ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

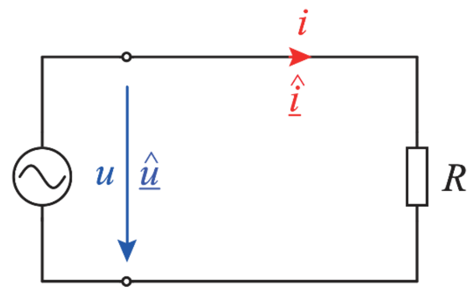
Netzwerke und Schaltungen II

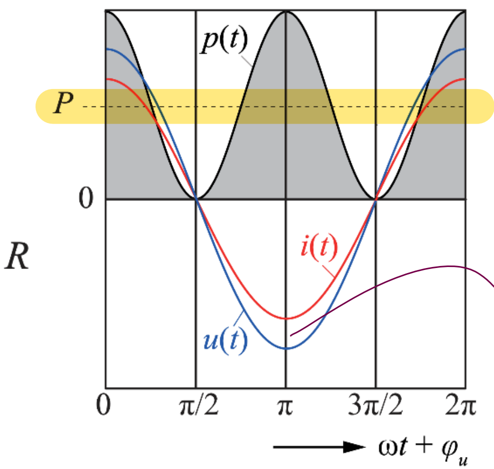
Übung 5
Leistungsanpassung, Blindleistung und Dreiphasensystem

THEORIE FÜR DIE ÜBUNG

Today's topic (in a nutshell)

Leistungen in reaktiven Zweipolen



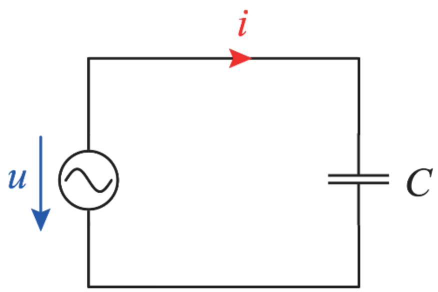


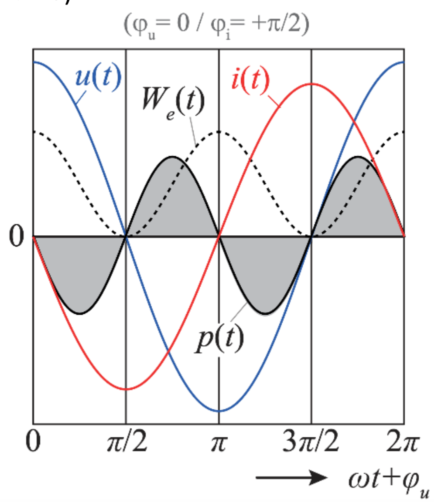
FÜR $\underline{Z} \in \mathbb{R}$
BZW $\underline{Z} = R$ SIND
u(t) UND i(t) IMMER IN
PHASE
$\Longrightarrow p(t) = u(t) \cdot i(t) \geq 0$

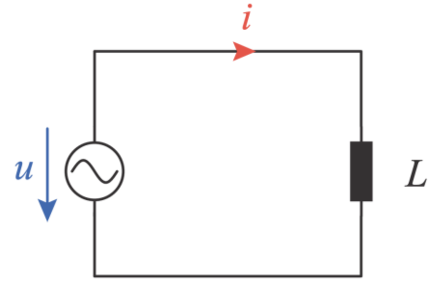
MITTELWERT: $P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt > 0$

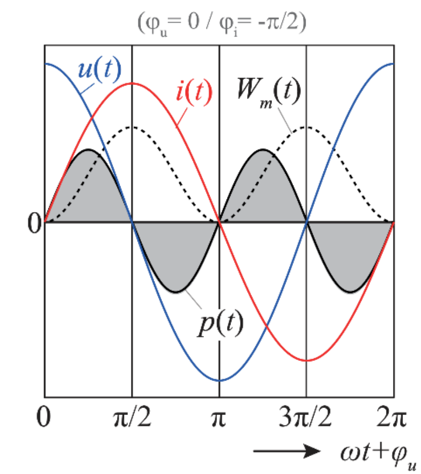
Wirkleistung (Mittelwert > 0)

