Niederspannung	54,69 €/kW*a	3,86 ct/kWh
Entnahmespannungsebene	Monatsleistungspreis	Arbeitspreis
Hochspannung	10,99 €/kW*Monat	0,69 ct/kWh
Umspannung Hoch-/Mittelspannung	7,01 €/kW*Monat	1,23 ct/kWh
Mittelspannung	9,49 €/kW*Monat	1,66 ct/kWh
Umspannung Mittel-/Niederspannung	14,25 €/kW*Monat	1,66 ct/kWh
Niederspannung	9,12 €/kW*Monat	3,86 ct/kWh
Entnahmespannungsebene	Tagesleistungspreis	Arbeitspreis
Hochspannung	0,36 €/kW*Tag	0,69 ct/kWh
Umspannung Hoch-/Mittelspannung	0,23 €/kW*Tag	1,23 ct/kWh
Mittelspannung	0,31 €/kW*Tag	1,66 ct/kWh

Anmerkung:
Tagesleistungspreise können gemäß § 17 Abs. 8 StromNEV nur für den Strombezug der von Land aus erbrachten Stromversorgung von Seeschiffen beansprucht werden.

Blindarbeit

Unterschreitet der durchschnittliche Leistungsfaktor den Wert 0,9 induktiv, so kann die monatlich 50 % der Wirkarbeit übersteigende Blindarbeit je Blindarbeitskilowattstunde (kvarh) berechnet werden.

Blindarbeitspreis 1,53 ct/kvarh

Beispiel:

Netzentgelte Stromnetz Hamburg

<https://www.stromnetz-hamburg.de/download/netzentgelte-2020/?wpdmdl=17113>

AUFGABE ZU WECHSELSTROMLEISTUNG

Bestimmen Sie die Wirk- und Scheinleistung für $\hat{u} = 4 \text{ V}$, $\hat{i} = 2 \text{ mA}$ mit einer Phasendifferenz von 30° .

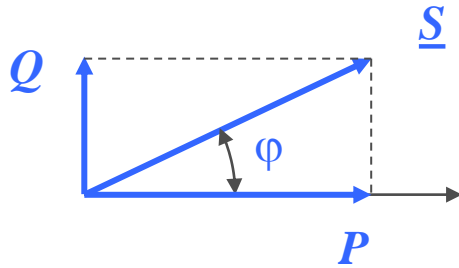
$$\cos \varphi =$$

$$S =$$

$$P =$$

KOMPLEXE SCHEINLEISTUNG

Fasst man S als einen komplexen Zeiger $\underline{S} = S \angle \varphi$ auf, kann man ihn in der komplexen Ebene wie folgt darstellen:



$$\underline{S} = P + j Q$$

$$P = U \cdot I \cos \varphi = S \cos \varphi$$

$$Q = U \cdot I \sin \varphi = S \sin \varphi$$

Komplexe Scheinleistung

Wirkleistung mit

Blindleistung mit

$$[S] = 1 \text{ VA}$$

$$[P] = 1 \text{ W}$$

$$[Q] = 1 \text{ var}$$

$$P = \operatorname{Re}\{\underline{S}\}$$

$$Q = \operatorname{Im}\{\underline{S}\}$$

$$S = |\underline{S}|$$

BERECHNUNG: KOMPLEXE SCHEINLEISTUNG

Sind die komplexen Effektivwerte \underline{U} und \underline{I} gegeben, so gilt:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^*$$

mit \underline{I}^* = konjugiert komplexe Zahl von \underline{I}

BERECHNUNG DER KOMPLEXEN SCHEINLEISTUNG

Sind die komplexen Effektivwerte \underline{U} und \underline{I} gegeben, so gilt:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^*$$

Beweis:

Allgemein gilt: $\underline{Z} = R + jX$ und $\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$.

