



Technische  
Universität  
Braunschweig

**elenia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Energiesysteme

The background image shows a close-up of yellow sunflowers in the foreground, with solar panels and three wind turbines visible in the background against a blue sky with scattered white clouds.

# GRUNDLAGEN DER ELEKTRISCHEN ENERGIETECHNIK

## Teil 1, Übung 2 - Berechnung von Dreieckschaltungen

Dr.-Ing. Jonas Wussow, 29.04.2022

# Aufgaben aus der Vorlesung

## I. Welche Bezeichnungen gibt es für die beiden Stromsysteme in einem Drehstromsystem ?

- Dreieckstrom  $\rightarrow I_{\Delta}$ , Strangstrom
- Sternstrom  $\rightarrow I_{\lambda}$ , (Außen-)Leiterstrom (Strom in einem Leiter), Bemessungsstrom

## II. Wie groß ist der Bemessungsstrom eines Verbrauchers in Dreieckschaltung bei einem Strangstrom von 520 A ?

- $I_{\lambda} = \sqrt{3} \cdot I_{\Delta} = 1,73 \cdot 520 \text{ A} = 901 \text{ A}$

## III. Was ist die Momentanleistung?

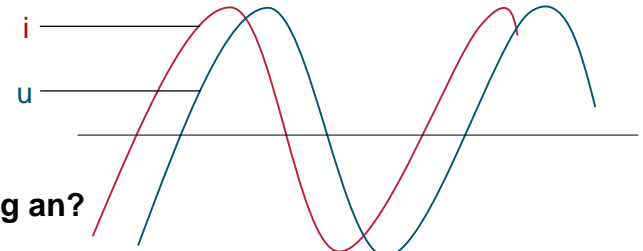
- $p = u \cdot i$ , Augenblickswert der Leistung, ändert sich mit der Netzfrequenz

## IV. Wie ist die Wirkleistung definiert?

- $P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u \cdot i \cdot dt = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$

## V. Welcher Faktor gibt das Verhältnis zwischen Schein- und Wirkleistung an?

- $|\cos \varphi| \rightarrow$  Verschiebungsfaktor oder  $\cos \varphi \rightarrow$  Wirkfaktor



# Aufgaben aus der Vorlesung

## VI. Welche Leistungsart führt zu einem Pendeln der Austauschleistung im Netz?

- Blindleistung

## VII. Welche Einheiten haben die unterschiedlichen Leistungsarten?

- Scheinleistung: VA (Volt Ampère)
- Wirkleistung: W (Watt)
- Blindleistung: var (Var, volt ampère reactive)

# Aufgaben aus der Vorlesung (VIII)

Außenleiterstrom:  $S = 3 \cdot U_\lambda \cdot I$ ,  $S = \sqrt{3} \cdot U_\Delta \cdot I$

$$I_\lambda = \frac{S}{3 \cdot U_\lambda} = \frac{690 \text{ MVA}}{3 \cdot 220 \text{ kV}} = 1045 \text{ A}$$

Verlustleistung:  $P = I_\lambda^2 \cdot R \cdot 3 = (1045 \text{ A})^2 \cdot 10 \Omega \cdot 3 = 32,78 \text{ MW}$

Übertragene Leistung: 690 MVA

Wirk- und Blindleistung müssten komplex addiert werden.

Annahme:  $S=P$  (Phasenwinkel = 0)

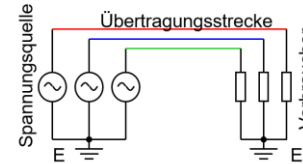
Gesamtleistung:  $P_{ges} = 32,78 \text{ MW} + 690 \text{ MW} = 722,78 \text{ MW}$

Wirkungsgrad:  $\eta = \frac{P_{\text{Üb}}}{P_{\text{ges}}} = \frac{690 \text{ MW}}{722,78 \text{ MW}} = 95,5 \%$

## Lerneinheit

Eine symmetrische 380-kV-Übertragungsstrecke soll als Freileitungsstrecke ausgelegt werden. Die zu übertragende Scheinleistung sei 690 MVA bei einer Leiter-Erd-Betriebsspannung von 220 kV. Der Bündelleiter-Widerstand betrage auf der gesamten Strecke 10 Ohm. Der Erdwiderstand auf der gesamten Strecke betrage 5 Ohm.

