

ET I Übung 10

Aufbau:

- Fragen zu letzter Woche
- Nachbesprechen alter Serie
- Theorie Repetition
- (Pause)
- Alte Prüfungsaufgabe zusammen
- Tipps

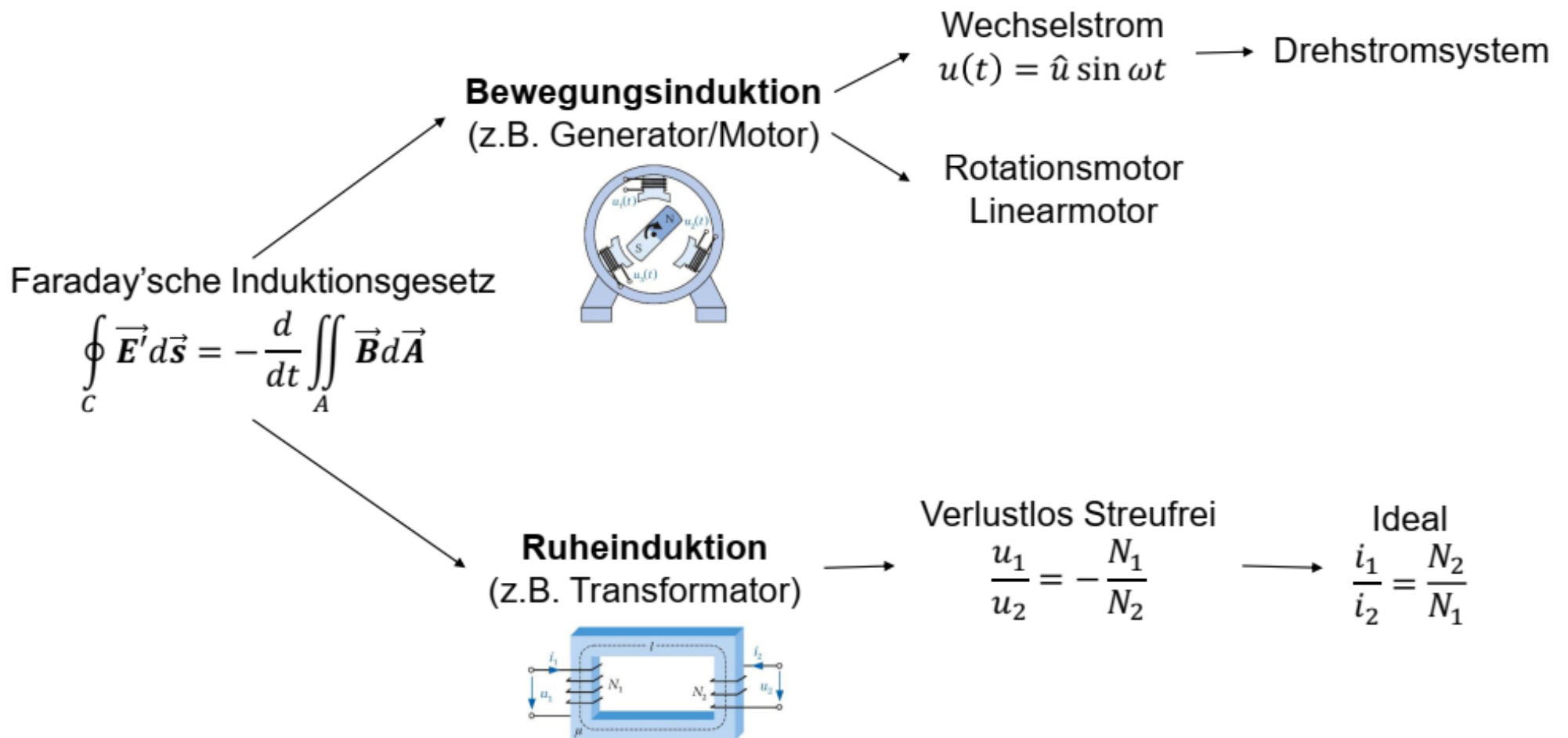
SERIE 8 WURDE BEWERTET

Last chance!