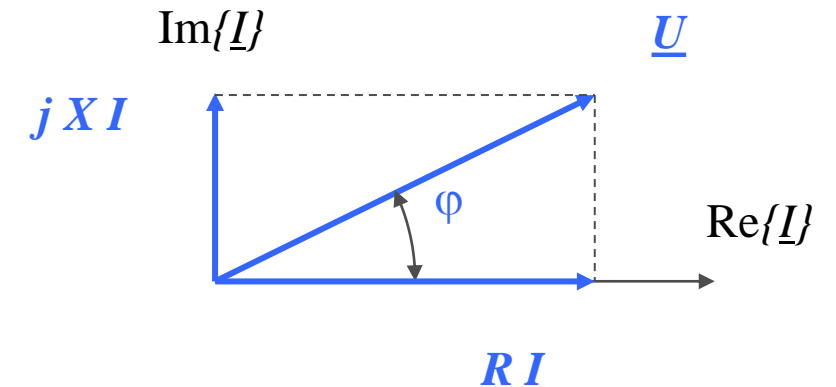
$$R \cdot I =$$

$$X \cdot I =$$

$$P =$$

$$Q =$$

$$\Rightarrow \underline{S} =$$



BEISPIEL: INDUKTIVITÄT L MIT $\underline{Z} = j\omega L$

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

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^* =$$

$$\Rightarrow P =$$

$$\Rightarrow Q =$$

\Rightarrow

AUFGABE: BESTIMMEN SIE DIE BLINDLEISTUNG

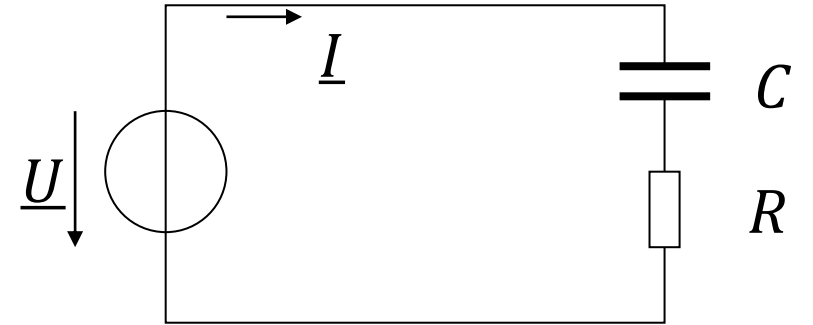
$$\omega =$$

$$\underline{Z} =$$

$$\underline{I} =$$

$$\underline{S} =$$

$$Q =$$



$$\underline{U} = 110 \text{ V}$$

$$C = 100 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R = 10 \text{ } \Omega$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

7 WECHSELSPANNUNG

7.1 Sinusförmige Größen

7.2 Komplexe Wechselstromrechnung

7.3 Elektrische Impedanz

7.4 Admittanz

7.5 Wechselstromleistung

7.6 Blindstromkompensation

7.7 Leistungsanpassung bei Impedanzen

7.8 Wechselstrom-Messbrücken

BLINDSTROMKOMPENSATION

Maschinen (ganze Fabriken) stellen eine induktive Last dar.

Es soll die Leistung $P = I^2 R$ erbracht werden.

Der Generator muss die Scheinleistung S mit $S > P$ erbringen.

⇒ Es fließt durch die Zuleitung ein höherer Strom als nötig!

Idee:

⇒

UMSETZUNG EINER BLINDSTROMKOMPENSATION

Geier Starkstromtechnik GmbH

Freitag, 13. Dezember 2013 [Anfahrt](#) | [Ansprechpartner](#) | [News](#) | [Sitemap](#)


suchen...

Home **Blindstrom** Transformatoren Arbeiten unter Spannung Infrarot Thermografie Niederspannung Mittelspannung E-Check Kontakt

News
Ansprechpartner
Anschrift/Anfahrt
Stellenangebote
Trafoshop
Download
Video

TÜV Überwacht

Unser Betrieb wird TÜV überwacht.



Zulassung zum Fachbetrieb nach Wasserrecht.

www.blindstrom.de


Blindstromanlage

Blindstromanlagen in Schwenkrahmentchnik!

