



Technische
Universität
Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig



Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Teil 2: Elektromechanische Energieumformung

3. Übung: Drehfelder und Synchronmaschine

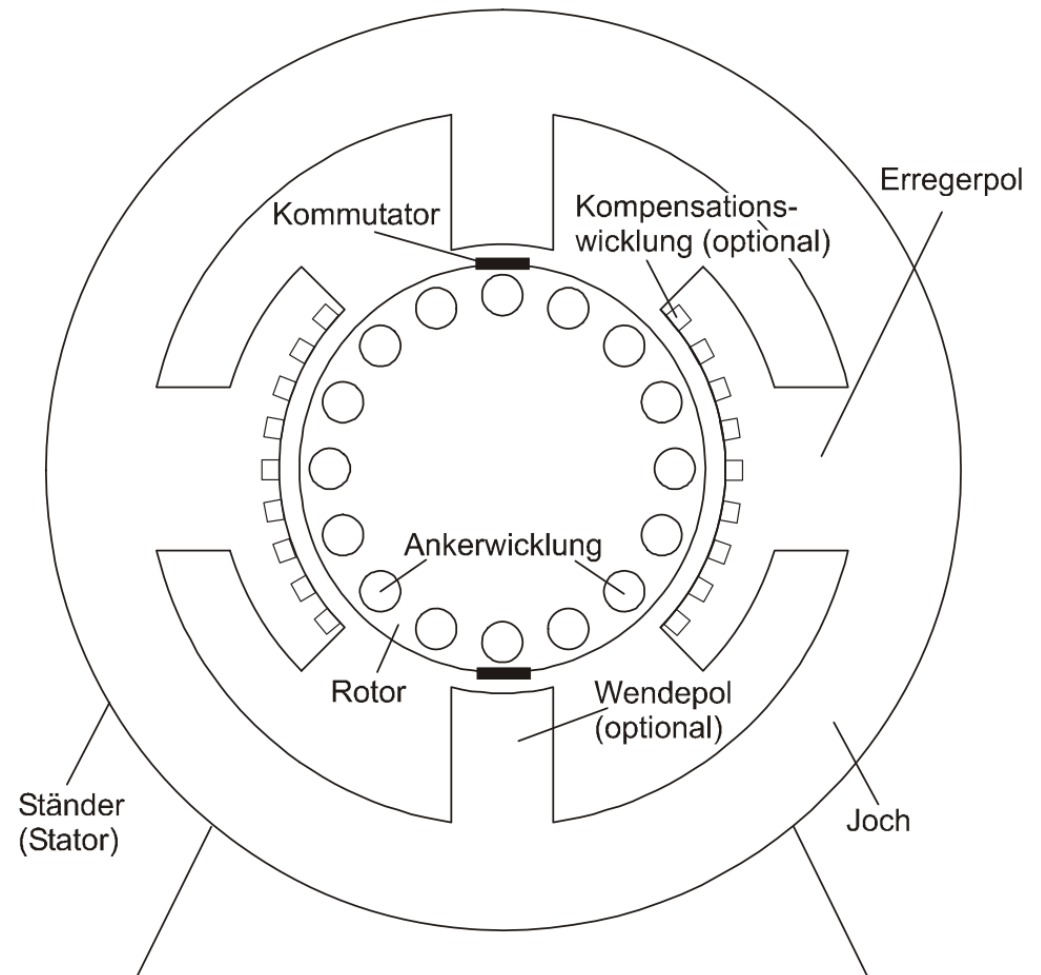
SoSe 2024

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, T.-H. Dietrich

Gliederung

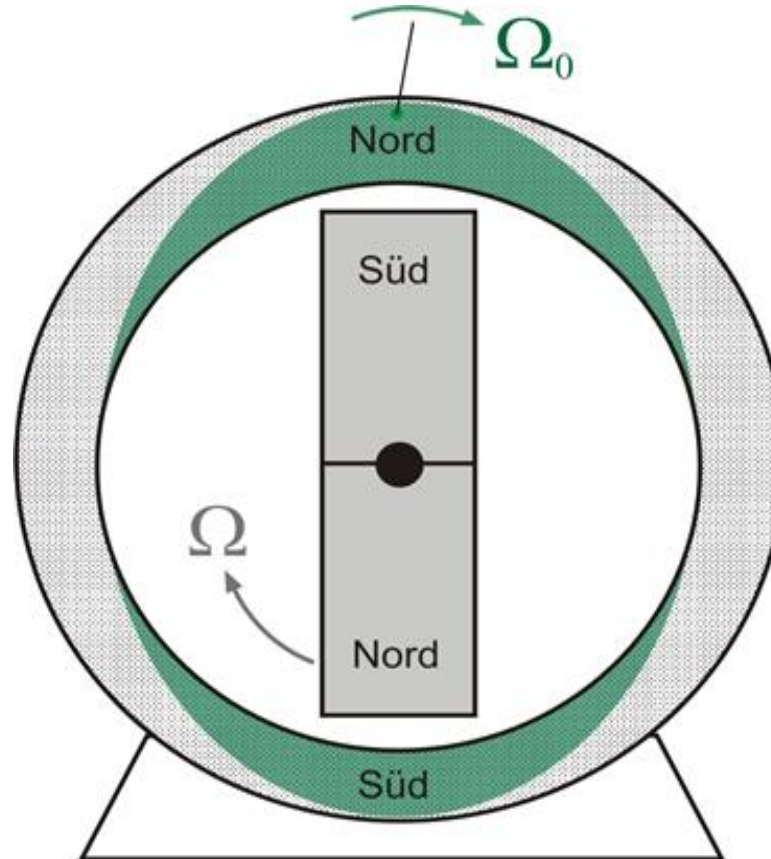