- Bestimmen Sie bitte den Außenleiterstrom!
- Wie groß ist die gesamte Verlustleistung der Übertragungsstrecke?



# Aufgaben aus der Vorlesung (IX)

Stellen Sie im einphasigen ESB die Gleichung für die Kompensation der Blindleistung auf.

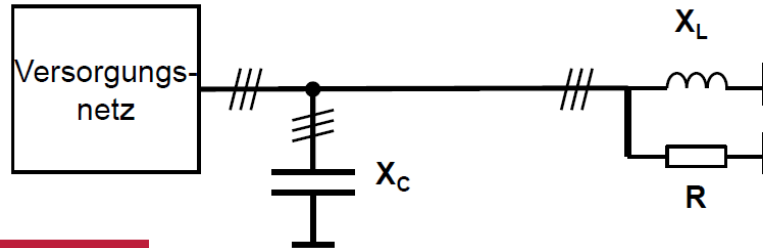
- Blindstrom soll zu 0 werden.
- Blindströme müssen sich kompensieren
- $Q_C = Q_L$
- $I_{X_C} = I_{X_L}$
- $X_C \parallel X_L \rightarrow X_C = X_L$
- $\omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow C = \frac{1}{\omega^2 L}$

Beispielrechnung:

$$L = 50 \text{ mH}$$

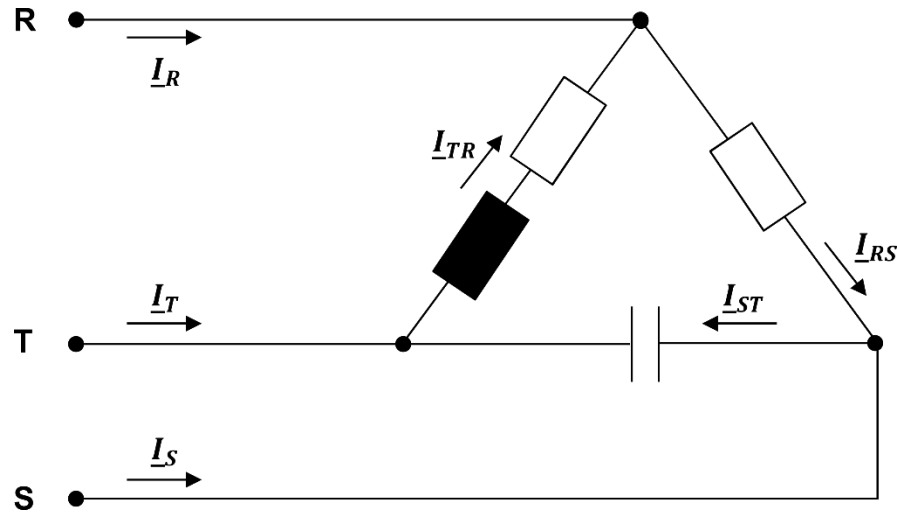
$$R = 30 \Omega$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot 50 \text{ mH}} = 202,7 \mu\text{F}$$



## Aufgabe 2a

Es sind die Beträge der Strangströme  $I_{RS}$ ,  $I_{ST}$  und  $I_{TR}$  zu bestimmen sowie deren Phasenwinkel gegen die Strangspannungen. Welche Größe eilt vor?