Bundesweiter Service ab 300,00 € pro Anlage

[zum Video](#)

Standorte



Region West
Dillenburg
Tel.: 02771 26532-0
[zur Anfahrtsskizze](#)

Region Ost
Ludwigsfelde
03378 820261
[zur Anfahrtsskizze](#)

[Notdienst](#)

[Downloads](#)

[TÜV-Zertifikat](#)

Home > Blindstrom > Blindstrom

Blindstrom

[PDF Blindstrom](#)

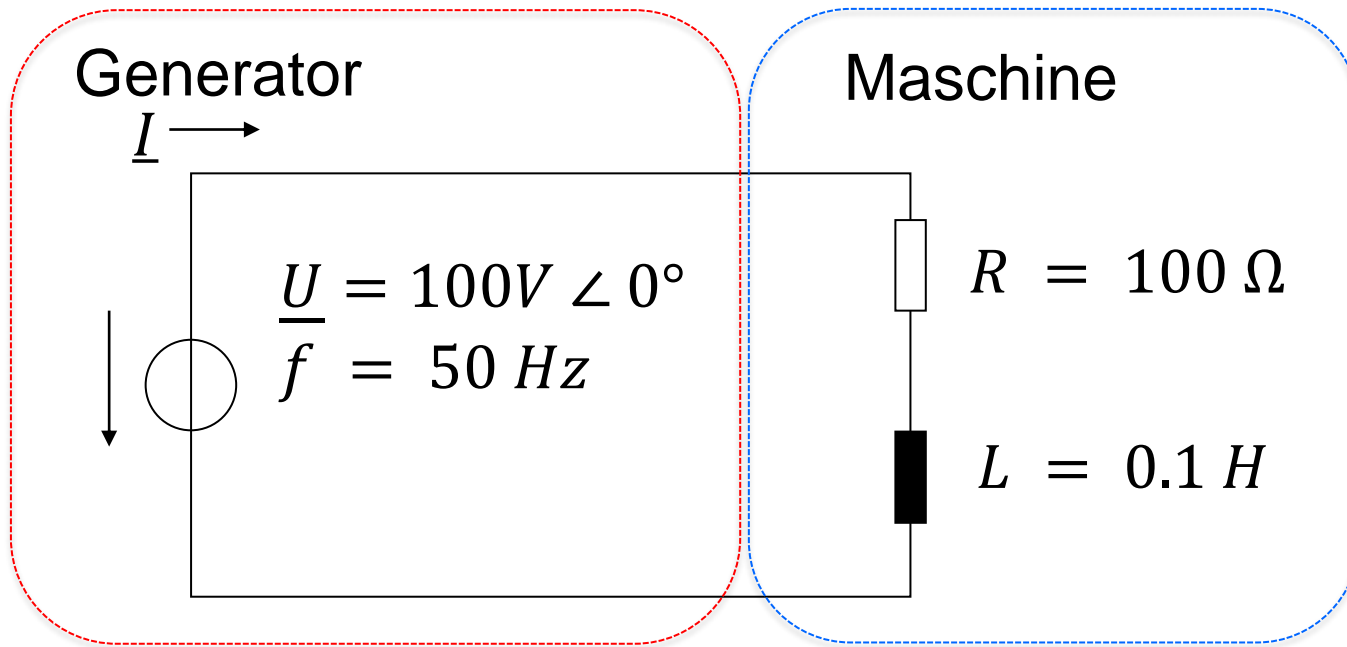
1. Entstehung des Blindstromes

Für die Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie wird, von seltenen Sonderfällen abgesehen, Wechselstrom (auch Drehstrom ist Wechselstrom) angewendet. Eine nachteilige Eigenschaft des Wechselstromes besteht darin, daß Stromverbraucher wie z.B. Motoren, Transformatoren, Schweißapparate und Drosselspulen von Leuchtstofflampen bei Wechselstrom und gleicher Leistung eine größere Stromaufnahme haben als sie bei Betrieb mit Gleichstrom hätten. Sie nehmen außer Wirkstrom auch noch Blindstrom auf, belasten also die Leitungen stärker als bei Gleichstrom. Stromverbraucher, wie normale Glühlampen und die meisten Elektro- Wärmegeräte, haben bei Wechselstrom die gleiche Stromaufnahme wie bei Gleichstrom.