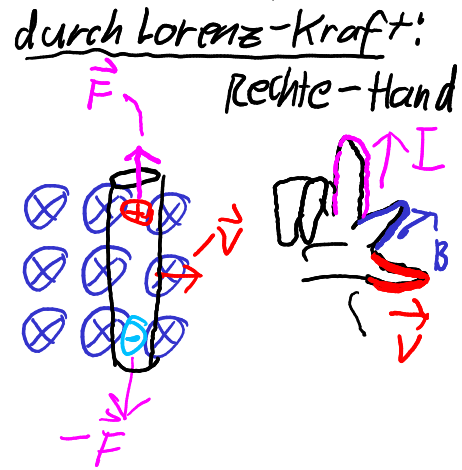
n.ethz.ch/~kursulovic

Mindmap

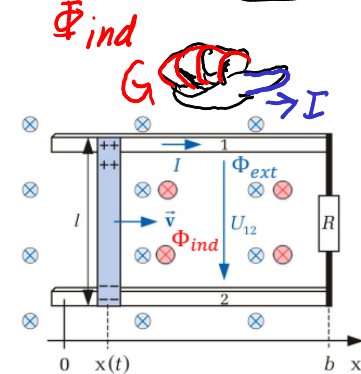


Repetition

2 Wege
um
Induktion
zu
bestimmen...



$\Phi_{ges} = \Phi_{ind} + \Phi_{Ext}$
durch Lenz'sche Regel:



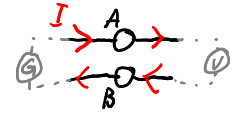
(induzierter Fluss Φ_{ind} in gleicher Richtung um abnahme von Φ_{ext} entgegen zu wirken)

$$U = - \frac{d\Phi}{dt}$$

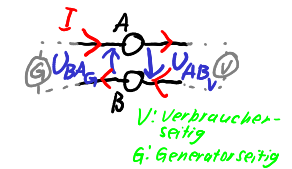
$$U = \frac{d\Phi_V}{dt} \approx - \frac{dN\phi}{dt}$$

U positiv oder negativ?

- Stromfluss bestimmen
- Strom und Anschluss Klemmen zeichnen:



- Spannung einzeichnen (Strom fließt vom höheren Potential zum niedrigen)



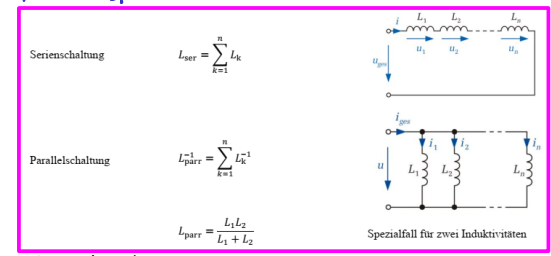
- Seiten ermitteln: $U_{AB_V} > 0, U_{BA_V} < 0$
 $U_{AG_G} < 0, U_{BG_G} > 0$

Farradaysches

Induktionsgesetz: Allgemeiner! (zeitabhängig)

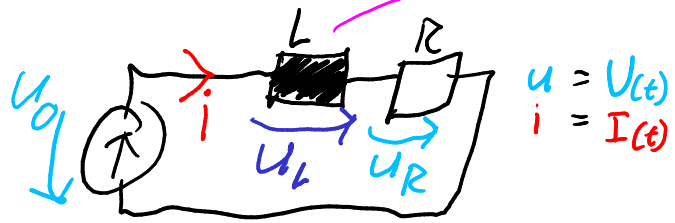
$$\oint_C \vec{E}' d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint_{A_V} \vec{B}_{(t)} d\vec{A}_{(t)} \leftrightarrow \text{rot } \vec{E}' = - \frac{d}{dt} \vec{B}_{(t)}$$

zeitabhängig differenziell



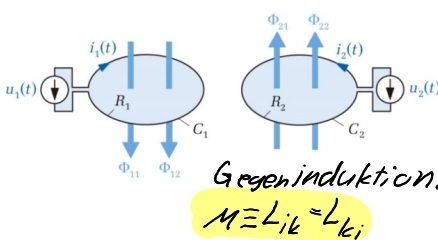
Selbstinduktion:

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$



zeitlich veränderliche Stromkreise
⇒ entstehung Induktionsspannung

Gegeninduktion:

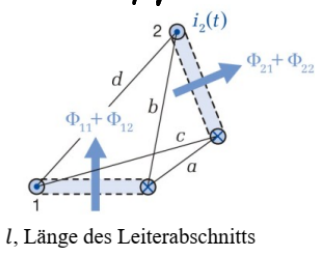


$$U_1 = R_1 i_1 + L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt}$$

analog:
$$U_2 = R_2 i_2 + L_{22} \frac{di_2}{dt} + L_{21} \frac{di_1}{dt}$$

selbstind. Gegenind.

Kopplung:



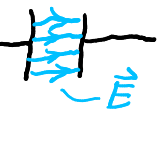
$$L_{12} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \left(\frac{bc}{ad} \right)$$

Kopplungsfaktoren:

$$k_{21} = \frac{\Phi_{V21}}{\Phi_{11}} = \frac{M}{L_{11}} \quad \text{bzw.} \quad k_{12} = \frac{\Phi_{V12}}{\Phi_{22}} = \frac{M}{L_{22}}$$

Geom. Mittel!
$$k = \pm \sqrt{k_{12} k_{21}}$$

Streuung:
$$\sigma = 1 - k^2$$

Energie in Feldern: E-Felder: Kapazitäten 

$$W_E = \frac{1}{2} C U^2$$

Allgemein:

$$W_E = \frac{1}{2} \iiint_V \vec{E} \cdot \vec{D} dV$$

B-Felder: Induktivitäten 

$$W_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \Phi_V I$$

Allgemein:

$$W_m = \iiint_V w_m dV = \frac{1}{2} \iiint_V \vec{H} \cdot \vec{B} dV$$

Leiterschleifen: 

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n L_{ik} I_i I_k$$

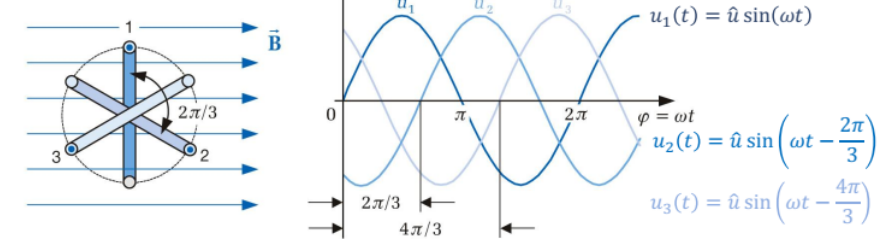
Generatorprinzip:
 Rotor erzeugt
 Strom im Stator

$$u = \oint_C \vec{E}' \cdot d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi(t) = B \cdot a b \cos(\varphi(t)) \sim \text{oder } \sin(\varphi)$$

$\varphi = \omega t = 2\pi f t$

Drehstrom: 3 um 120° versetzte Leiterschleifen
 "3 Phasen Wechselstrom"



Motoren:
 Ändernder Strom
 im Stator
 bewegt Rotor

Synchron Maschinen Asynchron Maschinen:
 Stator & Rotor Rotor bewegt sich
 bewegen sich gleich langsamer als Stator $\Rightarrow$ Schlupf

Drehstromsystem.