Blindleistung (Mittelwert = 0)









Phasendifferenz:

- $\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i$

Wirkleistung P: Leistung wird in einem Widerstand in Wärme umgesetzt

Q > 0: → INDUKTIVES VERHALTEN

- $P = \Re\{\underline{S}\} = S \cdot \cos(\Delta\varphi) = UI \cdot \cos(\Delta\varphi)$

Blindleistung Q: Pendelnde Leistung zwischen Verbraucher (L, C) und Quelle

Q < 0: → KAPAZITIVES VERHALTEN

- $Q = \Im\{\underline{S}\} = S \cdot \sin(\Delta\varphi) = UI \cdot \sin(\Delta\varphi)$

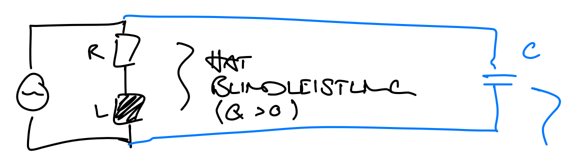
Scheinleistung S: Beanspruchung der Bauelemente

$\sqrt{2} \cdot \underline{U} = \hat{\underline{u}}$

KOMPLEX

- $\underline{S} = P + jQ = UIe^{j\Delta\varphi} = \frac{\hat{\underline{u}} \cdot \hat{\underline{i}}^*}{2}$ $= \underline{U} \cdot \underline{I}^*$
- $\underline{S} = S \cdot e^{j\Delta\varphi}, \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Leistungsfaktor:



BLINDLEISTUNG KANN MIT ENT-SPRECHENDEM BAUTEIL KOMPENSIERT WERDEN (HIER MIT CAP.)

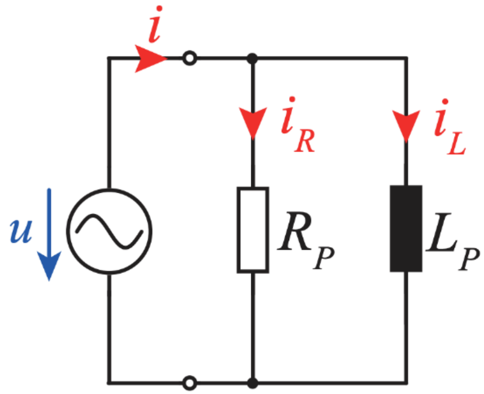
→ Q = 0

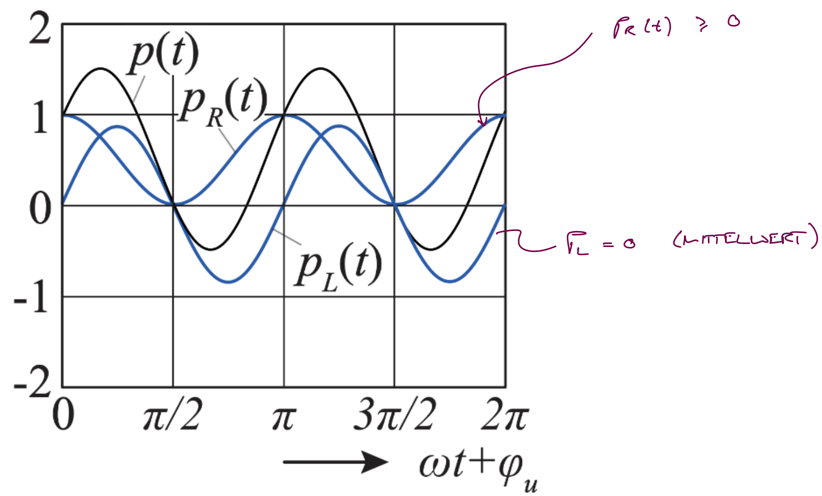
- $\lambda = \cos(\Delta\varphi) = \frac{P}{S}$