Quelle: <http://www.geier-starkstromtechnik.de/blindstromanlagen/blindstrom.html>

Video: <http://www.youtube.com/watch?v=MJPI-pTjiec&feature=share&list=UUEJTOdVH6s00WhaxKjExnAg&index=15>

INDUKTIVE LAST OHNE KOMPENSATION

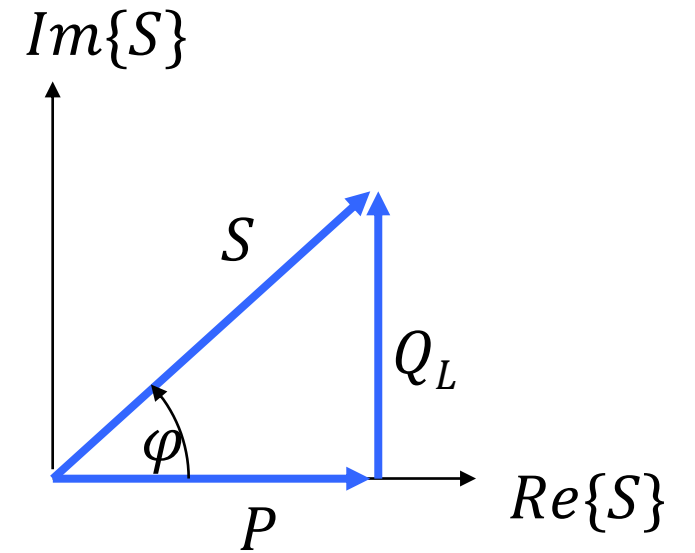


$$\underline{Z} =$$

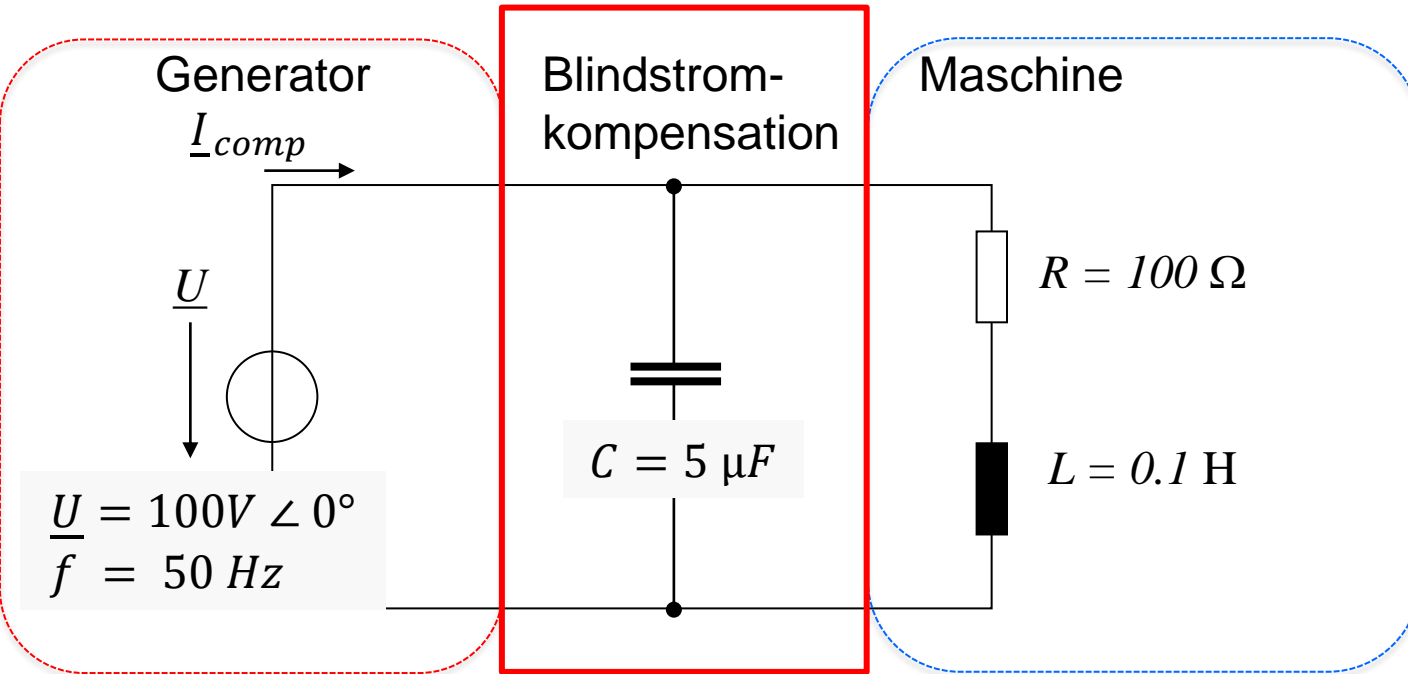
$$\underline{I} =$$

$$\Rightarrow \underline{S} =$$