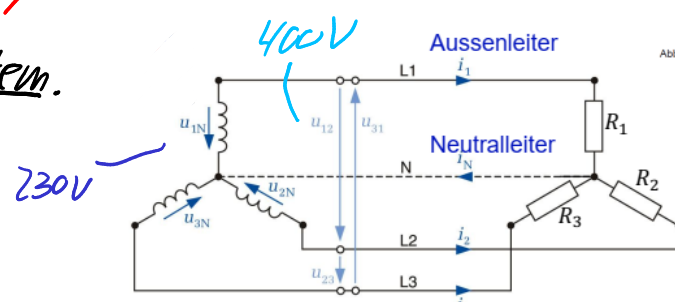


Abbildung 6.34: Sternschaltung beim Drei-Phasen-System

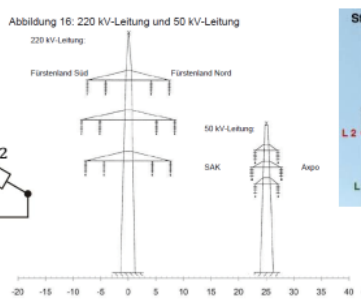


Abbildung 16: 220 kV-Leitung und 50 kV-Leitung

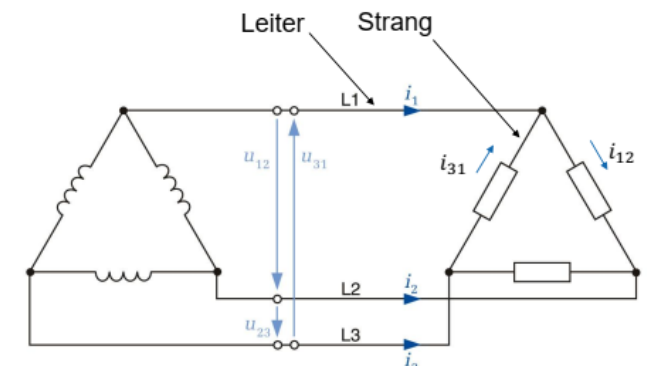
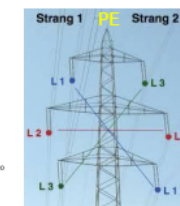
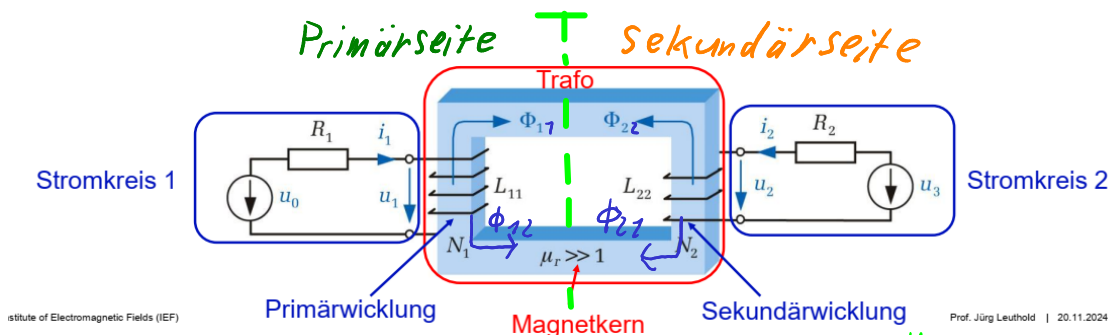