- **Drehfelder**
- Synchronmaschine

Gleichstrommaschinen



Drehfelder

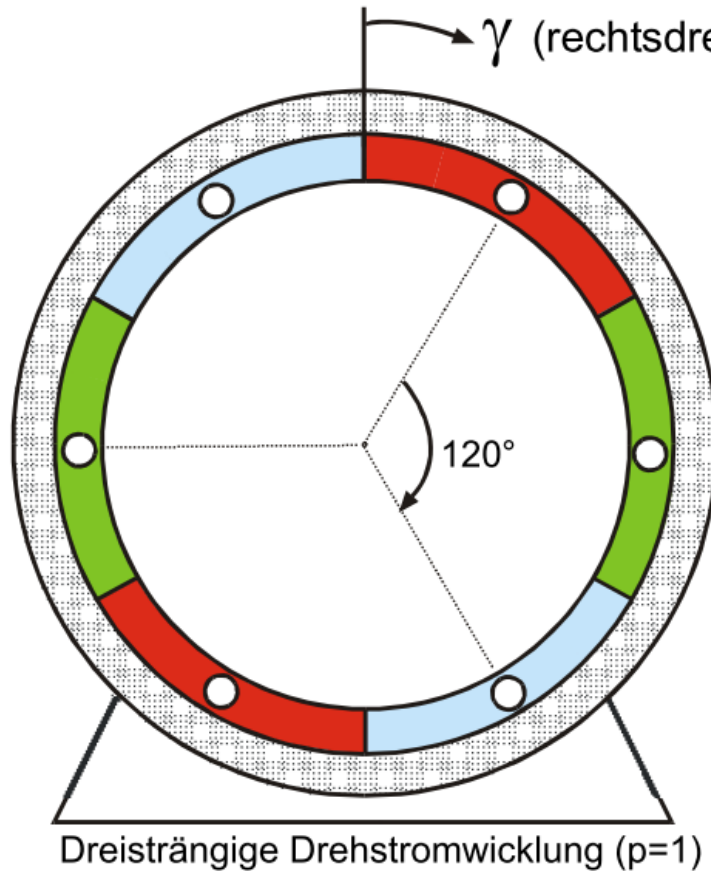
Ziel: Erzeugung einer umlaufenden Luftspaltfeldwelle in der Maschine



Funktion der Drehfeldmaschine ($p=1$) am Beispiel der Synchronmaschine

Drehfelder

Prinzip: Drehfelder entstehen, wenn die räumliche und zeitliche Verschiebung der einzelnen Stränge gleich ist



