

1. EMS-Übung

15.04.2014

Dipl.-Ing. Mario Gommeringer

Elektrotechnisches Institut (ETI)

Einführung

Formales

- Mario Gommeringer
 - Raum 118, ETI, Geb. 11.10
 - E-Mail: mario.gommeringer@kit.edu
- Übungsblätter sind als PDF auf den Internetseiten des ETI abrufbar.
 - http://www.eti.kit.edu/studium_uebung_ems.php
 - Bitte zukünftig selbst ausdrucken
- Die in der Übung gezeigten Folien werden ebenfalls nach der jeweiligen Übung zum Download bereitgestellt

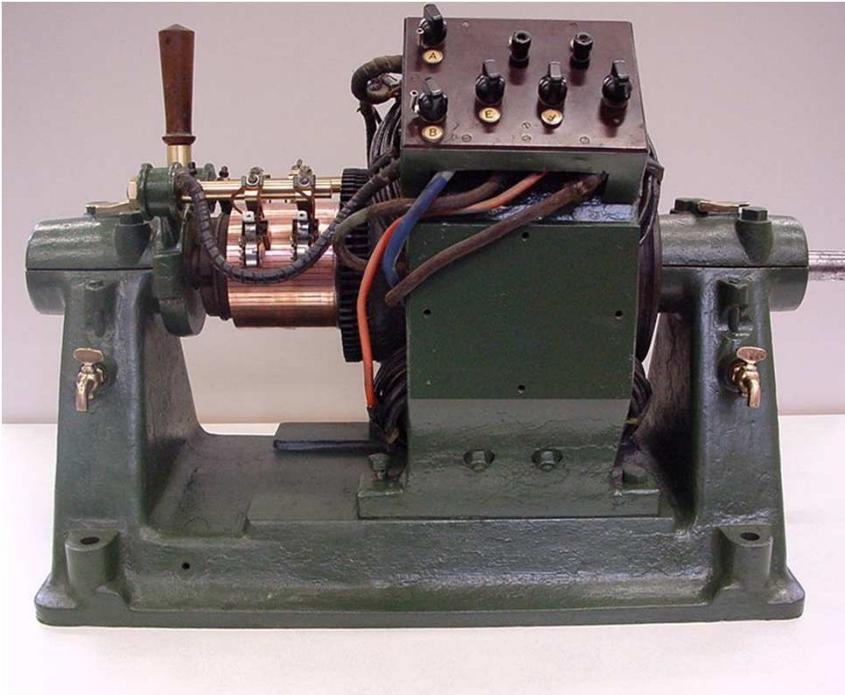
Aufgaben & Lösungen

- Durchgehende Nummerierung der Aufgaben
- Bearbeitung der Aufgaben teilweise wochenübergreifend
- Kurzlösungen werden blockweise zum Download auf der Internetseite bereitgestellt
 - http://www.eti.kit.edu/studium_uebung_ems.php
- Passwort für Folien und Lösungen:
 - Benutzername: „ems“
 - Passwort: „Polradwinkel“

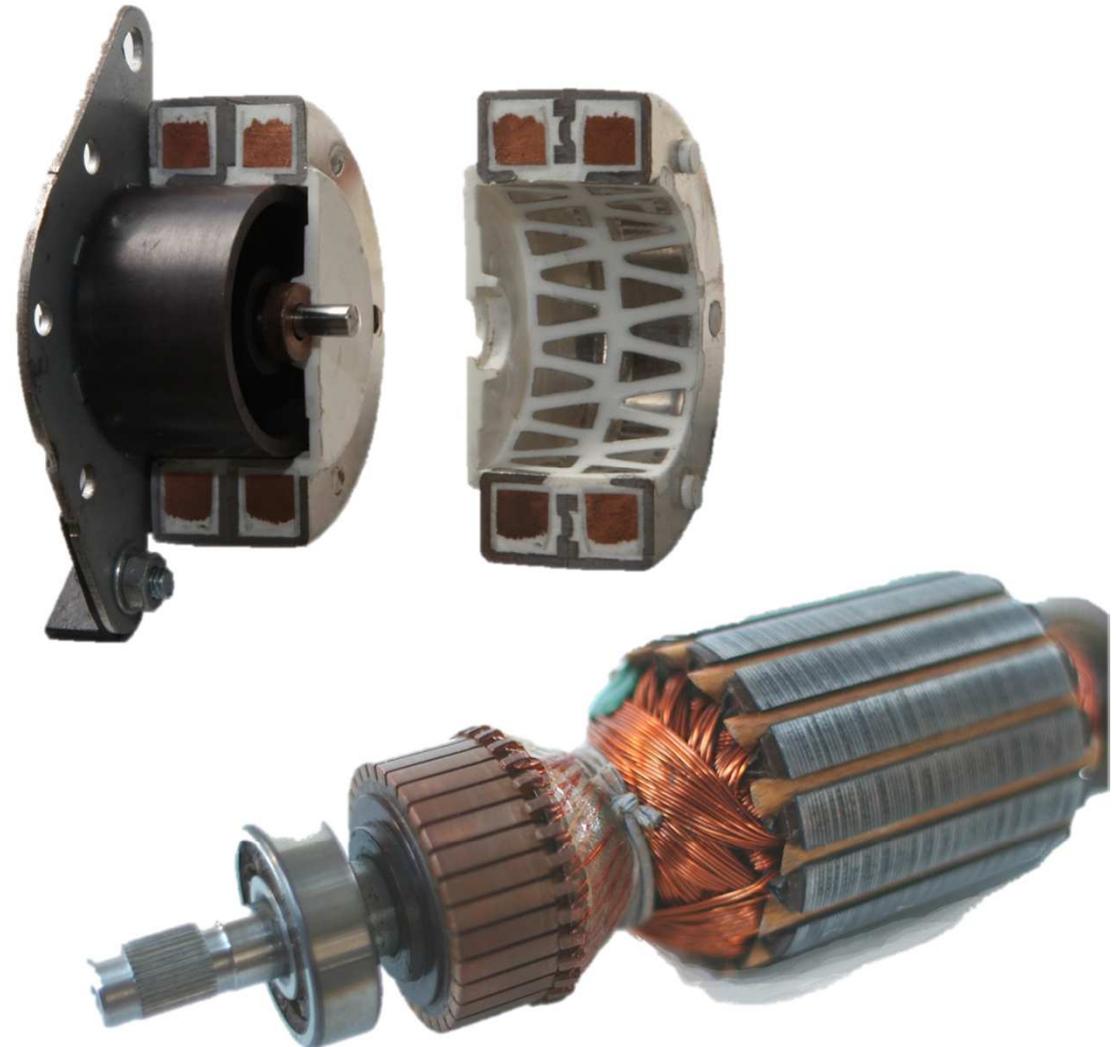
Klausur

- Termin: 26.09.2014 08:00 Uhr Dauer 2 Stunden
- Erlaubte Hilfsmittel:
 - Formelsammlung
 - Taschenrechner (nicht programmierbar)
- Schreib-/Zeichenzeug und Papier sind selbst mitzubringen
- Vorbereitung:
 - Besuch der Vorlesung und Übung
 - Rechnen der Übungsaufgaben
 - Rechnen der Klausuraufgaben