$$\Rightarrow \varphi = \quad \cos \varphi =$$



BLINDSTROMKOMPENSATION

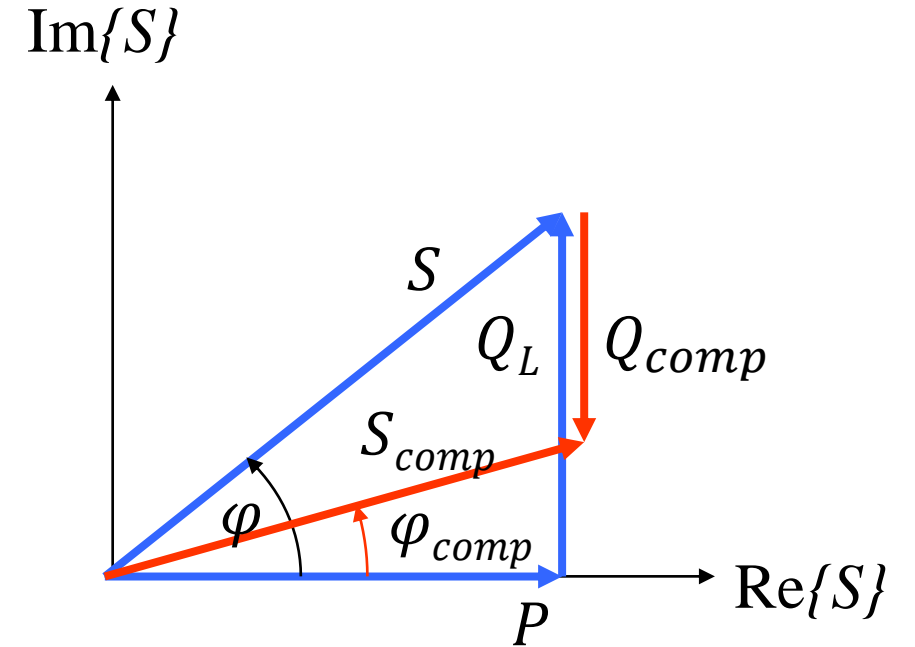


$$\underline{Y}_{comp} =$$

$$\underline{I}_{comp} =$$

$$\underline{S}_{comp} =$$

$$\varphi = \quad \cos \varphi =$$



Verbesserung des Leistungsfaktors:

$\cos \varphi_{comp} = 1$: vollständige Kompensation

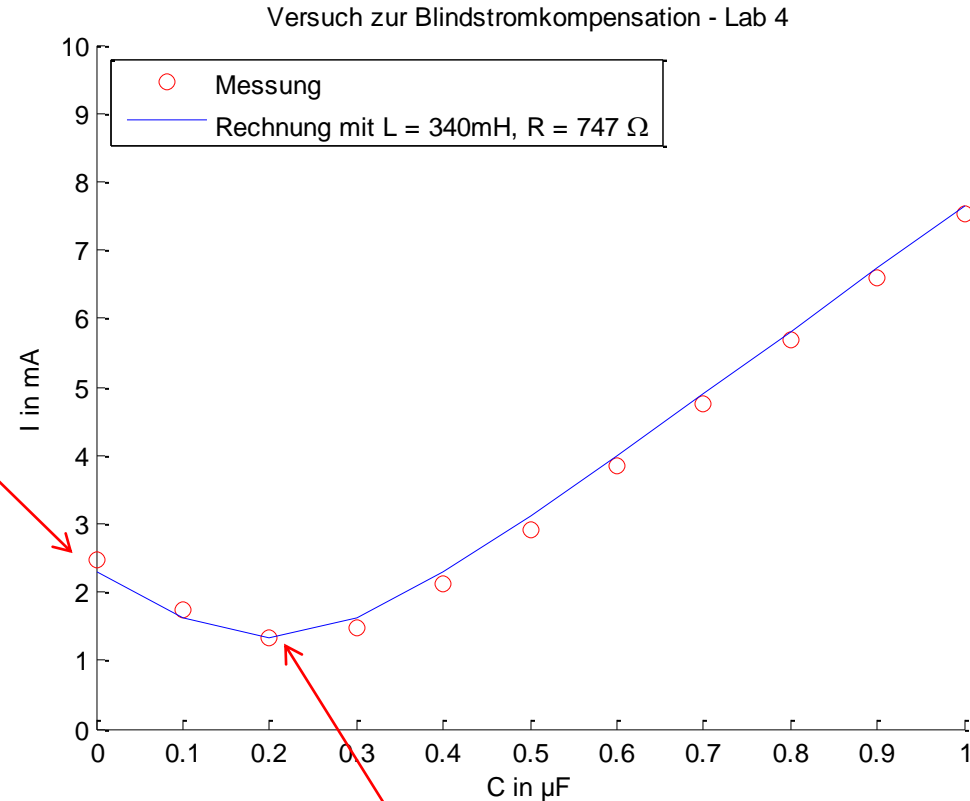
$\cos \varphi_{comp} < 1$: Teilkompensation