## Aufgabe 2a

R-S: rein ohmscher Verbraucher, nur Wirkleistung  
Spannung und Strom sind in Phase

$$\varphi_{RS} = 0^\circ \rightarrow \cos(\varphi_{RS}) = 1$$

$$I_{RS} = \frac{P_{RS}}{U_{RS} \cdot \cos(\varphi_{RS})} = \frac{6.000 \text{ W}}{400 \text{ V}} = 15 \text{ A}$$

$Q > 0$ : induktive Blindleistung

$Q < 0$ : kapazitive Blindleistung

$$\varphi_{\text{Phase}} = \varphi_{ui} = \varphi_u - \varphi_i$$

S-T: rein kapazitiv, nur Blindleistung,  
Strom eilt um  $90^\circ$  vor

$$\varphi_{ST} = -90^\circ \rightarrow \sin(\varphi_{ST}) = -1$$

$$I_{ST} = \frac{Q_{ST}}{U_{ST} \cdot \sin(\varphi_{ST})} = \frac{-2.500 \text{ var}}{400 \text{ V} \cdot (-1)} = 6,25 \text{ A}$$

T-R: ohmsch-induktiv, Strom eilt nach

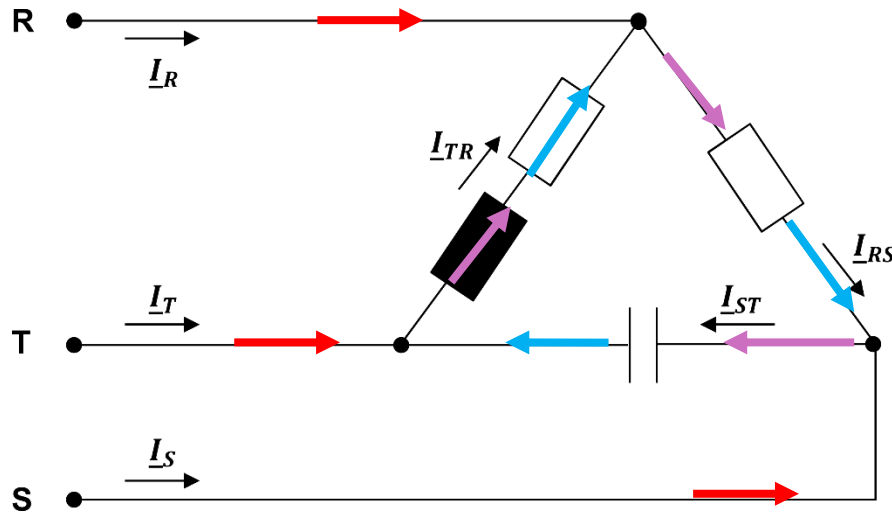
$$\varphi_{TR} = \arctan \frac{Q_{TR}}{P_{TR}} = \arctan \frac{5.000}{3.000} = 59^\circ$$

$$I_{TR} = \frac{S_{TR}}{U_{TR}} = \frac{\sqrt{(3.000 \text{ W})^2 + (5.000 \text{ var})^2}}{400 \text{ V}} = 14,6 \text{ A}$$

## Aufgabe 2b

Die Leiterströme  $\underline{I}_R$ ,  $\underline{I}_S$  und  $\underline{I}_T$  sind aus den Strangströmen rechnerisch zu ermitteln.

Es ist ein Zeigerdiagramm zu konstruieren. (Maßstab: 40 V/cm, 4 A/cm)



$$\underline{I}_{RS} = \underline{I}_{TR} + \underline{I}_R \rightarrow \underline{I}_R = \underline{I}_{RS} - \underline{I}_{TR}$$

$$\underline{I}_{TR} = \underline{I}_T + \underline{I}_{ST} \rightarrow \underline{I}_T = \underline{I}_{TR} - \underline{I}_{ST}$$

$$\underline{I}_{ST} = \underline{I}_S + \underline{I}_{RS} \rightarrow \underline{I}_S = \underline{I}_{ST} - \underline{I}_{RS}$$



## Aufgabe 2b

Bestimmung der Spannung: Jeweils 120° Versatz

$$\underline{U}_{ST} = 400 \text{ V} \cdot e^{j 180^\circ} \triangleq 10 \text{ cm}$$

$$\underline{U}_{TR} = 400 \text{ V} \cdot e^{j 60^\circ}$$

$$\underline{U}_{RS} = 400 \text{ V} \cdot e^{-j 60^\circ}$$

## Aufgabe 2b

Bestimmung der Strangströme in kartesischen Koordinaten  
(für Addition/Subtraktion)