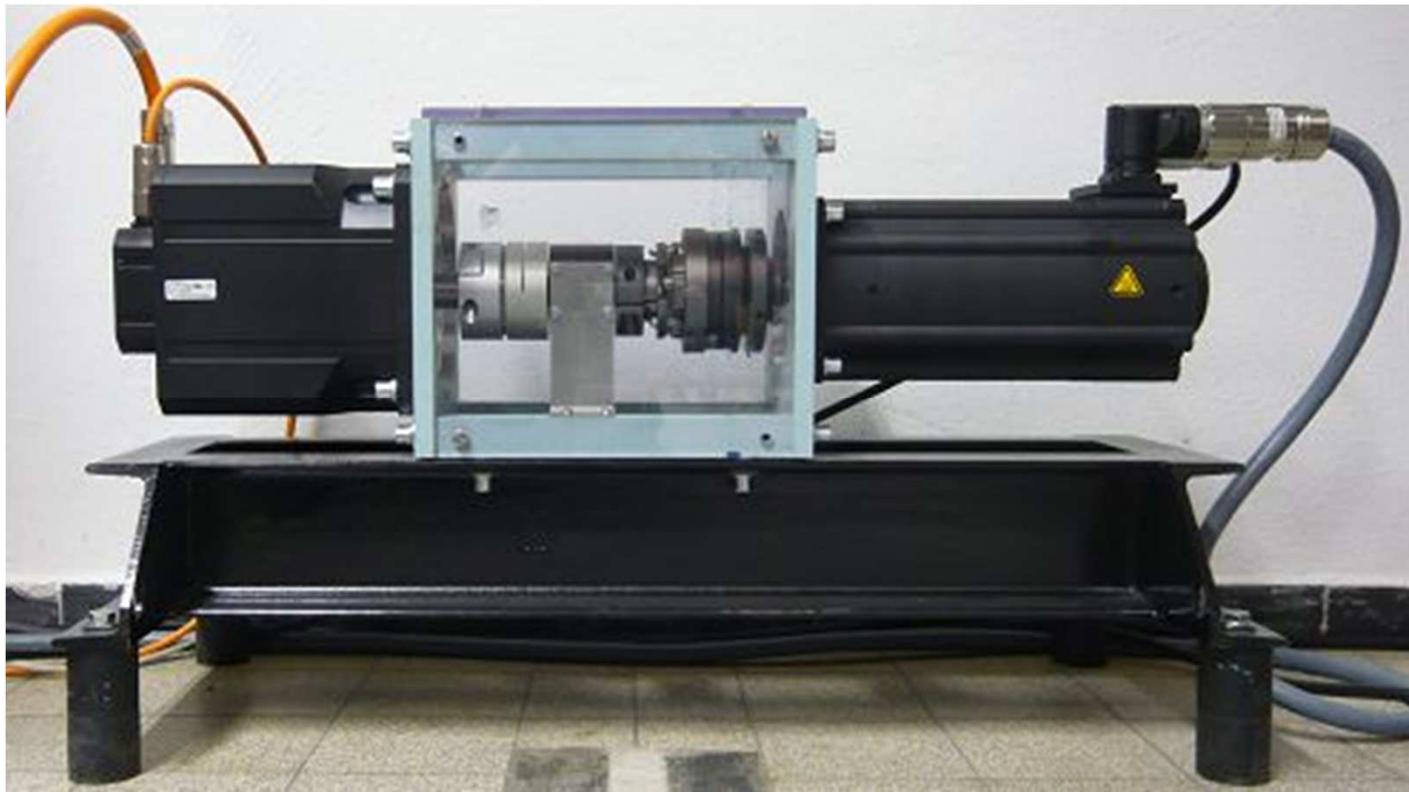
Elektrische Maschinen



Antriebstechnik gestern...