Abbildung 6.35: Dreieckschaltung beim Drei-Phasen-System

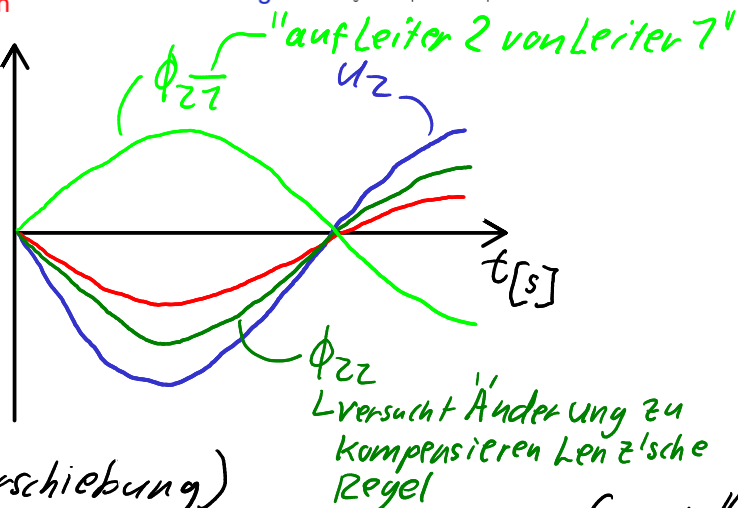
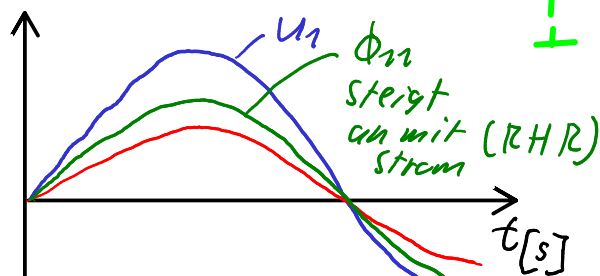
TRANSFORMATOREN / ÜBERTRAGER

Primärseite Sekundärseite



stitute of Electromagnetic Fields (IEF)

Prof. Jürg Leuthold | 20.11.2024 |



Wichtige Annahmen:

- Keine ohmschen Widerstände in der Wicklung
- Keine Kernverluste (Hystereseverluste)

Vorgehen:

1. Φ_m aus I_1 bestimmen
2. Φ_{22} nach Lenz aus Φ_{21} bestimmen
3. I_2 aus Φ_{22} bestimmen
4. u_2 wählen und bestimmen ob +/- (Verbrauchenseitig) aufgrund I_2

Idealfall (keine Phasenverschiebung)

Mehr dazu nächste Woche

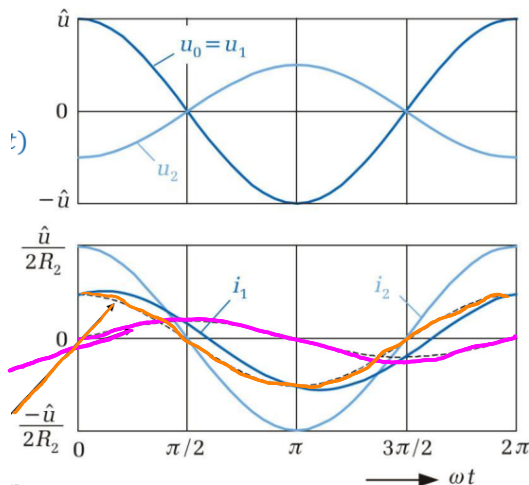
$$i_1 = i_{1L} + i_{1R}$$

i_{1L} : Strom durch Selbstinduktion (90° Nacheilend der Spannung)

i_{1R} : Ohmschen Strom

vom Vorwiderstand

(In Phase)



Generell gilt für verlustfreie Trafos nach obiger Konvention:

$$\frac{u_1}{u_2} = \mp \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \pm \frac{N_2}{N_1}$$

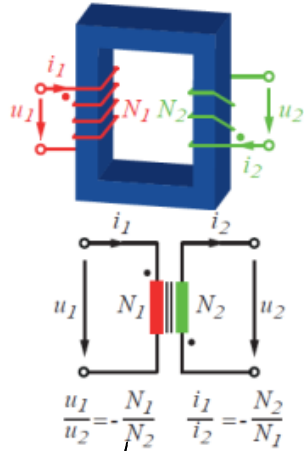
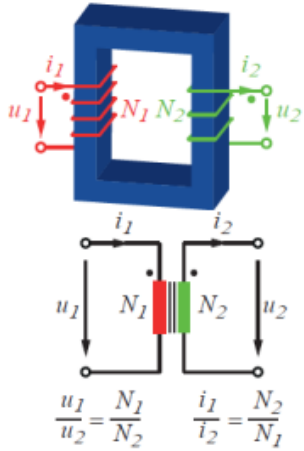
$$P_1 = P_2$$

