Karlsruher Institut für Technologie

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

Zusammenfassung zur Übung 6

ELEKTROENERGIESYSTEME

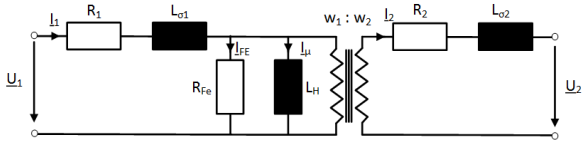
Aufgaben 14 bis 16

1) Transformatoren - ESB

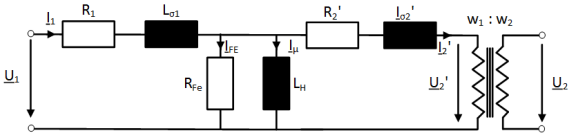
Der Transformator ist ein elektrisches Betriebsmittel mit magnetisch gekoppelten Stromkreisen. Er ermöglicht die Übertragung von elektrischer Energie bei hohen Spannungen, d.h. mit niedrigen Verlusten ($P_\mathrm{V} \propto I^2$). Bei Volltransformatoren sind die Spulenwicklungen nur magnetisch über den Eisenkern gekoppelt, um eine Potentialtrennung (**galvanische Trennung**) zu erzeugen.

Hauptaufgabe des Transformators ist die Erhöhung oder Verringerung von Wechselspannungen und Wechselströmen. Die Wicklung mit der höchsten Spannung wird als Oberspannungswicklung (OS), jene mit der niedrigsten Spannung als Unterspannungswicklung (US) bezeichnet.

Das Gleichungssystem eines Transformators lässt sich in folgendem T-Ersatzschaltbild (umgerechnet auf die Primärseite) darstellen. Dabei sind R_1, R_2 die Kupferverluste der OS- und US-



(a) Ersatzschaltbild eines Transformators



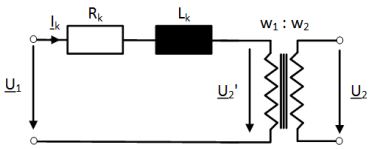
(b) ESB Primärseitig

Wicklungen, $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$ die Streuinduktivitäten, L_H die Hauptinduktivität und R_Fe die Eisenverluste (Wirbelstrom- und Hystereseverluste). Die galvanische Trennung wird durch den nachgeschalteten idealen Übertrager mit dem Übertragungsverhältniss $\ddot{u} = \frac{w_1}{w_2}$ dargestellt (**Achtung**: ü kann auch als $\frac{w_2}{w_1}$ definiert sein).

Für die Umrechnung auf die Primärseite gilt:

$$R_2' = \ddot{u}^2 \cdot R_2 \qquad L_{\sigma 2}' = \ddot{u}^2 \cdot L_{\sigma 2} \qquad U_2' = \ddot{u} \cdot U_2 \qquad I_2' = \frac{I_2}{\ddot{u}}$$

2) Kurzschlußimpedanz und relative Kurzschlußspannung



In der Energietechnik sind in der Regel R_Fe und L_H vernachlässigbar. Es bleibt das vereinfachte Ersatzschaltbild mit der Kurzschlußimpedanz:

$$\underline{Z}_\mathrm{k} = (R_1 + R_2') + j\omega(L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2}') = R_\mathrm{k} + j\omega L_\mathrm{k}.$$

Die relative Kurzschlußspannung ist eine wichtige Kenngröße des Transformators.

$$\underline{u}_\mathrm{k} = \frac{\underline{U}_\mathrm{k}}{U_\mathrm{1N}}$$

bei der $\underline{U}_\mathrm{k}$ die Spannung bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung ist, welche an die Primärseite angelegt werden muss, damit sekundärseitig Nennstrom fließt.

Mit der relativen Kurzschlußspannung, der Scheinleistung (S_N) und der Nennspannung (U_1N) lässt sich ebenfalls die Kurzschlußimpedanz bestimmen:

$$\underline{Z}_\mathrm{k} = \underline{u}_\mathrm{k} \frac{{U_\mathrm{N}}^2}{S_\mathrm{N}}$$

3) Dreiwicklungstransformator

Bei einem Drehstromtransformator ist das Übersetzungsverhältniss $\underline{\ddot{u}}$ eine komplexe Größe. Abhängig von der Dreiphasengrundschaltung der Ober- und Unterspannungswicklung kann das US-Drehspannungssystem dem Drehspannungssystem der OS nacheilen und zwar um ein ganzzahliges Vielfaches k von 30°. Es gilt also:

$$\frac{\underline{U}_\mathrm{OS}}{\underline{U}_\mathrm{US}} = \underline{\ddot{u}} = \ddot{u} \cdot e^{j\varphi}$$

mit $\varphi = k \cdot 30°$ und

$$\frac{\underline{I}_\mathrm{OS}}{\underline{I}_\mathrm{US}} = \frac{1}{\underline{\ddot{u}}^*}$$

Der Betrag der Übersetzung ü ergibt sich für die einzelnen Schaltgruppen gemäß folgender Tabelle:

Schaltung	Yy	Yd	Yz	Dd	Dy	Dz
ü	$\frac{w_1}{w_2}$	$\sqrt{3}\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{1}{3}\frac{w_1}{w_2}$

4) Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_\mathrm{ab}}{P_\mathrm{zu}} = \frac{P_\mathrm{ab}}{P_\mathrm{ab} + P_\mathrm{V}} = 1 - \frac{P_\mathrm{V}}{P_\mathrm{ab} + P_\mathrm{V}}$$

mit

$$P_\mathrm{ab} = \sqrt{3} \cdot U_\mathrm{N} \cdot I \cdot cos(\varphi) = k \cdot S_\mathrm{N} \cdot cos(\varphi)$$
$$P_\mathrm{V} = P_0 + k^2 P_\mathrm{k}$$

hierbei ist k der Lastfaktor, P_0 die Leerlaufverlustleistung und P_k die Kurzschlussverlustleistung.