...und heute



Motorprüfstand für permanenterregte Synchronmaschinen

Leistungshalbleiter



IGCT

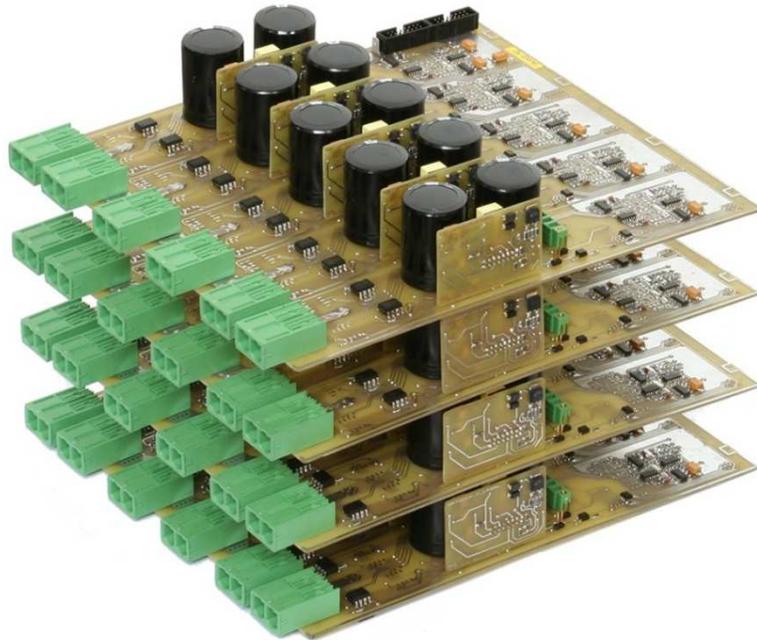


Thyristor

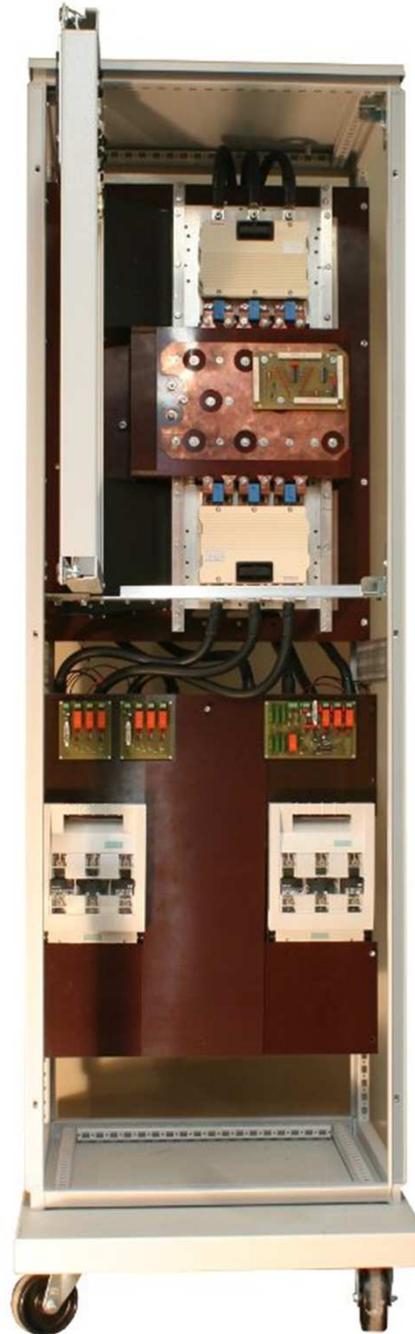


IGBT

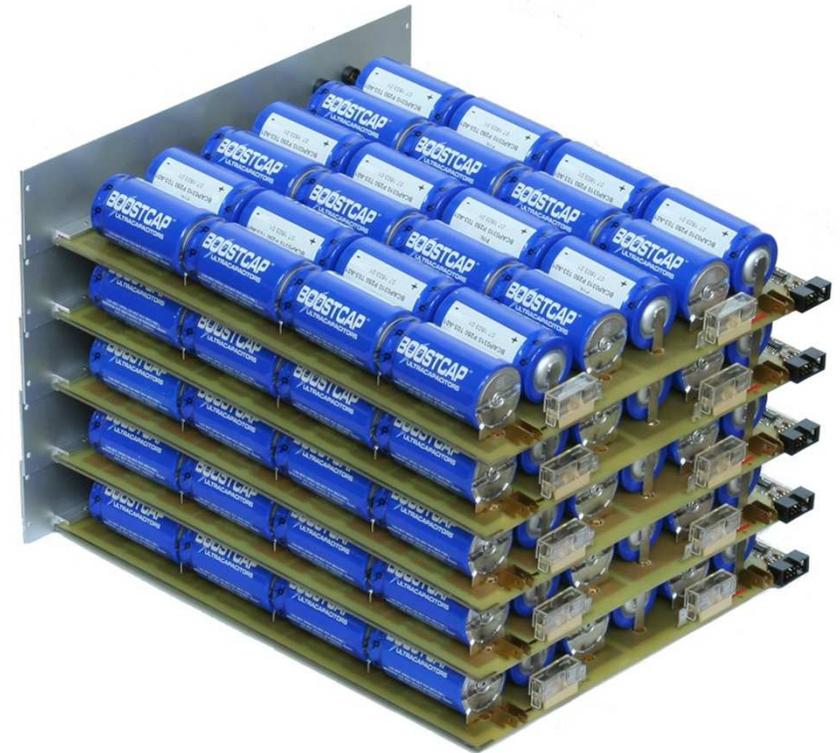
Stromrichter



Multilevel-Umrichter

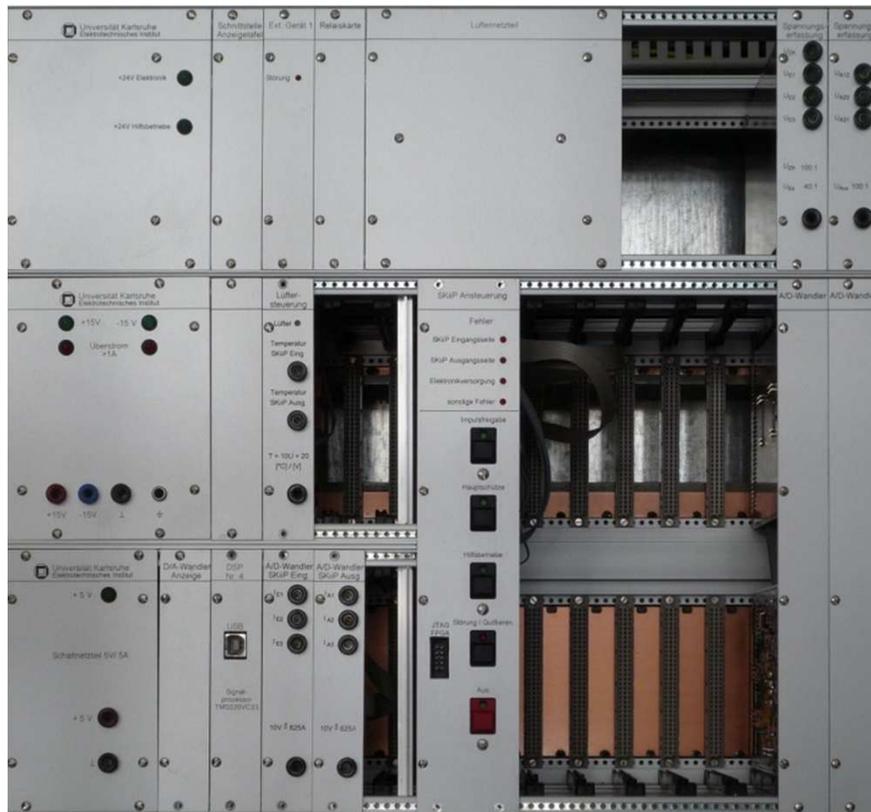


3AC-DC-3AC
Umrichter
mit IGBTs
(ca. 130kW)