Übersetzungsverhältnis:

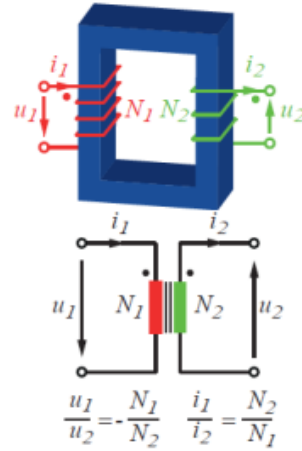
$$\frac{u}{U} = \frac{N_1}{N_2}$$

PUNKTKONVENTION (Gibt wicklungssinn an)

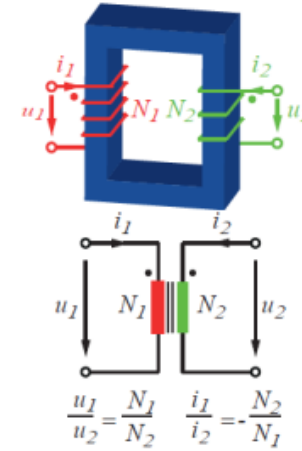
Wickelsinn auf Sekundärseite gedreht



u_2 gedreht

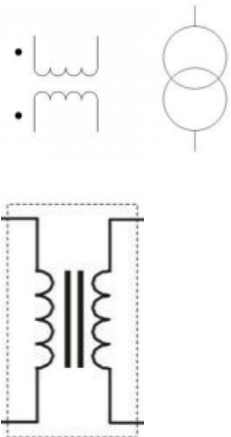


i_2 gedreht



i_2 ist eigentlich
entgegen der
eingezeichneten Richtung
 u_2 ebenfalls (aus tatsächlichem i_2)

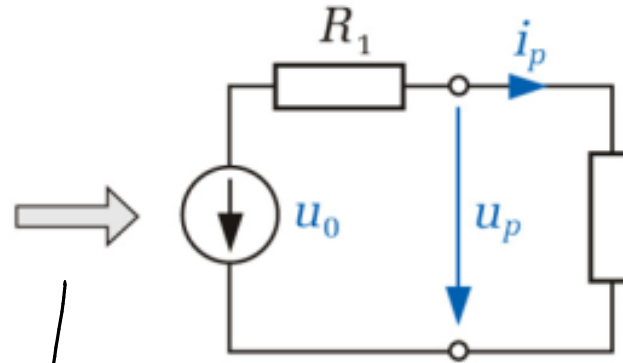
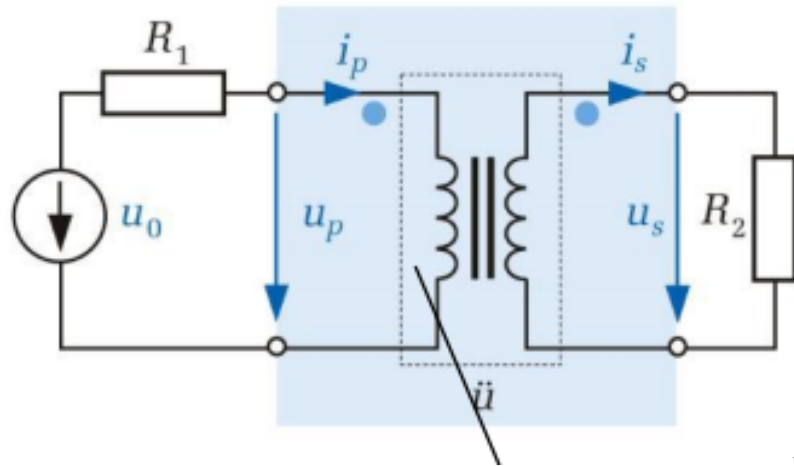
Trafo Symbole (Nicht wichtig für Prüfung, Nur erkennen können)