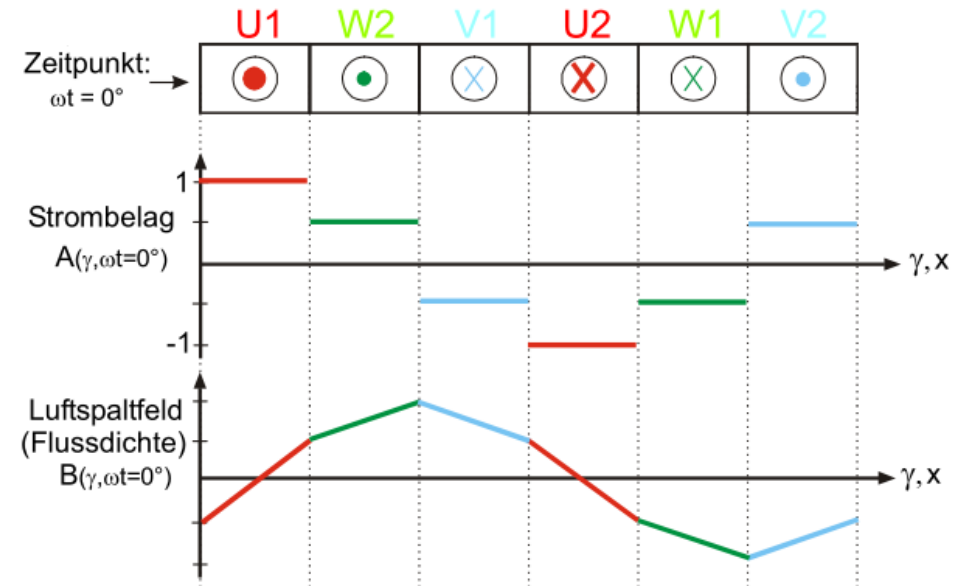
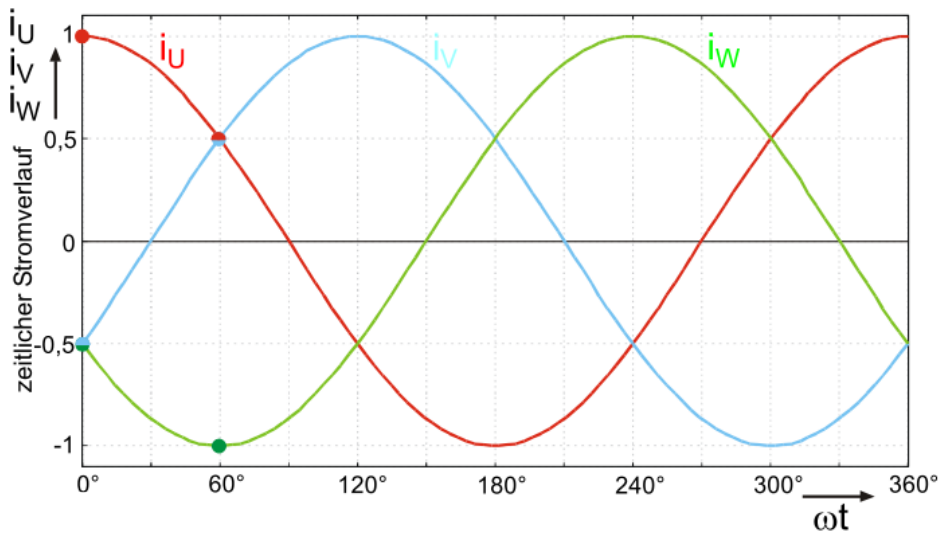
$m = 3$ Stränge:

$$i_U = \hat{i} \cdot \cos(\omega t)$$

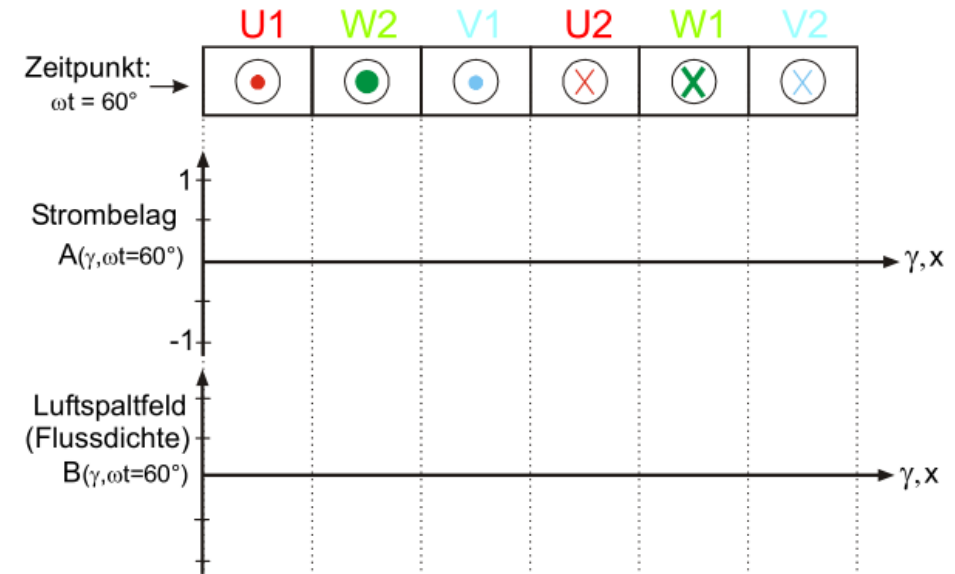
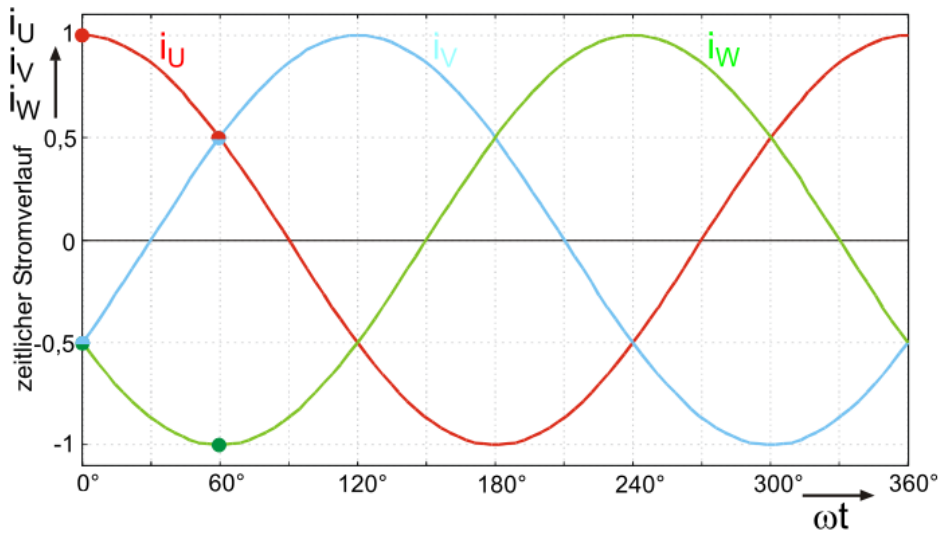
$$i_V = \hat{i} \cdot \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_W = \hat{i} \cdot \cos(\omega t - 240^\circ)$$

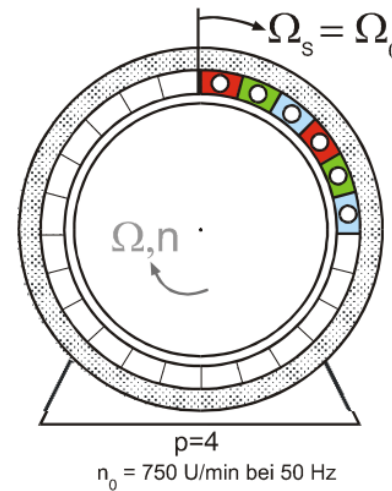
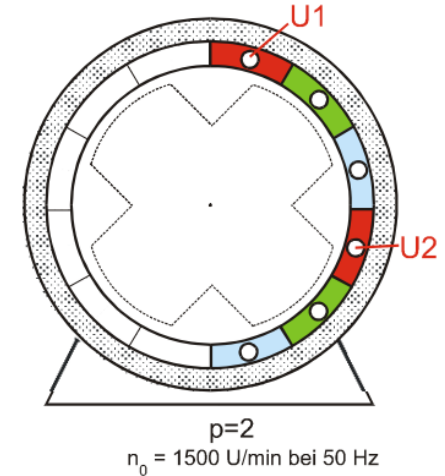
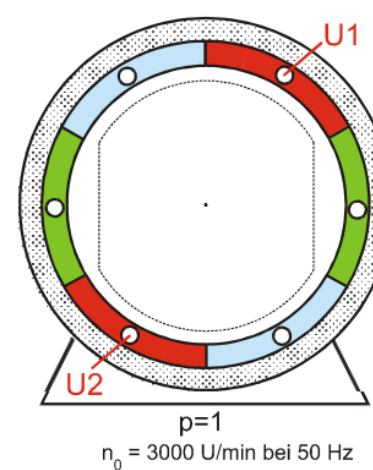
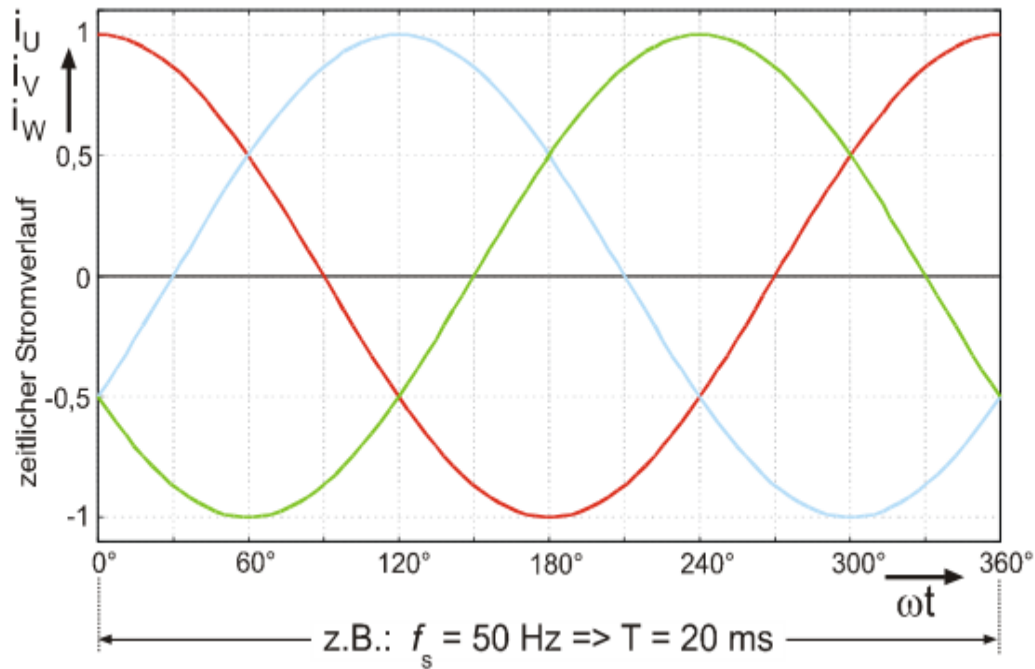
Entstehung des Drehfeldes