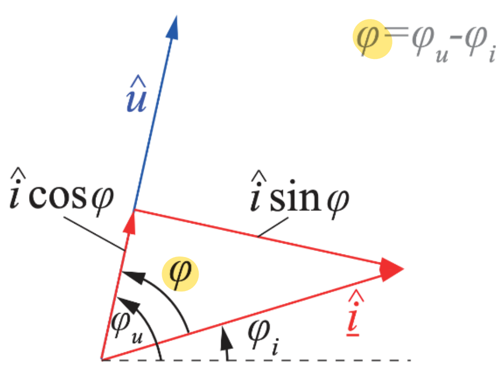
Einheiten:

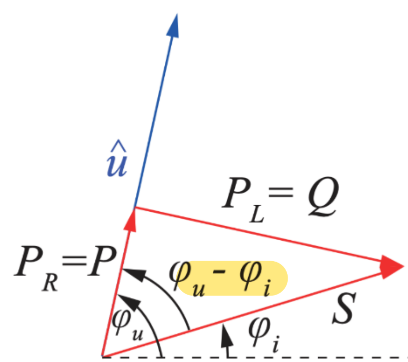
[P] = W (Watt), [Q] = Var (Voltamper reaktiv), [S] = VA (Voltamper)

Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung (Beispielschaltung)





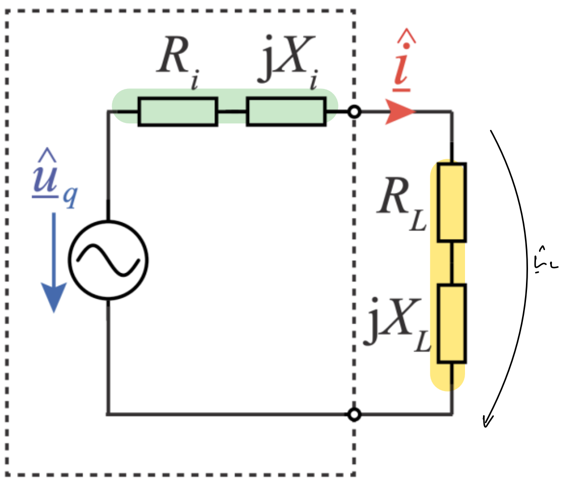




Leistungsanpassung mit Impedanz (Serienschaltung)

Gegeben: Quelle $\underline{\hat{u}}_q$ mit komplexem Innenwiderstand $Z_i = R_i + jX_i$

Gesucht: $Z_L = R_L + jX_L \rightarrow P_L$ maximieren



KOMPLEX KOMPLIZIERT !

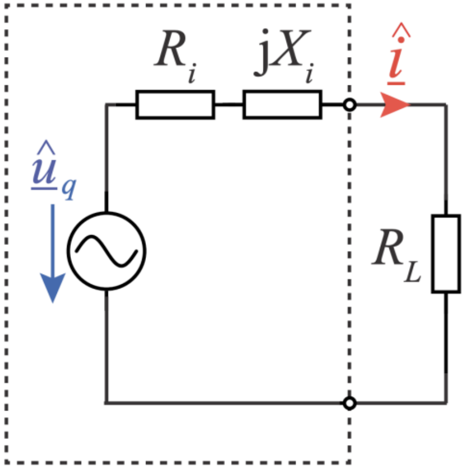
- $Z_L = Z_i^* \quad (X_L = -X_i \,, R_L = R_i)$
- $P_{\max} = \dfrac{\underline{\hat{u}}_q^{\,2}}{2} \dfrac{1}{4R_L}$

$$= \underbrace{\underline{U}_L}_{\frac{1}{2}\underline{U}_q} \underbrace{\underline{I}_L}_{\underline{I}_L = \frac{\underline{U}_q}{2R}} \underbrace{\cos(\varphi)}_{=1} = \frac{1}{2}\underline{U}_q \frac{\underline{U}_q}{2R} \cdot 1 = \frac{1}{2} \frac{\hat{\underline{u}}_q^{\,2}}{2} \frac{1}{2R}$$