Kurzschlussfest	Nicht kurzschlussfest	Sicher im Störungszustand	Klassifikation von Transformatoren
			Sicherheitstransformator
			Trenntransformator
			Steuertransformator
			Spartransformator
			Kleintransformator

WIDERSTANDSTRANSFORMATION

Welchen Einfluss hat ein Widerstand auf der Sekundär Seite auf die Primärseite



$$\ddot{u}^2 R_2 = R_E$$

Idee "äquivalentes Schaltbild"

Die galvanische Trennung besteht immer noch, dies ist lediglich ein Modell!

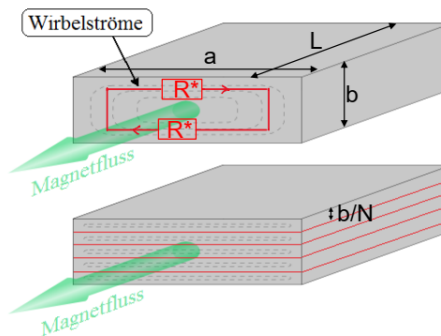
$$R_E = \frac{u_1}{i_1} = \ddot{u} u_2 \frac{\ddot{u}}{i_2} = \ddot{u}^2 R_2$$

Wieso Eisen Schichten?

In den Vorlesungsfolien findet ihr noch Anwendungsbeispiele

ETH zürich

Reduktion durch Lamellieren



Induzierter Wirbelstrom

$$U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} = \omega \hat{B} \sin(\omega t) ab$$

$$= R I_w$$

Widerstand, welcher der Wirbelstrom erfährt für $b \ll a$

$$R \approx 2R^* = 2 \frac{\rho \frac{a}{2}}{A/2} = 2 \frac{\rho \frac{a}{2}}{\frac{bL}{2}} = \frac{2\rho a}{bL}$$

Damit wird der Wirbelstromverlust

$$\overline{P_w} \approx \overline{U_{ind} I_w} = \overline{I_w^2 R} = \frac{1}{2} \frac{\omega^2 \hat{B}^2 a b^3 L}{2\rho}$$

Wirbelstromverlust, wenn der Kern lamelliert würde, $b \rightarrow \frac{b}{N}$

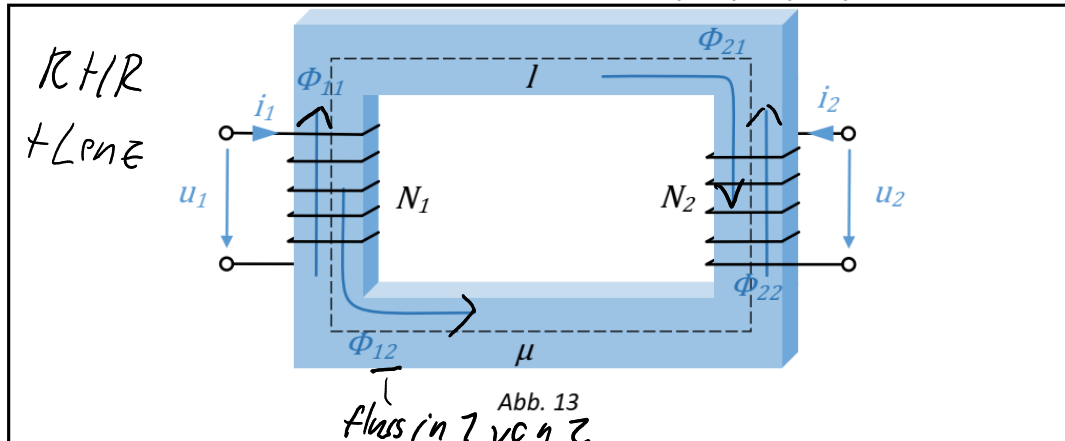
$$P_{lam} = N P_{Schicht} = N \frac{\omega^2 \hat{B}^2 a (b/N)^3 L}{4\rho} = \frac{P_w}{N^2}$$