gleiche Leistung P bei niedrigerem Strom I

BEISPIEL

Experimentelle Bestimmung der Kompensationskapazität

ohne Kondensator:
($C = 0 \mu F$)
 $\Rightarrow I = 2,5 \text{ mA}$



Quelle:
Klask, T.; Looft, M.; Nohdurft, B:
EE Laborversuch 4, 2013.

Bei Wahl des korrekten Kondensators ($C = 0,2 \mu F$)
 \Rightarrow Gesamtstromaufnahme nur noch $I = 1,5 \text{ mA}$

7 WECHSELSPANNUNG

7.1 Sinusförmige Größen

7.2 Komplexe Wechselstromrechnung

7.3 Elektrische Impedanz

7.4 Admittanz

7.5 Wechselstromleistung

7.6 Blindstromkompensation

7.7 Leistungsanpassung bei Impedanzen

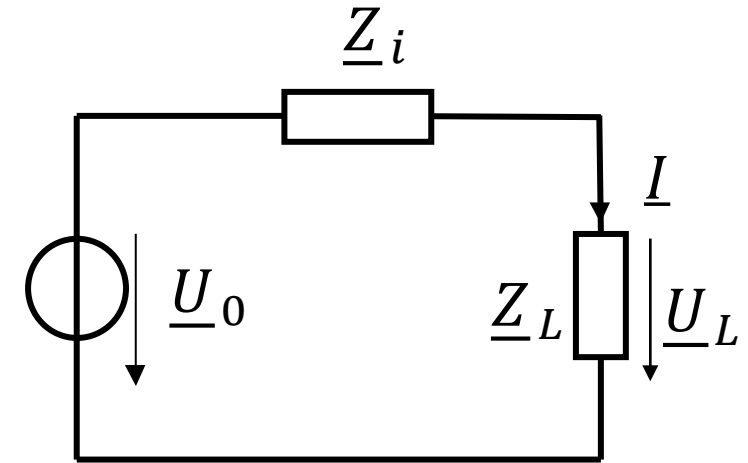
7.8 Wechselstrom-Messbrücken

LEISTUNGSANPASSUNG BEI IMPEDANZEN

\underline{U}_0 : Wechselspannungsquelle

\underline{Z}_i : Innenimpedanz der Spannungsquelle

\underline{Z}_L : Lastimpedanz



Leistungsanpassung:

Anpassung der Last $\underline{Z}_L = R_L + jX_L$, so dass sich die maximale Wirkleistung P_L in \underline{Z}_L ergibt.

Frage:

Unter welcher Bedingung wird $P_L = f(\underline{Z}_i)$ maximal?

BEDINGUNG FÜR LEISTUNGSANPASSUNG

Wie berechnet sich $P_L = f(\underline{U}_0, \underline{Z}_i, \underline{Z}_L)$?