Entstehung des Drehfeldes



Einfluss der Polpaarzahl



Stator:

Speise-/Ständerfrequenz: f_s

$$\omega_s = 2\pi \cdot f_s$$

$$\Omega_0 = \frac{\omega_s}{p}$$

Rotor:

Drehzahl: $n = \frac{\Omega}{2\pi}$

"synchron": $n_0 = \frac{\Omega_0}{2\pi} \left[\frac{1}{s} \right]$

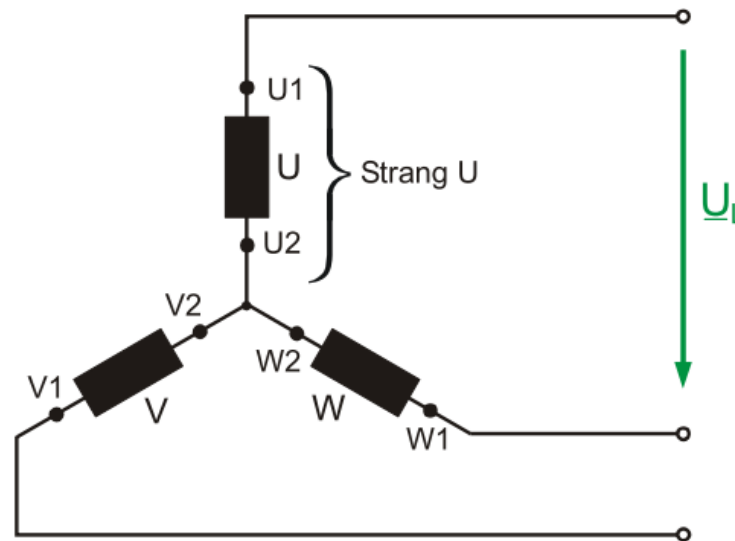
Stern-Dreieckschaltung von Drehstromwicklungen

Index "L" = Zuleitung

Index "s" = Strang (Ständer)

gegeben z. B: 400 V-50 Hz Drehstromnetz => $U_L = 400\text{V}$ (Effektivwert)

Sternschaltung: 



Für Rechnung:
 $U_s, I_s = ?$

$$I_s = I_L$$

$$U_s = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

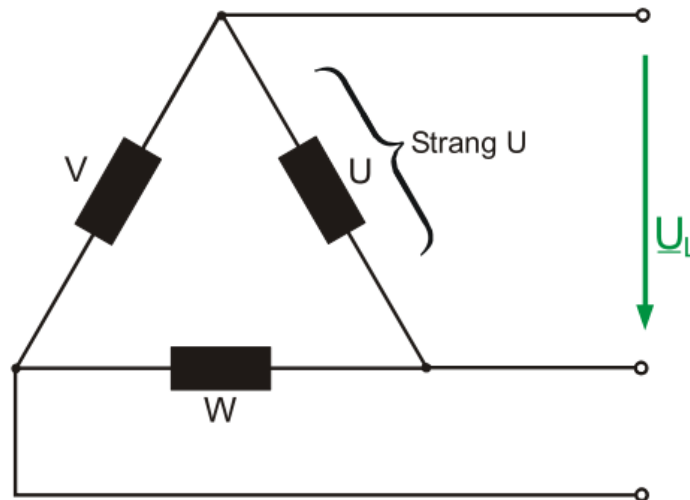
Stern-Dreieckschaltung von Drehstromwicklungen