$\underline{U}_q = \dfrac{\hat{\underline{u}}_q}{\sqrt{2}}$

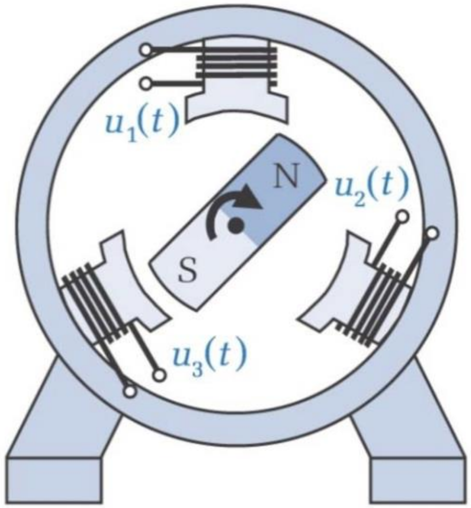
Gegeben: Quelle $\underline{\hat{u}}_q$ mit komplexem Innenwiderstand $Z_i = R_i + jX_i$

Gesucht: $R_L \rightarrow P_L$ maximal

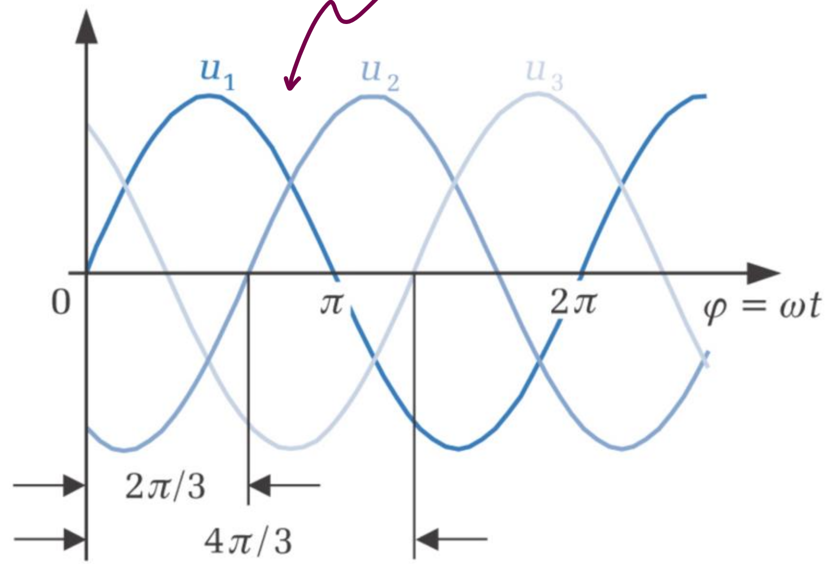


- $R_L = |Z_i| = \sqrt{R_i^2 + X_i^2}$
- $P_{max} = \frac{\underline{\hat{u}}_q^2}{4} \frac{1}{R_i + \sqrt{R_i^2 + X_i^2}}$

Erzeugung eines Dreiphasensystems (z.B. Generator)



GEHT L_2 VOR L_1?
ODER UMGEKEHRT??