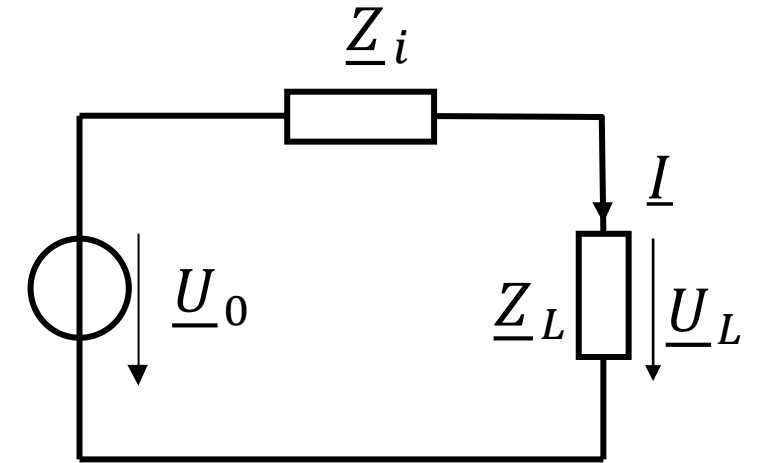
$$\underline{S}_L =$$

$$\underline{U}_L =$$

$$\underline{I} =$$

$$\underline{S}_L =$$

$$P_L =$$



Mit:

$$\underline{Z}_i = R_i + j X_i$$

$$\underline{Z}_L = R_L + j X_L$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_i + \underline{Z}_L$$

MAXIMUM DER WIRKLEISTUNG

$$P_L = \frac{U_0^2}{Z^2} \cdot R_L$$

Maximum wenn: $\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0$ und $\frac{\partial P_L}{\partial X_L} = 0$

$\frac{\partial P_L}{\partial X_L}$ (= partielle Ableitung nach $X_L \Rightarrow$ alles außer X_L sei konstant)

$$\frac{\partial P_L}{\partial X_L} = \frac{\partial}{\partial X_L} \frac{U_0^2 \cdot R_L}{(R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2} = U_0^2 \cdot \frac{0 - 2 \cdot X_L \cdot (X_i + X_L)}{\left((R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2\right)^2} = - \frac{2U_0 \cdot X_L \cdot (X_i + X_L)}{\left((R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2\right)^2}$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = \frac{\partial}{\partial R_L} \frac{U_0^2 \cdot R_L}{(R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2} = U_0^2 \cdot \frac{(R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2 - 2 \cdot R_L \cdot (R_i + R_L)}{\left((R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2\right)^2}$$

$$= U_0^2 \cdot \frac{R_i^2 + 2R_i R_L + R_L^2 + (X_i + X_L)^2 - 2R_L R_i - 2R_L^2}{\left((R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2\right)^2} = U_0^2 \cdot \frac{R_i^2 - R_L^2 + (X_i + X_L)^2}{\left((R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2\right)^2}$$

BEDINGUNG FÜR LEISTUNGSANPASSUNG

$$\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0 \Leftrightarrow R_i^2 - R_L^2 + (X_i + X_L)^2 = 0$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial X_L} = 0 \Leftrightarrow 2U_0 \cdot X_L \cdot (X_i + X_L) = 0$$

$$R_L =$$

$$X_L =$$

\Leftrightarrow

$$\underline{Z}_L =$$

Wir erhalten:

$$P_{L,\max} = \frac{U_0^2 \cdot R_L}{(R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2} = \frac{U_0^2}{4R_i}$$

ÜBUNG ZUR LEISTUNGSANPASSUNG

Bestimmen Sie die Innenimpedanz einer Spannungsquelle, die für Leistungsanpassung an eine Lastimpedanz $R_L = 20 \, \Omega$ und $X_L = -10 \, \Omega$ an einer $10V$ Wechselspannungsquelle bei $\omega = 100 \, s^{-1}$ benötigt wird.

Welche Wirkleistung wird in Z_L umgesetzt?

$$R_i =$$

$$X_i =$$

$$L_i =$$

$$P_L =$$

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN ...

Wechselstromleistung

- Wirkleistung
- Scheinleistung
- Blindleistung
- Leistungsfaktor
- komplexe Leistung
verstehen und berechnen

$$P =$$

$$S =$$

$$Q =$$

$$\cos \varphi$$

$$\underline{S} =$$

Blindstromkompensation

- Blindstromkompensation anwenden können
- Leistungsfaktor nach Korrektur berechnen können

$$\omega L =$$

Leistungsanpassung

- Leistungsanpassung verstehen und anwenden können

$$R_L =$$

$$X_L =$$