Karlsruher Institut für Technologie

Institut für Elektroenergiesysteme
und Hochspannungstechnik (IEH)
Leiter: Prof. Dr.-Ing. T. Leibfried

Zusammenfassung zur Übung 2

ELEKTROENERGIESYSTEME

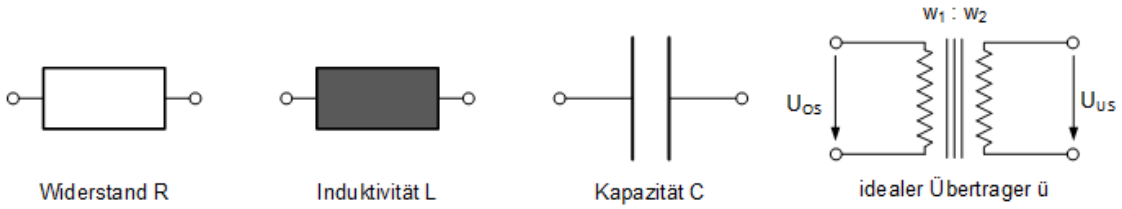
Aufgaben 3 bis 5

1) Komplexe Wechselstromrechnung:

   Anwendbar bei der allgemeinen Betrachtung eingeschwungener, sinusförmig angeregter elektrische Netze. Starke Ähnlichkeit zur Berechnung von Gleichstromnetzwerke. Kirchhoff'sche Gesetze und Ohm'sches Gesetz anwendbar mit einer komplexe Impedanz $\underline{Z}$:

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

2) Passive Bauelemente und idealer Übertrager (Transformator):



3) Impedanzen:

   $\underline{Z}_\mathrm{R} = R$ $\qquad$ $\underline{Z}_\mathrm{L} = j\omega L$ $\qquad$ $\underline{Z}_\mathrm{C} = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C}$

4) Impedanztransformation bei idealem Übertrager:

   Für die Transformation von Sekundär- (US) auf Primärseite (OS) gilt:

$$\underline{Z}_\mathrm{OS} = \ddot{u}^2 \underline{Z}_\mathrm{US} = (\tfrac{w_1}{w_2})^2 \underline{Z}$$

5) Komplexe Zahlen:

   - Betragsbildung

$$\underline{Z} = a + jb \qquad\qquad \underline{Z} = \frac{a+jb}{c+jd}$$

$$|\underline{Z}| = \sqrt{a^2+b^2} \qquad\qquad |\underline{Z}| = \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\sqrt{c^2+d^2}}$$

   - Phasenwinkel

$$\varphi = arg(a+jb) = arctan(\tfrac{b}{a})$$

ACHTUNG Fallunterscheidung notwendig! Skript Seite 32 Formel 3.17

6) Drehstromsystem / Dreiphasensystem:

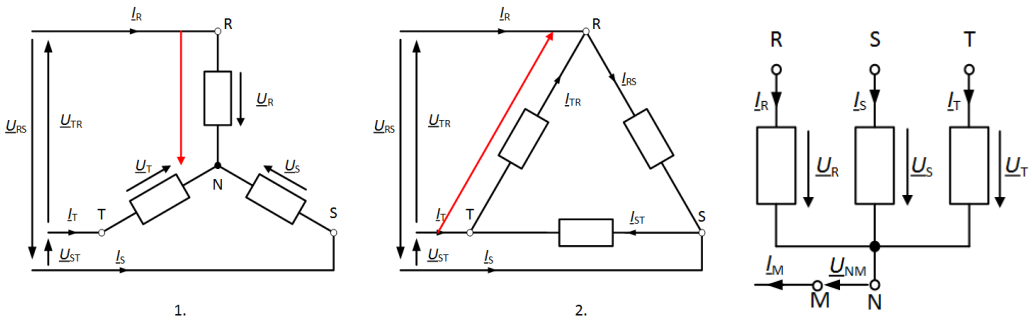
$$\underline{U}_\mathrm{R} = U_\mathrm{R} e^{j\omega t} \qquad \underline{U}_\mathrm{S} = U_\mathrm{S} e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3})} \qquad \underline{U}_\mathrm{T} = U_\mathrm{T} e^{j(\omega t - \frac{4\pi}{3})}$$

$$\underline{I}_\mathrm{R} = I_\mathrm{R} e^{j\omega t} \qquad \underline{I}_\mathrm{S} = I_\mathrm{S} e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3})} \qquad \underline{I}_\mathrm{T} = I_\mathrm{T} e^{j(\omega t - \frac{4\pi}{3})}$$

Bei einer symmetrischen Last gilt:

$$\underline{I}_\mathrm{R} + \underline{I}_\mathrm{S} + \underline{I}_\mathrm{T} = 0$$

- Sternschaltung:
  Bei der Sternschaltung sind alle Phasen an einen gemeinsamen Punkt N angeschlossen. Bei einer symmetrischen Last gilt: $|\underline{U}_\mathrm{R}| = |\underline{U}_\mathrm{S}| = |\underline{U}_\mathrm{T}| = U_\mathrm{Y}$.
  $$\underline{S} = 3 \cdot \underline{U}_\mathrm{Y} \cdot \underline{I}_\mathrm{Y}^*$$
- Dreieckschaltung:
  Bei der Dreieckschaltung sind alle Phasen direkt miteinander verbunden. Bei einer symmetrischen Last gilt für den Betrag der Scheinleistung: $|\underline{U}_\mathrm{RS}| = |\underline{U}_\mathrm{ST}| = |\underline{U}_\mathrm{TR}| = U_\Delta$
  $$S = \sqrt{3} \cdot U_\Delta \cdot I_\mathrm{Y} = 3 \cdot U_\mathrm{Y} \cdot I_\mathrm{Y}$$
- Allgemein gilt:
  U_Y ist auch bekannt als Strangspannung und liegt zwischen Phase und Sternpunkt an. U_Δ dagegen liegt zwischen zwei Phasen an und wird in der Energietechnik als **Nennspannung** U_N oder verkettete Spannung bezeichnet.
  $$(U_\mathrm{N} =) U_\Delta = \sqrt{3} \cdot U_\mathrm{Y} \text{ (vgl. Zeigerlänge rot markiert in (a) und (b))}$$



(a) Symmetrisches Drehstromsystem mit Verbraucher in 1. Sternschaltung 2. Dreieckschaltung

(b) Unsymmetrische Belastung eines Drehstromsystems

7) unsymmetrische Belastung:
Seien M und N verbunden (Abb. (b)) dann gilt: $\underline{U}_\mathrm{NM} = 0$

$$\underline{I}_\mathrm{M} = \underline{I}_\mathrm{R} + \underline{I}_\mathrm{S} + \underline{I}_\mathrm{T} = U_\mathrm{Y} e^{j\omega t} (\underline{G}_\mathrm{R} + \underline{G}_\mathrm{S} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} + \underline{G}_\mathrm{T} \cdot e^{-j\frac{4\pi}{3}})$$

Seien M und N getrennt dann gilt: $\underline{I}_\mathrm{M} = 0$

$$\underline{U}_\mathrm{NM} = U_\mathrm{Y} e^{j\omega t} \frac{(\underline{G}_\mathrm{R} + \underline{G}_\mathrm{S} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} + \underline{G}_\mathrm{T} \cdot e^{-j\frac{4\pi}{3}})}{\underline{G}_\mathrm{R} + \underline{G}_\mathrm{S} + \underline{G}_\mathrm{T}}$$