Index "L" = Zuleitung

Index "s" = Strang (Ständer)

gegeben z. B: 400 V-50 Hz Drehstromnetz => $U_L = 400\text{V}$ (Effektivwert)

Dreieckschaltung: \triangle



Für Rechnung:
 $U_s, I_s = ?$

$$U_s = U_L$$

$$I_s = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

Gliederung

- Drehfelder
- **Synchronmaschine**

Vollpolsynchronmaschine

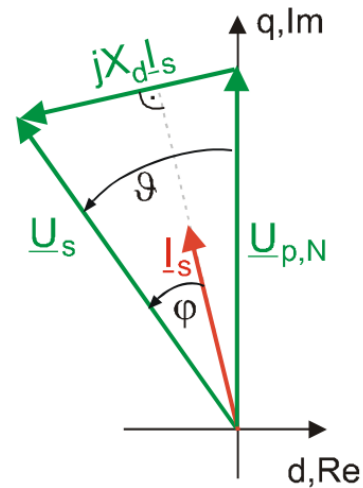
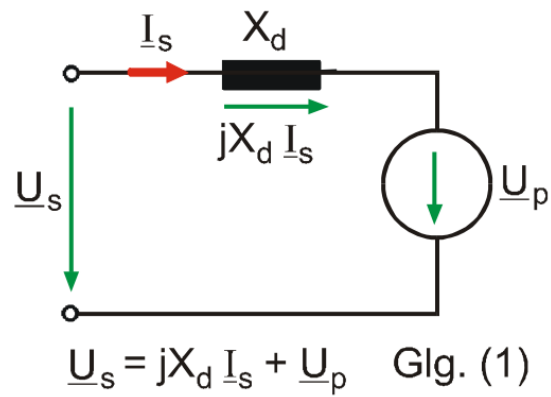
Eine zweipolige Vollpol-Synchronmaschine wird in Dreieckschaltung an einem 400V-50Hz-Drehstromnetz betrieben. Bei einem Nennerregerstrom von $I_{f,N} = 2 \text{ A}$ beträgt die Polradspannung $U_{p,N} = 393,5 \text{ V}$. Für die Synchronreaktanzen X_d wurde durch eine Kurzschlussmessung der Wert $X_d = 1,13 \text{ } \Omega$ ermittelt.

Verluste können vernachlässigt werden ($R_s = 0$).

- 2.1 Berechnen Sie für Nennerregung und einem Lastmoment von $M_L = 170 \text{ Nm}$ den Polradwinkel ϑ , den Strangstrom I_s und den Phasenwinkel φ zwischen Strangspannung und Strangstrom.
- 2.2 Welcher Erregerstrom I_f^* muss eingestellt werden, damit die Maschine zur Blindleistungskompensation bei gleicher Wirkleistung wie im Aufgabenteil 2.1 und mit betragsmäßig gleichem Phasenwinkel *übererregt* betrieben wird (Hilfe: Stromortskurve)?
- 2.3 Mit welchem Moment muss die Maschine angetrieben werden, damit bei unveränderter Erregung gegenüber 2.2 im Generatorbetrieb reine Wirkleistung ins Netz eingespeist wird?

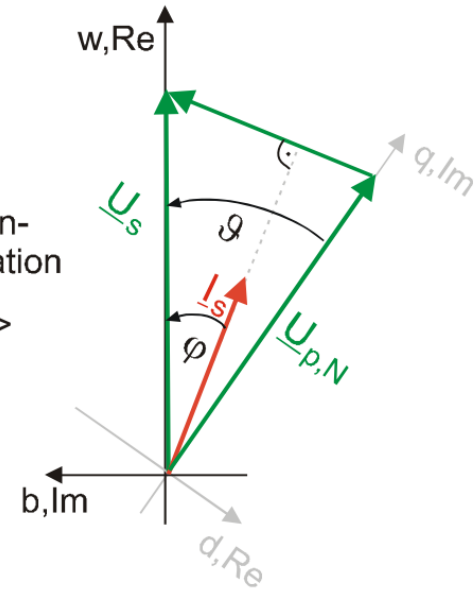
Ersatzschaltbild

ESB ($R_s = 0$)

