



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**

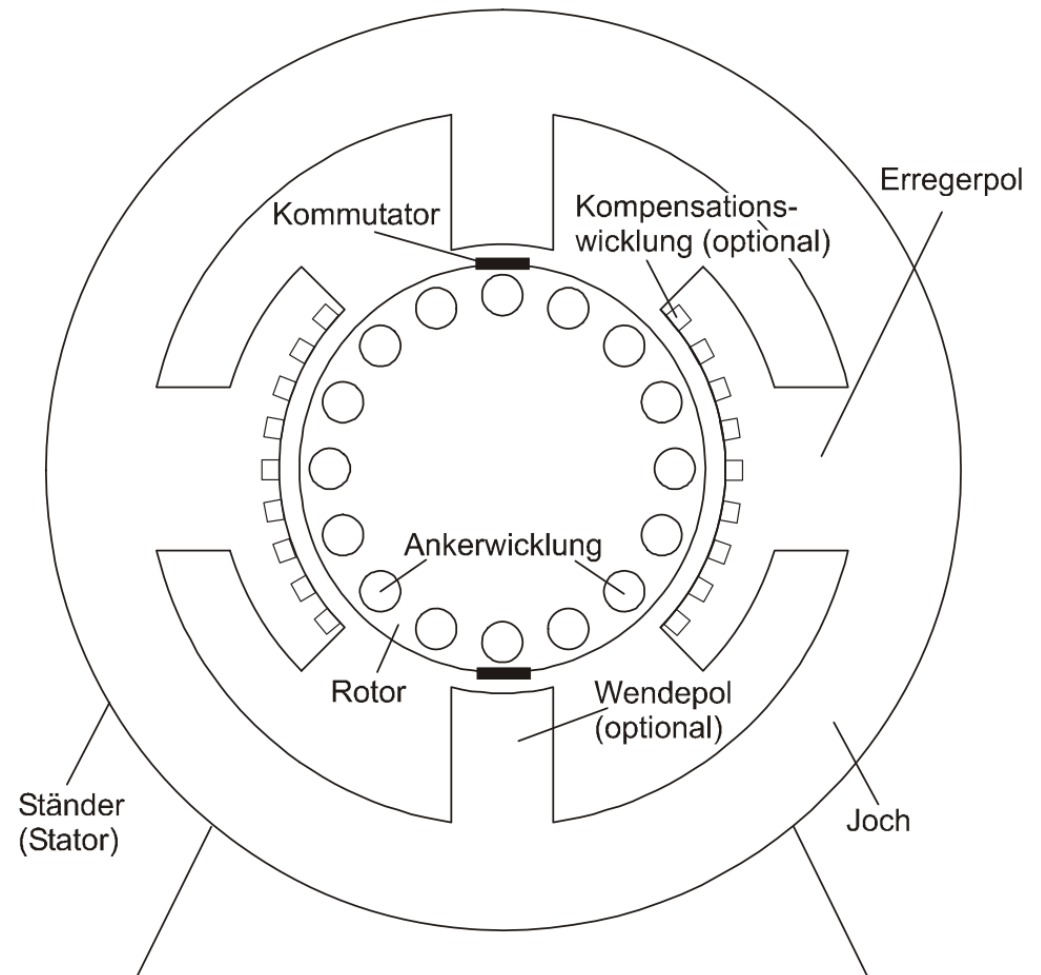
**SS 2022**

**Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Jonas Franzki**

# Gliederung

- **Drehfelder**
- Synchronmaschine

# Gleichstrommaschinen



# Kraftwirkung der Synchronmaschine

Magnetfeld zwischen  
Nord- und Südpol