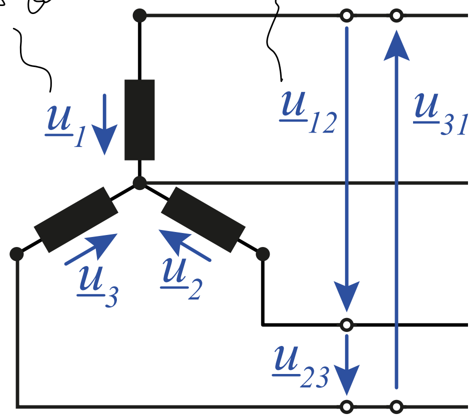


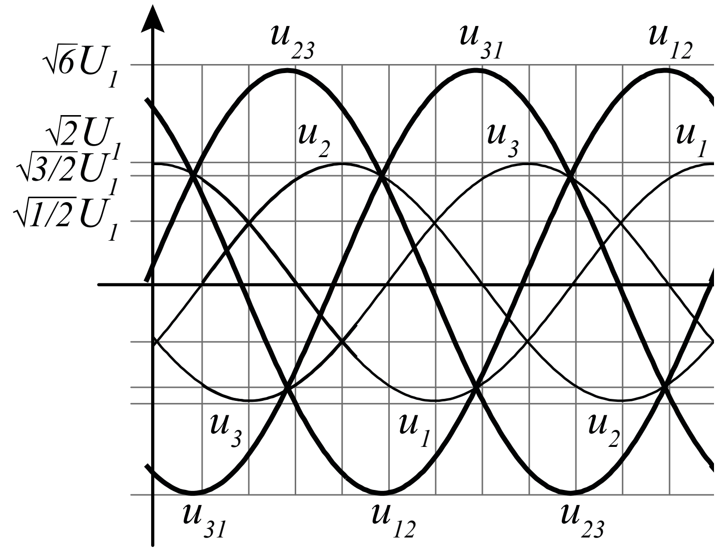
Fliessen drei 120° phasenverschobene Ströme durch drei 120° räumlich versetzte Spulen, ergibt die Überlagerung der Teilfelder ein räumlich umlaufendes Drehfeld.

Aussenleiterspannungen in der Sternschaltung

PHASE TO GROUND

PHASE TO PHASE





DIE Δφ DER STRÖME KOMMEN VON DEN IMPEDANZEN

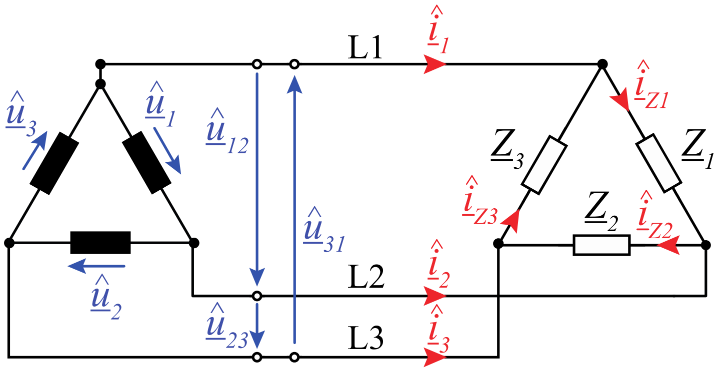
Komponenten	Aussenleiter
$i_1(t) = \hat{\imath}e^{i0}e^{i\Delta\varphi},\ i_2(t) = \hat{\imath}e^{i120°}e^{i\Delta\varphi},\ i_3(t) = \hat{\imath}e^{i240°}e^{i\Delta\varphi}$	I
$u_1(t) = \hat{u}e^{i0},\ u_2(t) = \hat{u}e^{i120°},\ u_3(t) = \hat{u}e^{i240°}$	$\sqrt{3}U$
$P_i = UI * \cos(\Delta\varphi)$	$P = 3 * UI * \cos(\Delta\varphi)$

$e^{-120°j}$

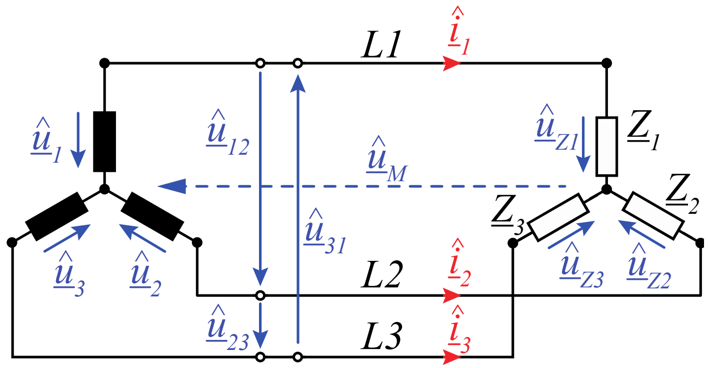
DIE PHASEN DER SPANNUNGEN WERDEN SO DEFINIERT.