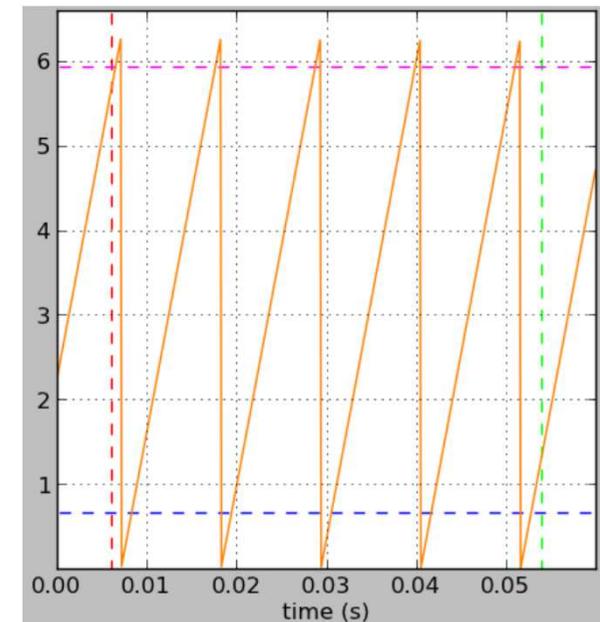
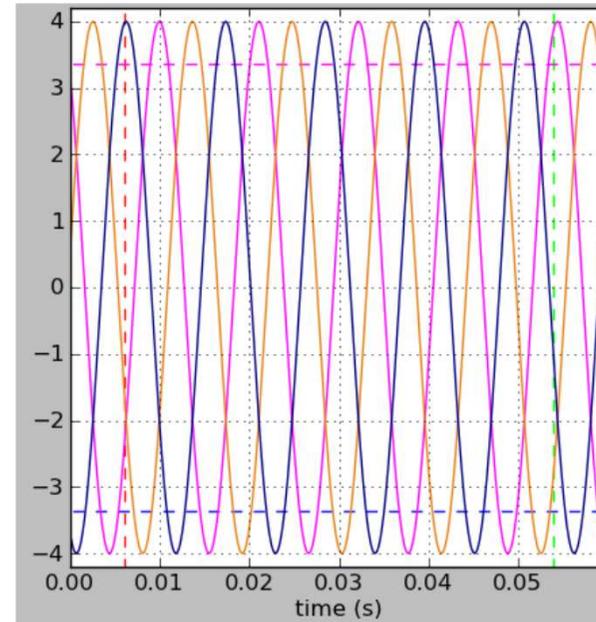
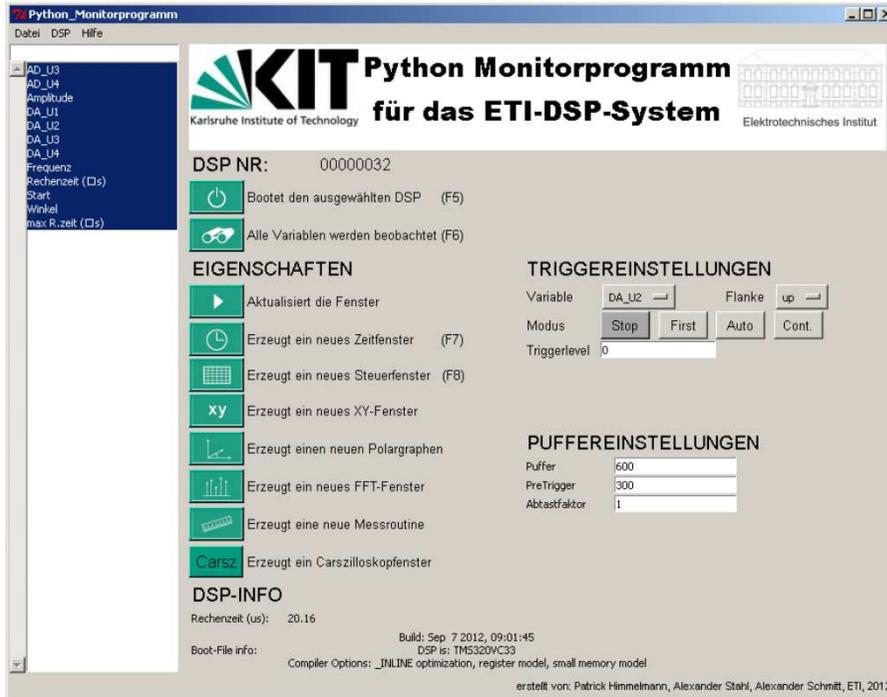


Energiespeicher mit Doppel-
schichtkondensatoren

Steuerungstechnik



digitaler Signalprozessor



Bedienprogramm zur Stromrichtersteuerung

Formelsymbole

- Zeitveränderliche Größen werden üblicherweise mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

- z.B.
$$i(t) = \hat{I} \cdot \cos(\omega t + \varphi_I)$$

- Effektivwerte werden mit Großbuchstaben bezeichnet

- z.B.
$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2(t) dt}$$

- Komplexe Größen erhalten einen Unterstrich

- z.B.
$$\underline{I} = I \cdot (\cos(\varphi_I) + j \cdot \sin(\varphi_I))$$

Formelsymbole

- Index für eindeutige Zuordnung:

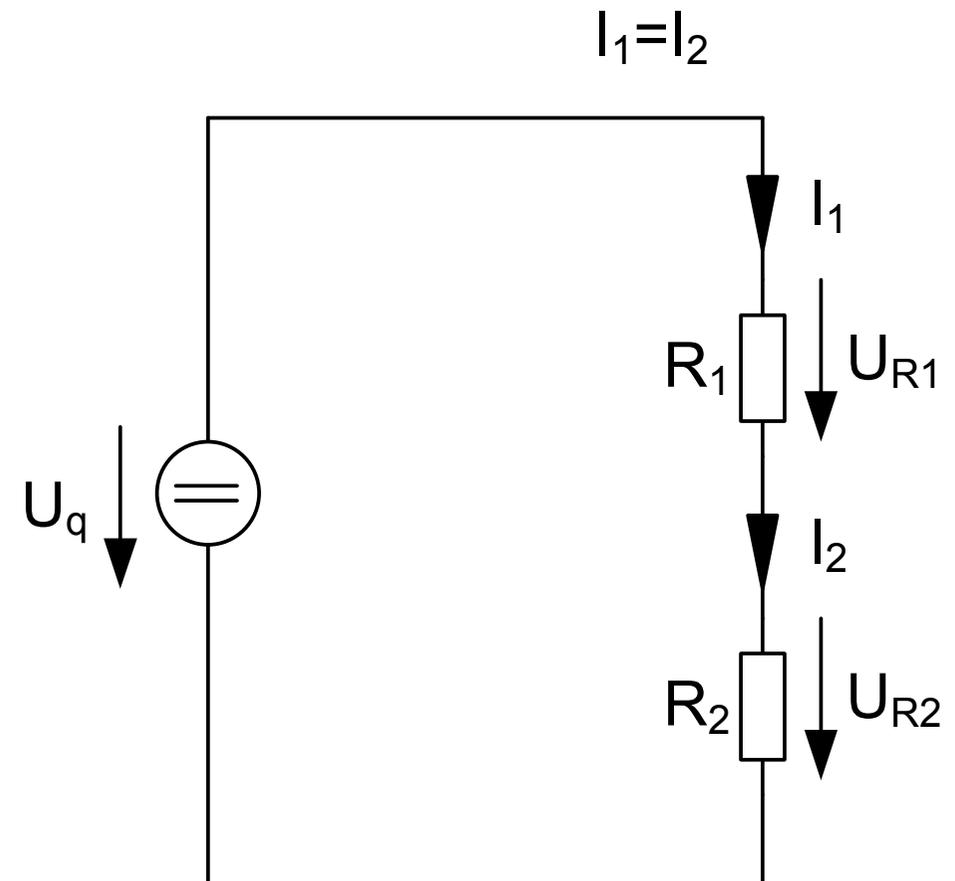
- allgemein:

$$U = R \cdot I$$

- speziell:

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1$$

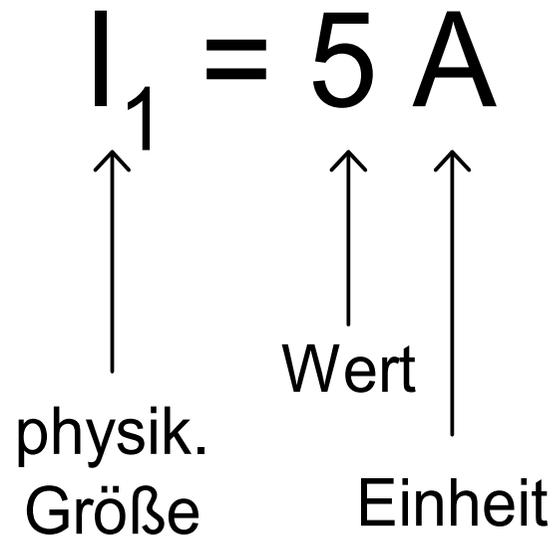
$$U_{R2} = R_2 \cdot I_2 = R_2 \cdot I_1$$



Formelrechnen mit Zahlenwerten

- Rechnungen immer vollständig mit Einheiten durchführen

$$I_1 = 5 \text{ A}$$



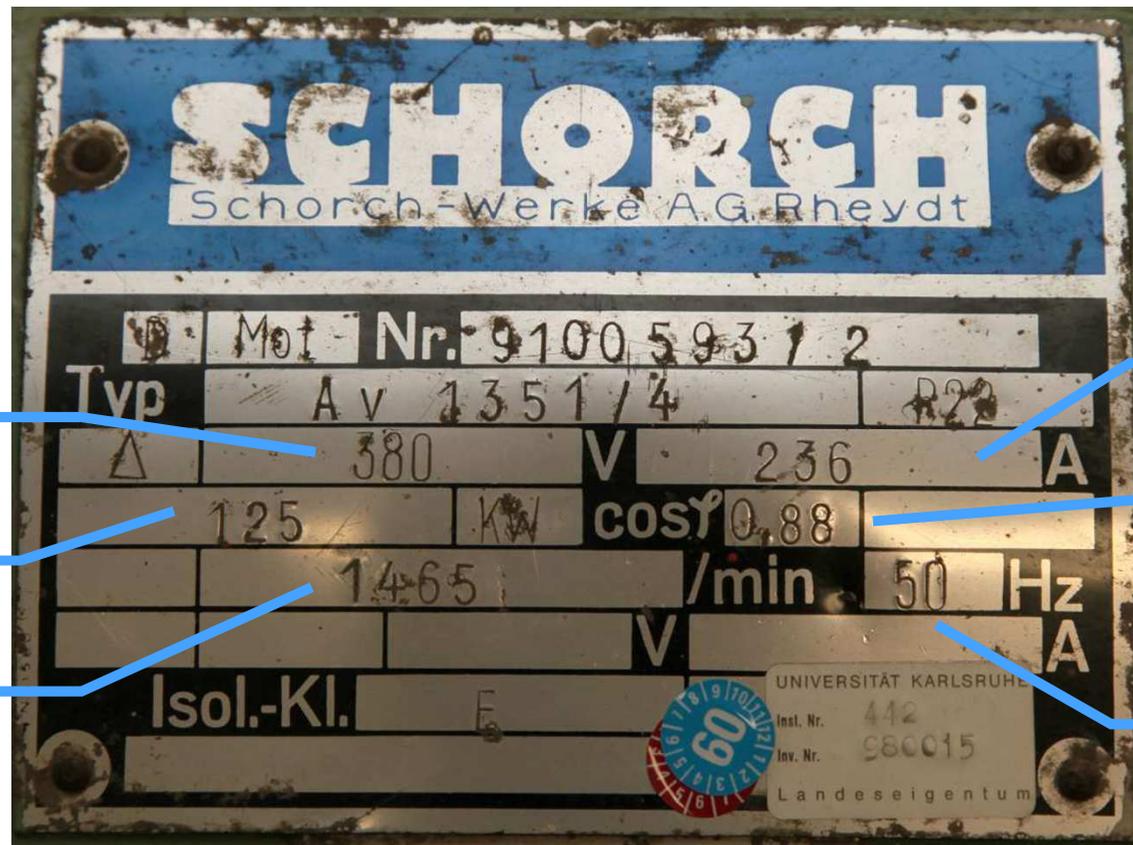
- Ermöglicht zusätzliche Kontrolle während der Rechnung

Nenngrößen

- Nenngrößen werden durch die Auslegung einer Maschine oder eines Gerätes bestimmt (Hersteller, Datenblatt, Typenschild).
- Der Nennpunkt ist genau der Betriebspunkt der Maschine/des Geräts, in dem sämtliche Größen den Nenngrößen entsprechen
- Meist kennzeichnen sie die maximal zulässigen Werte, mit der ein Gerät dauerhaft betrieben werden darf
- Begrenzung beispielsweise durch gewählten Drahtquerschnitt (Erwärmung durch Verluste)
- Kennzeichnung durch ein großes N im Index
 - z.B. $I_1 = I_{1N}$

Nenngrößen

- Typenschild eines Asynchronmotors



Nennspannung

Nennleistung

Nennzahl

Nennstrom

Nennleistungs-
faktor

Nennfrequenz

Einheiten

- Beim Rechnen auf passende Einheiten achten:

$$n = 3000 \text{min}^{-1} = 3000 \text{min}^{-1} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{s}} = 50 \text{s}^{-1} = 50 \text{Hz}$$