verhält sich quadratisch zur Anzahl Schichten

5. Transformator**7 Punkte**

Gegeben ist der Transformator in Abb. 13 mit einer primären Wicklung mit der Windungszahl N_1 und einer sekundären Wicklung mit Windungszahl N_2 . An der Primärwicklung (Sekundärwicklung) liegt die Spannung u_1 (u_2) und der Strom i_1 (i_2) an. Der Kern hat eine mittlere Weglänge von l , die Querschnittsfläche A , die magnetische Permeabilität $\mu = \mu_0 \mu_r$ und ist als verlustlos und streufrei anzunehmen.

(a) Zeichnen Sie in Abb. 13 die Richtung der magnetischen Flüsse $\phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{21}, \phi_{22}$ ein. **(1 P)**



(b) Bestimmen Sie nun die Selbstinduktivitäten der Primär und Sekundärseite (L_{11}, L_{22}) sowie die Gegeninduktivitäten. (L_{12}, L_{21}) **(2 P)**

$$L_{11} = \frac{N_1^2}{R_{\text{m}}} = \frac{N_1^2}{l} \mu_0 \mu_r A$$

Reluktanz

$$L_{22} = \frac{N_2^2}{l} \mu_0 \mu_r A$$

$$L_{12} = L_{21} = \frac{N_1 \cdot N_2}{l} \mu_0 \mu_r A$$

Lösung:

- $L_{11} =$
- $L_{22} =$
- $L_{21} =$
- $L_{12} =$

(nächste Woche)

(c) Aus dem Induktionsgesetz finden wir (Formelsammlung S. 13):

$$\hat{u}_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} - L_{12} \frac{di_2}{dt}$$
$$\hat{u}_2 = L_{22} \frac{di_2}{dt} - L_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Nun sei die auf der Primärseite angelegte Spannung $u_1(t) = \operatorname{Re}\{\hat{u}_1 \cdot e^{j\omega t}\}$. Bestimmen Sie mit komplexer Wechselstromrechnung das Übersetzungsverhältnis $\ddot{u} = \frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2}$. (2 P)

Lösung: $\ddot{u} =$

(d) Beim idealen Transformator gilt:

$$\frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2} = - \frac{\hat{i}_2}{\hat{i}_1}$$

An der Sekundärseite des Transformators sei gemäss Abb. 14 eine Last R angeschlossen. Was messen Sie für einen Widerstand R_{in} auf der Primärseite? * N_1, N_2 Geg (2 P)

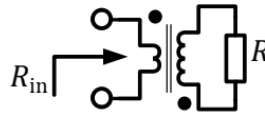


Abb. 14

=> Widerstands transformation

$$R_{\text{in}} = \frac{\hat{u}_1}{\hat{i}_1} \quad (i) \quad \frac{\frac{N_1}{N_2} \hat{u}_2}{\frac{N_1}{N_2} \hat{i}_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \cdot R = \underline{\underline{\ddot{u} \cdot R}} \quad (i)$$

$$R = \frac{\hat{u}_2}{\hat{i}_2}, \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2}, \quad \frac{N_2}{N_1} = \frac{\hat{i}_1}{\hat{i}_2} \Rightarrow \hat{u}_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot \hat{u}_2, \quad \hat{i}_1 = \hat{i}_2 \frac{N_2}{N_1}$$

(ii)

Lösung: $R_{\text{in}} =$

Tips!

1. • Richtung der Flüsse gem. geg. Stromrichtung!
 - Induktivität sinnvoll ausdrücken (2 Arten)
 - c) Richtungen eingezeichnet vs tatsächliche richtung? (Lenz)
2. • Wann wird eine Spannung induziert? (Einheiten?)
 - Eigenschaften Trafos?
3. • URI und PUI