Dreiphasensystem: Überblick

Dreieckschaltung



Sternschaltung



	Dreieckschaltung	**Sternschaltung**
Aussenleiterstrom I_L	$\sqrt{3}I$	I
Aussenleisterspannung U_L	U	$\sqrt{3}U$
Leistung (symmetrische Belastung)	$3 * UI * \cos(\Delta\varphi)$	$3 * UI * \cos(\Delta\varphi)$

- **Auszug aus Zusammenfassung:**

Sternschaltung

Aussenleitergrössen $U_L = \sqrt{3}U, \quad I_L = I$

Leistung P $P = U \sum_{k=1}^{3} I_k \cos\varphi_k$

bei symmetrischer Last $= 3UI\cos\varphi$

Symmetrische Sternschaltung

$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3$, d.h. $\hat{\underline{i}}_1 + \hat{\underline{i}}_2 + \hat{\underline{i}}_3 = 0 = \hat{\underline{i}}_N \Rightarrow N$-Leiter nicht notwendig

Aussenleiterspannungen $\hat{\underline{u}}_{12} = \hat{\underline{u}}_{23} = \hat{\underline{u}}_{31} = \sqrt{3}\hat{\underline{u}}$

Aussenleiterspannungen eilen gegenüber entspr. Strangspannungen um 30° vor $\underline{u}_1 = \underline{u}_2 = \underline{u}_3 = \frac{\hat{\underline{u}}_{12}}{\sqrt{3}} = \frac{\hat{\underline{u}}_{23}}{\sqrt{3}} = \frac{\hat{\underline{u}}_{31}}{\sqrt{3}}$

Achtung!! Das gilt nur für folgende Anordnung:

$u_1(t) = \hat{u}e^{i0}$, $u_2(t) = \hat{u}e^{-i120°}$, $u_3(t) = \hat{u}e^{i120°}$

Bei folgender Anordnung eilen die Aussenleiterspannungen um 30° nach:

$u_1(t) = \hat{u}e^{i0}$, $u_2(t) = \hat{u}e^{i120°}$, $u_3(t) = \hat{u}e^{-i120°}$

$(-240° \;\hat{=}\; 120°)$

BEISPIELAUFGABE

Beispielaufgabe

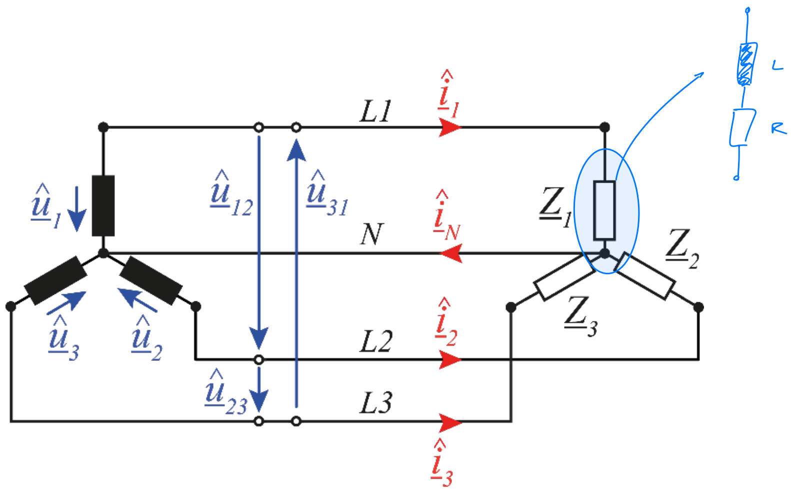
1) Berechnen Sie die Leistung am Verbraucher. $\Rightarrow P$

Für die folgenden Teilaufgaben wird eine symmetrische Belastung angenommen:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$
$$L_1 = L_2 = L_3 = L$$

2) Berechnen Sie die Leistung am Verbraucher für die symmetrische Belastung.

3) Geben Sie den Strom im Neutralleiter an.



$$\underline{\hat{u}}_1 = \hat{u}e^{j0},\ \underline{\hat{u}}_2 = \hat{u}e^{-j\frac{2\pi}{3}},\ \underline{\hat{u}}_3 = \hat{u}e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$