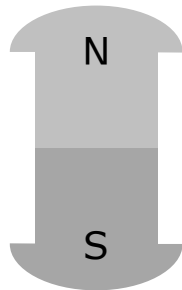
Stromführender  
Leiter



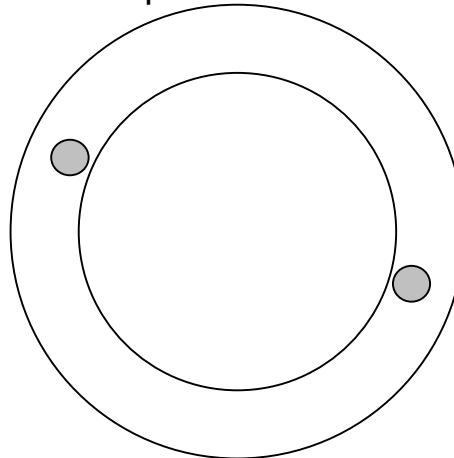
Überlagerung



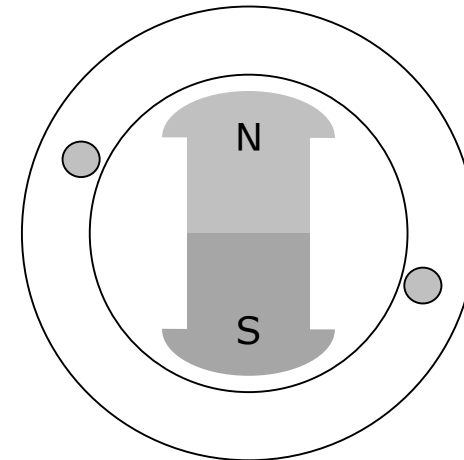
Rotor (Stabmagnet)



Spule im Stator

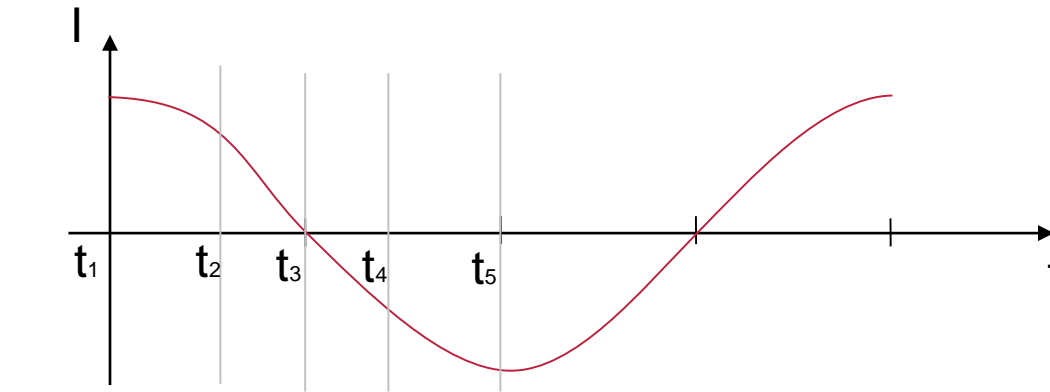


Überlagerung



# Wechselfelder

Skizzieren Sie für die 5 Zeitpunkte jeweils die sich bildenden Flusslinien der Spule.