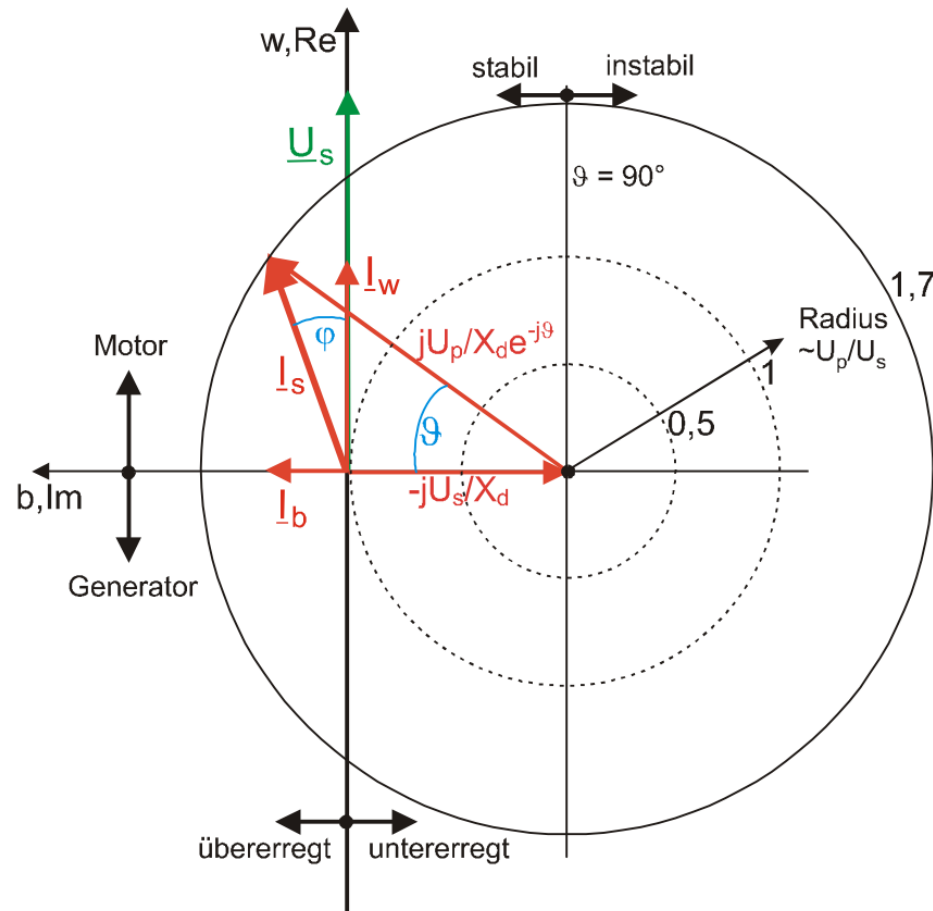


Koordinaten-
Transformation

$$\cdot (-j e^{-j\theta}) \Rightarrow$$



Stromortskurve

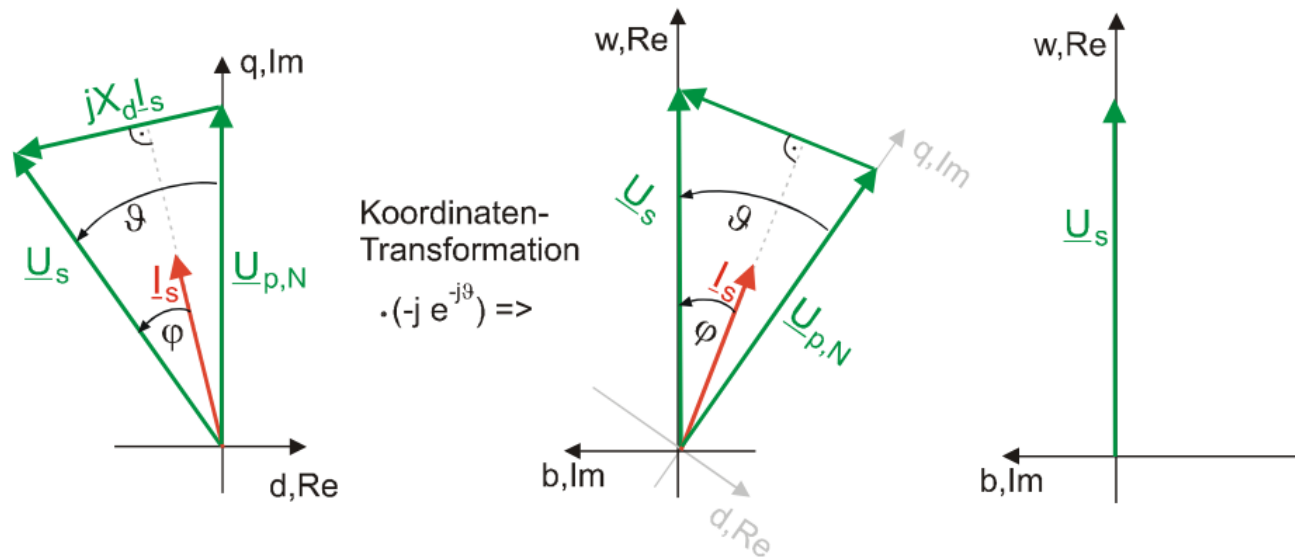


Aufgabe 2.1

zu 2.1: ϑ , I_s und φ bei Nennerregung und Belastung mit $M_L = 170 \text{ Nm}$?

Skript: $\underline{I}_{s(d,q)} = I_d + jI_q$ mit $I_d = \frac{U_s \cdot \cos \vartheta - U_p}{X_d}$ und $I_q = \frac{U_s \cdot \sin \vartheta}{X_d}$

oder: $\underline{I}_{s(w,b)} = I_w + jI_b$ mit $I_w = \frac{U_p \cdot \sin \vartheta}{X_d}$ und $I_b = \frac{U_p \cdot \cos \vartheta - U_s}{X_d}$



Aufgabe 2.1

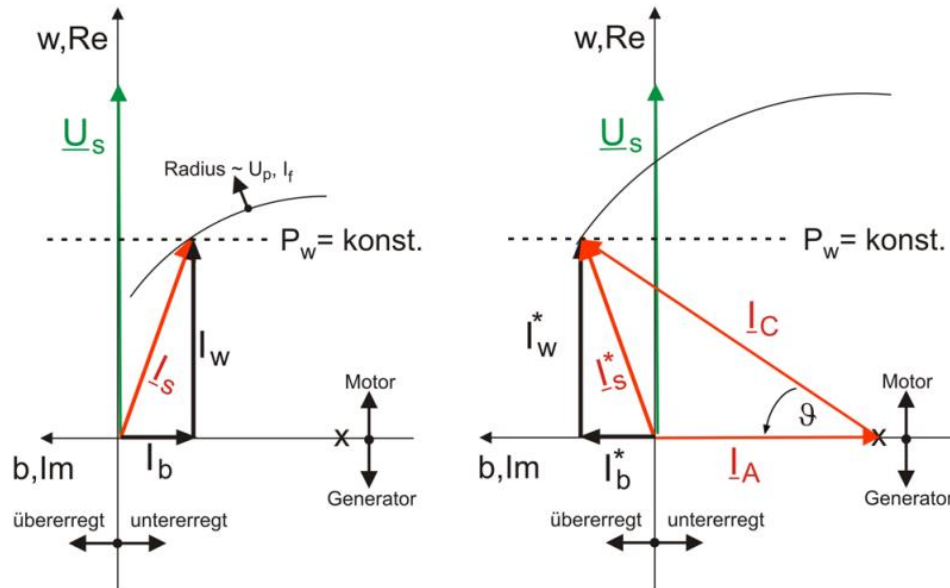
Aufgabe 2.1

Aufgabe 2.1

Aufgabe 2.1

Aufgabe 2.2

zu 2.2: $I_f^* = ?$ damit übererregt bei gleicher Wirkleistung



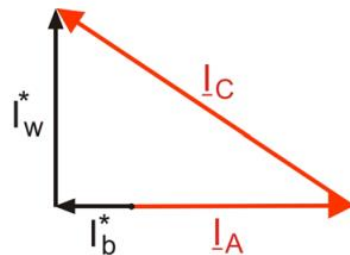
konstante Wirkleistung, aber übererregt:

$$\Rightarrow I_w^* = I_w \quad I_b^* = -I_b$$

Stromortskurve (siehe Skript):

$$\underline{I}_A = -j \frac{U_s}{X_d} \Rightarrow |\underline{I}_A| = I_A = \frac{U_s}{X_d}$$

$$\underline{I}_C = +j \frac{U_p}{X_d} \cdot e^{-j\theta} \Rightarrow |\underline{I}_C| = I_C = \frac{U_p}{X_d}$$



Aufgabe 2.2

Aufgabe 2.3

zu 2.3: $M^{**} = ?$ damit generatorisch reine Wirkleistungsabgabe ($I_f^{**} = I_f^*$)