Beträge aus a)

→ Phasenwinkel bestimmen  $\varphi_{\text{Phase}} = \varphi_{\text{ui}} = \varphi_{\text{u}} - \varphi_{\text{i}}$

$$\varphi_{\text{Strom}} = \varphi_{\text{Spannung}} - \varphi_{\text{Phase}}$$

$$\varphi_{I_{\text{RS}}} = \varphi_{U_{\text{RS}}} - \varphi_{\text{RS}} = -60^\circ - 0^\circ = -60^\circ$$

$$\varphi_{I_{\text{ST}}} = \varphi_{U_{\text{ST}}} - \varphi_{\text{ST}} = 180^\circ - (-90^\circ) = 270^\circ = -90^\circ$$

$$\varphi_{I_{\text{TR}}} = \varphi_{U_{\text{TR}}} - \varphi_{\text{TR}} = 60^\circ - 59^\circ = 1^\circ$$

## Aufgabe 2b

$$\underline{I}_{RS} = I_{RS} \cdot e^{j\varphi_{I_{RS}}} = I_{RS} \cdot \cos \varphi_{I_{RS}} + j \cdot I_{RS} \cdot \sin \varphi_{I_{RS}} = 15 \text{ A} \cdot \cos -60^\circ + j \cdot 15 \text{ A} \cdot \sin -60^\circ$$

$$\underline{I}_{RS} = 7,5 \text{ A} - j 13 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{ST} = I_{ST} \cdot e^{j\varphi_{I_{ST}}} = I_{ST} \cdot \cos \varphi_{I_{ST}} + j \cdot I_{ST} \cdot \sin \varphi_{I_{ST}} = 6,25 \text{ A} \cdot \cos -90^\circ + j \cdot 6,25 \text{ A} \cdot \sin -90^\circ$$

$$\underline{I}_{ST} = -j 6,25 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{TR} = I_{TR} \cdot e^{j\varphi_{I_{TR}}} = I_{TR} \cdot \cos \varphi_{I_{TR}} + j \cdot I_{TR} \cdot \sin \varphi_{I_{TR}} = 14,6 \text{ A} \cdot \cos 1^\circ + j \cdot 14,6 \text{ A} \cdot \sin 1^\circ$$

$$\underline{I}_{TR} = 14,6 \text{ A} + j 0,25 \text{ A}$$

## Aufgabe 2b

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\{Z\}}{\operatorname{Re}\{Z\}}\right) \quad \text{für Quadrant I und IV}$$

$$\varphi = \pi + \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\{Z\}}{\operatorname{Re}\{Z\}}\right) \quad \text{für Quadrant II}$$

$$\varphi = -\pi + \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\{Z\}}{\operatorname{Re}\{Z\}}\right) \quad \text{für Quadrant III}$$

$Re > 0, Im > 0 \rightarrow$  Quadrant I

$Re < 0, Im > 0 \rightarrow$  Quadrant II

$Re < 0, Im < 0 \rightarrow$  Quadrant III

$Re > 0, Im < 0 \rightarrow$  Quadrant IV

## Aufgabe 2b

Berechnung der Leiterströme in kartesischen Koordinaten und Umwandlung in Polarkoordinaten

$$\underline{I}_R = \underline{I}_{RS} - \underline{I}_{TR} = 7,5 \text{ A} - j 13 \text{ A} - 14,6 \text{ A} - j 0,25 \text{ A} = -7,1 \text{ A} - j 13,25 \text{ A} \rightarrow \text{3. Quadrant}$$

$$\underline{I}_R = \sqrt{(7,1 \text{ A})^2 + (13,25 \text{ A})^2} \cdot e^{j \arctan \frac{-13,25}{-7,1}} = 15 \text{ A} \cdot e^{j (62^\circ - 180^\circ)} = \mathbf{15 \text{ A} \cdot e^{-j 118^\circ} \triangleq 3,8 \text{ cm}}$$