- Vorsicht: Umrechnen von mechanischer Winkelgeschwindigkeit und Drehzahl:

$$P = M \cdot \Omega \quad \text{mit} \quad \Omega = 2\pi n$$

Rotatorische Bewegung

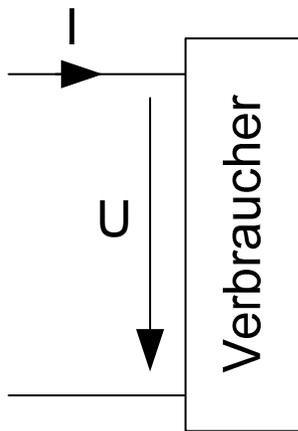
- Für rotatorische Bewegungen gelten im Prinzip die gleichen Zusammenhänge wie für die translatorische Bewegung.
- Größen wie z.B. Kraft oder Masse haben eine entsprechende Größe in den rotatorischen Bewegungsgleichungen wie z.B.: Drehmoment und Trägheitsmoment

Bewegungsgleichungen

Translation			Rotation		
Name, Symbol	Gleichung	Einheit	Name, Symbol	Gleichung	Einheit
Weg s		m	Winkel φ		rad
Geschwindigkeit v	$v = \frac{ds}{dt}$	$\frac{m}{s}$	Winkelgeschw. $\dot{\varphi}$	$\Omega = \frac{d\varphi}{dt}$	$\frac{rad}{s}$
Beschleunigung a	$a = \frac{dv}{dt}$	$\frac{m}{s^2}$	Winkelbeschl. $\ddot{\varphi}$	$\alpha = \frac{d\Omega}{dt}$	$\frac{rad}{s^2}$
Masse m		kg	Massenträgheitsmoment J	$J = \int r^2 dm$	$kg \cdot m^2$
Kraft F	$F = m \cdot a$	N	Drehmoment M	$M = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$	Nm
Leistung P	$P = F \cdot v$	W	Leistung P	$P = M \cdot \Omega$	W
Arbeit W	$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$	J	Arbeit W	$W = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \Omega^2$	J

Zählpfeilsysteme

Verbraucherzählpfeilsystem:

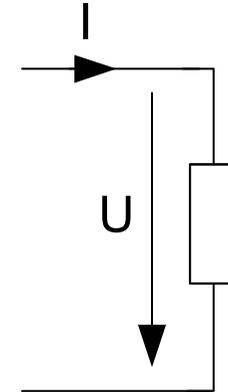


$$P > 0W$$

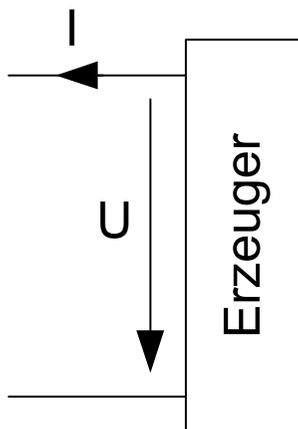
der Verbraucher nimmt Leistung auf

$$P < 0W$$

der Verbraucher gibt Leistung ab



Erzeugerzählpfeilsystem:

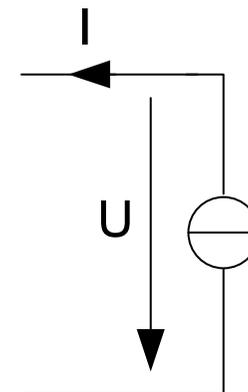


$$P > 0W$$

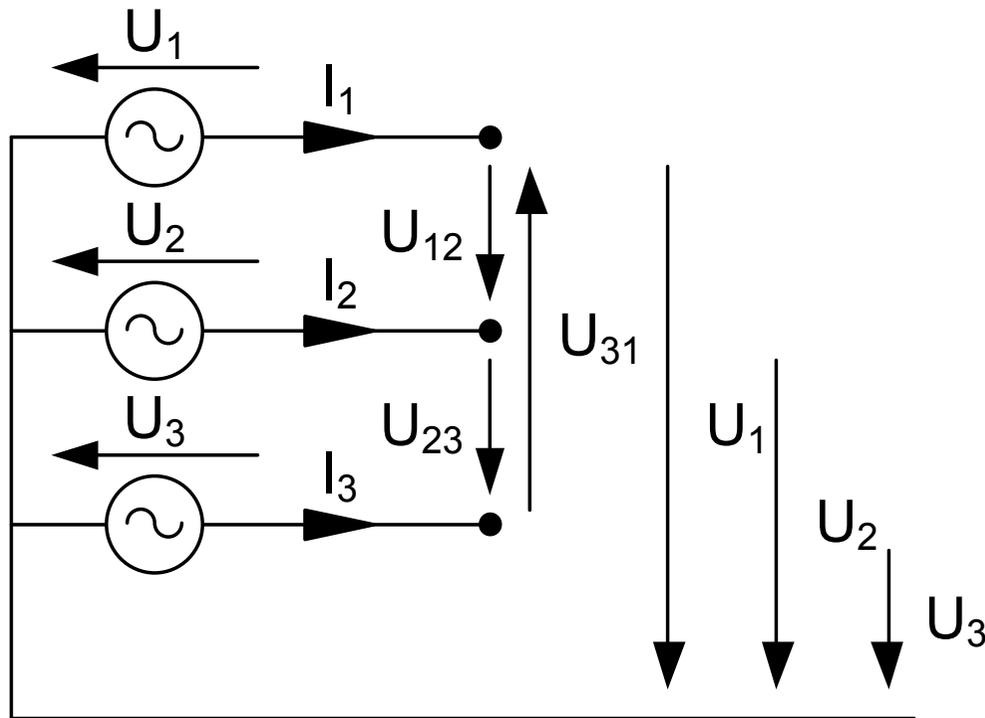
der Erzeuger gibt Leistung ab

$$P < 0W$$

der Erzeuger nimmt Leistung auf



Drehstrom-/Drehspannungssystem

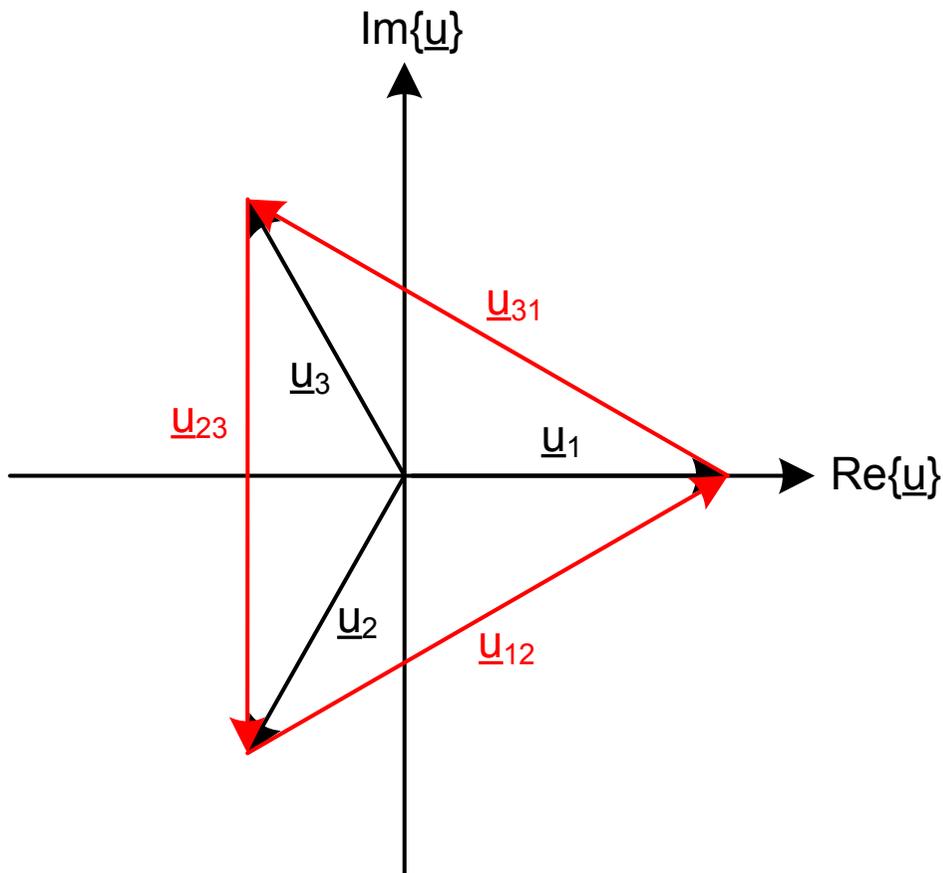


- Die Strangspannung U_S liegt von einer Phase zum Sternpunkt an

$$U_S = U_1 = U_2 = U_3$$
- Die Leiterspannung U_L liegt zwischen zwei Phasen an. Die Nennspannung U_N bezieht sich in der Energietechnik auf die Leiterspannung ($U_N = U_L = U_{12} = U_{23} = U_{31}$)
 - 120° Phasenverschiebung zwischen den Phasen
 - $u_1 + u_2 + u_3 = 0V$
 - $u_{12} + u_{23} + u_{31} = 0V$
- Der Strom in einer Phase wird als Strangstrom I_S bezeichnet.

$$I_S = I_1 = I_2 = I_3$$

Strang- und Leiterspannungen



$$u_1(\omega t) = \hat{U} \cos(\omega t)$$

$$u_2(\omega t) = \hat{U} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_3(\omega t) = \hat{U} \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

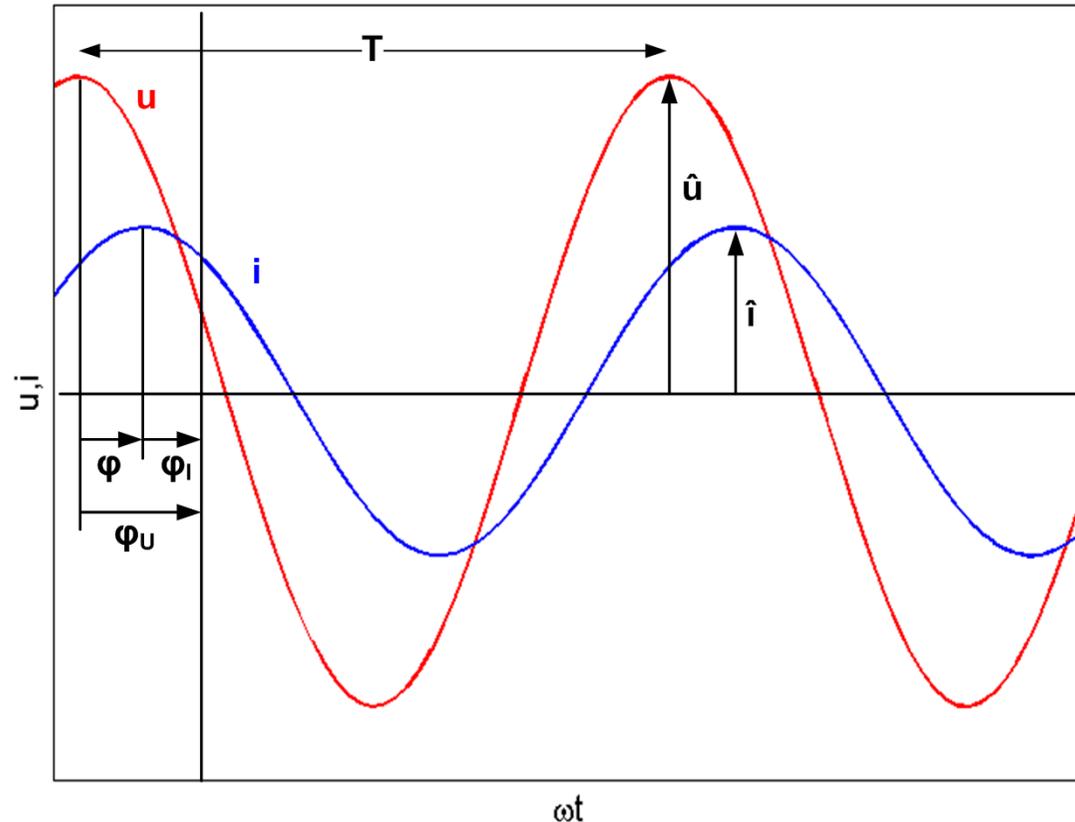
$$u_{12}(\omega t) = \hat{U}\sqrt{3} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$u_{23}(\omega t) = \hat{U}\sqrt{3} \cos\left(\omega t + \frac{3\pi}{2}\right)$$

$$u_{31}(\omega t) = \hat{U}\sqrt{3} \cos\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

■ Es gilt: $U_N = \sqrt{3} \cdot U_{SN}$ $\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_{SN}$