$$i_u = \hat{i} * \cos(\omega t)$$

$t_1$



$t_2$



$t_3$



$t_4$

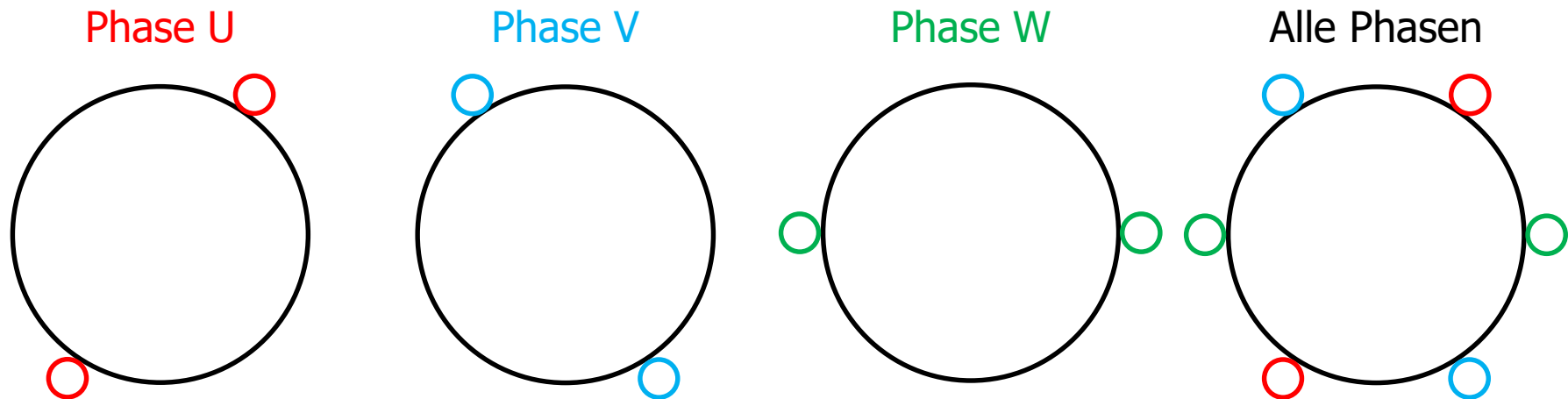


$t_5$

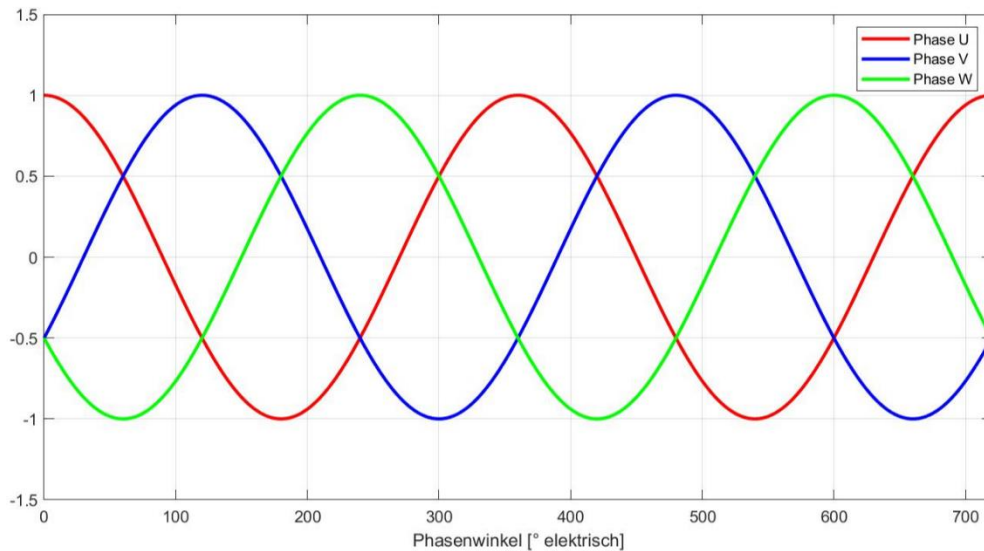


# Von Wechselfeldern zu einem Drehfeld

Zeichnen Sie in die folgende Abbildung die Magnetisierungsrichtungen (Richtung der Flusslinien) der Phasen ein (jeweils für positiven und negativen Strom).