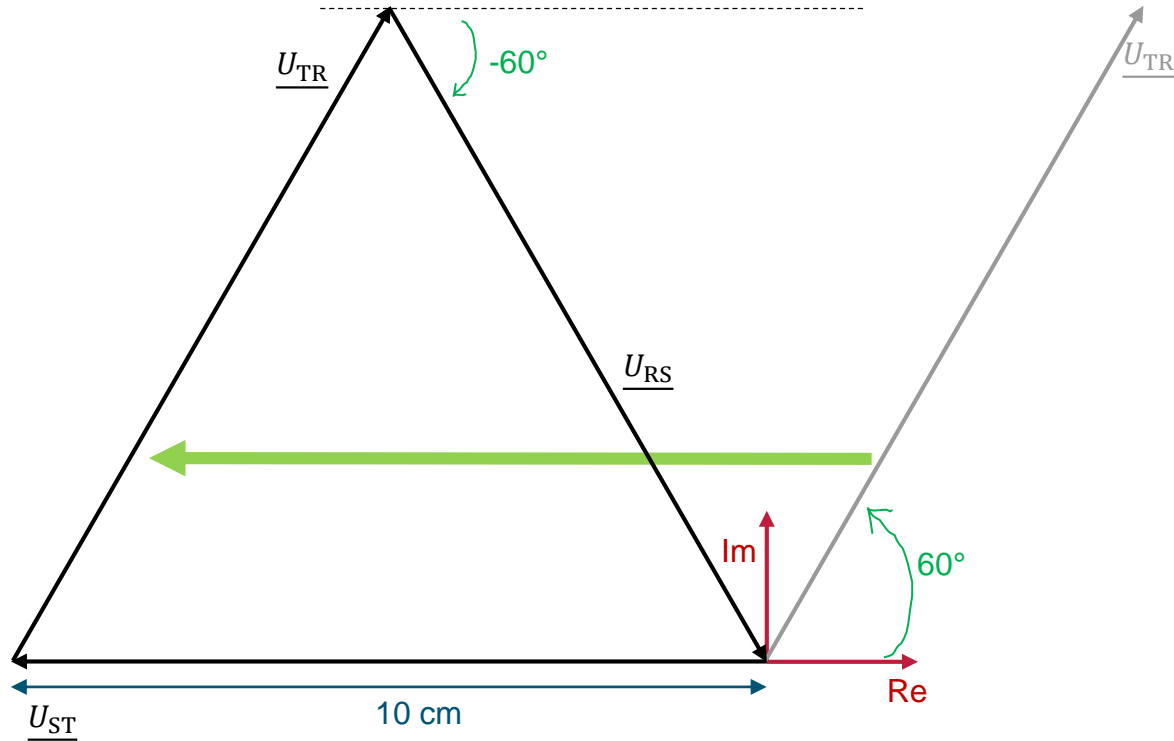
$$\underline{I}_S = \underline{I}_{ST} - \underline{I}_{RS} = -j 6,25 \text{ A} - 7,5 \text{ A} + j 13 \text{ A} = -7,5 \text{ A} + j 6,75 \text{ A} \rightarrow \text{2. Quadrant}$$

$$\underline{I}_S = \sqrt{(7,5 \text{ A})^2 + (6,75 \text{ A})^2} \cdot e^{j \arctan \frac{6,75}{-7,5}} = 10,1 \text{ A} \cdot e^{j (-42^\circ + 180^\circ)} = \mathbf{10,1 \text{ A} \cdot e^{j 138^\circ} \triangleq 2,5 \text{ cm}}$$

$$\underline{I}_T = \underline{I}_{TR} - \underline{I}_{ST} = 14,6 \text{ A} + j 0,25 \text{ A} + j 6,25 \text{ A} = 14,6 \text{ A} + j 6,5 \text{ A} \rightarrow \text{1. Quadrant}$$

$$\underline{I}_T = \sqrt{(14,6 \text{ A})^2 + (6,5 \text{ A})^2} \cdot e^{j \arctan \frac{6,5}{14,6}} = \mathbf{16 \text{ A} \cdot e^{j 24^\circ} \triangleq 4 \text{ cm}}$$

## Aufgabe 2b



## Aufgabe 2b