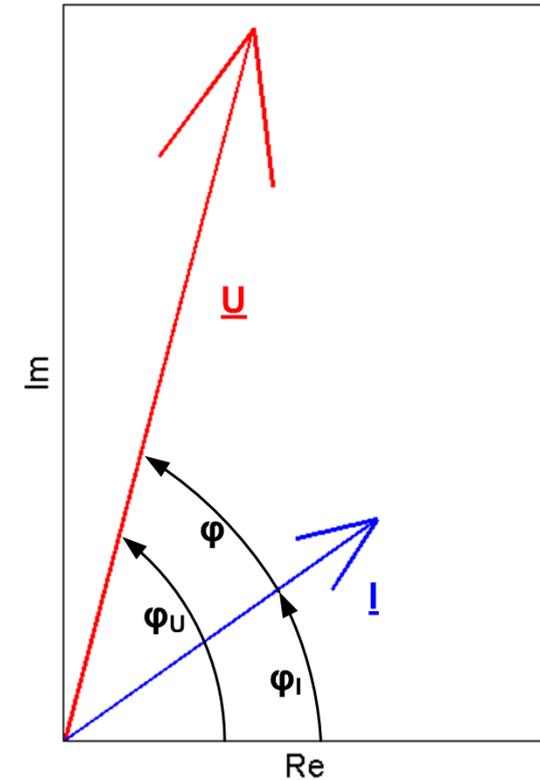
Komplexer Effektivwert



$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \cos(\omega t + \varphi_U)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \cos(\omega t + \varphi_I)$$

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_I$$



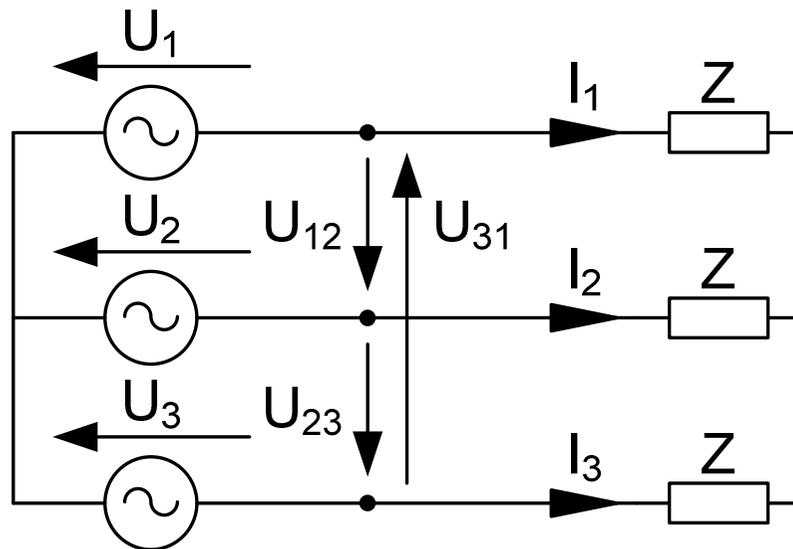
$$\underline{U} = U \cdot e^{j\varphi_U}$$

$$\underline{I} = I \cdot e^{j\varphi_I}$$

- zeitunabhängige Größe
- gilt nur für sinusförmige Größen

Leistungsrechnung

- Für ein symmetrisches Drehstromsystem gilt:



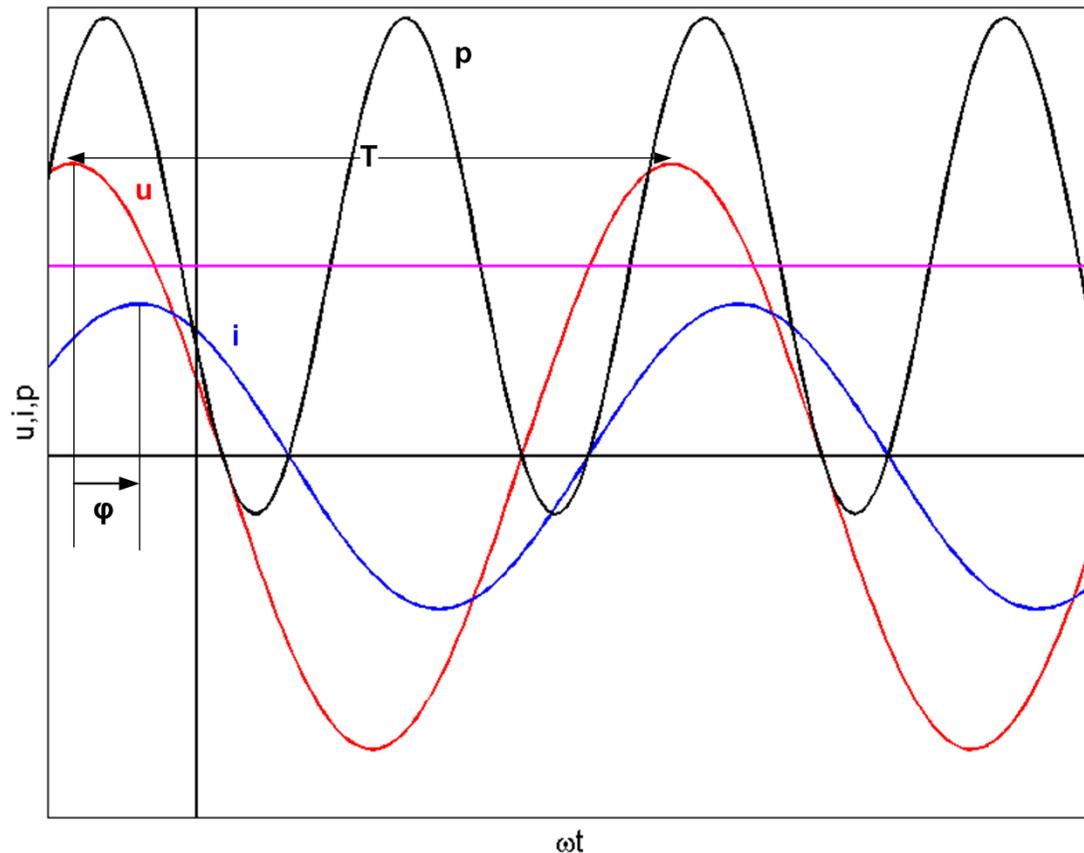
Scheinleistung $S = 3U_S I_S$

$$\Rightarrow S = 3 \frac{U_N}{\sqrt{3}} I_S = \sqrt{3} U_N I_S$$

$$P = 3U_S I_S \cos \varphi = S \cos \varphi$$

$$Q = 3U_S I_S \sin \varphi = S \sin \varphi$$

Momentanleistung und Wirkleistung



- Die Momentanleistung ergibt sich zu

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$
- Die Wirkleistung entspricht dem Mittelwert des Zeitverlaufs der Momentanleistung