# Von Wechselfeldern zu einem Drehfeld

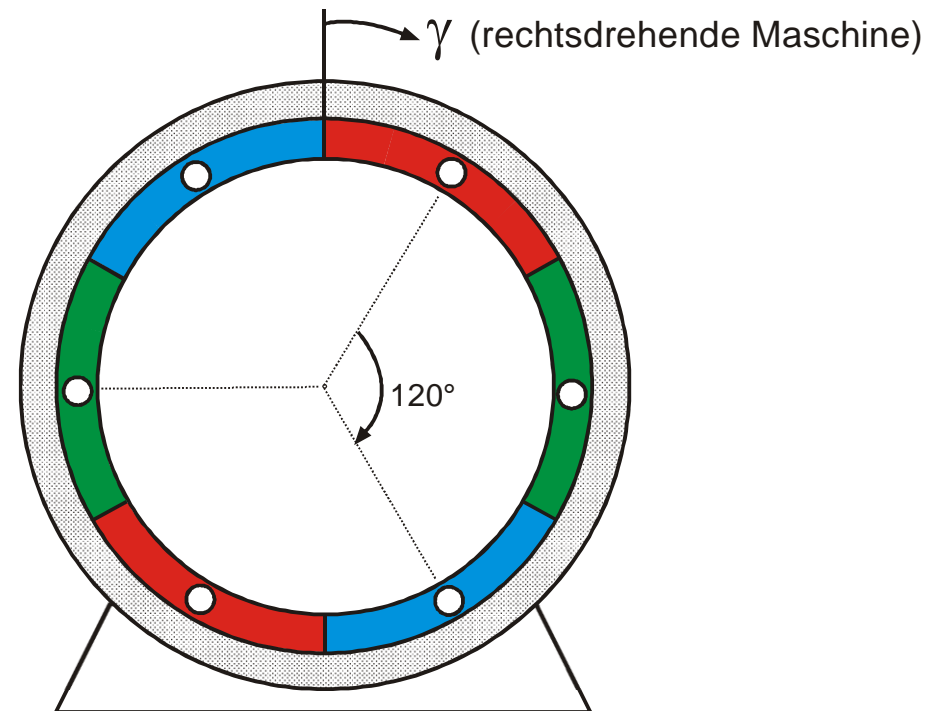


$m = 3$  Stränge:

$$i_u = \hat{i} * \cos(\omega t)$$

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

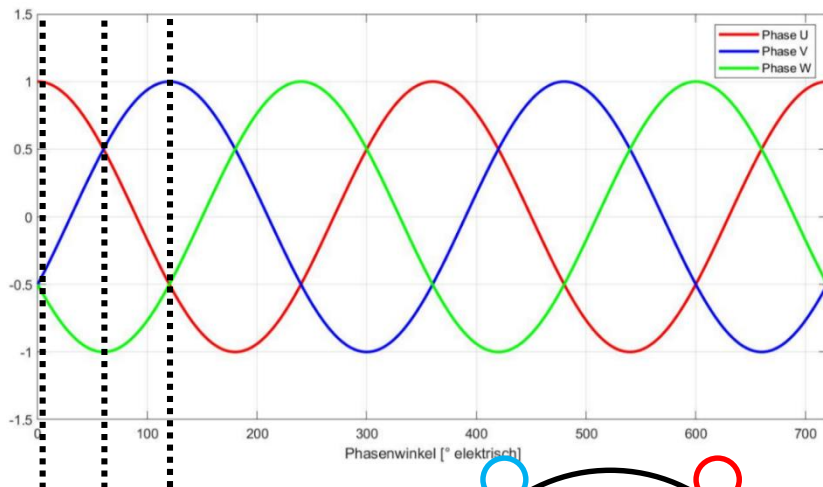
$$i_w = \hat{i} * \cos(\omega t - 140^\circ)$$



# Von Wechselfeldern zu einem Drehfeld

## 0.2

Zeichnen Sie für die 3 gezeigten Zeitpunkte jeweils die Magnetisierungsrichtungen der Phasen und den Gesamtzeiger ein. In welche Richtung rotiert die Maschine?

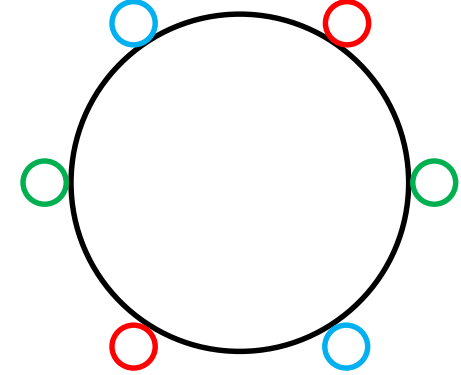
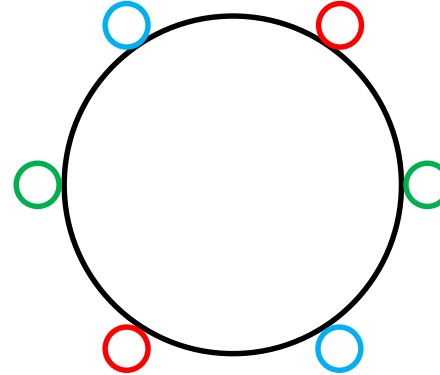
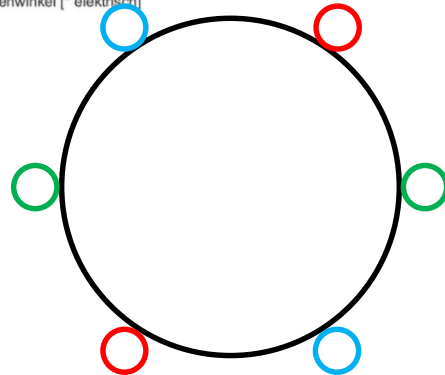


$m = 3$  Stränge:

$$i_u = \hat{i} * \cos(\omega t)$$

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

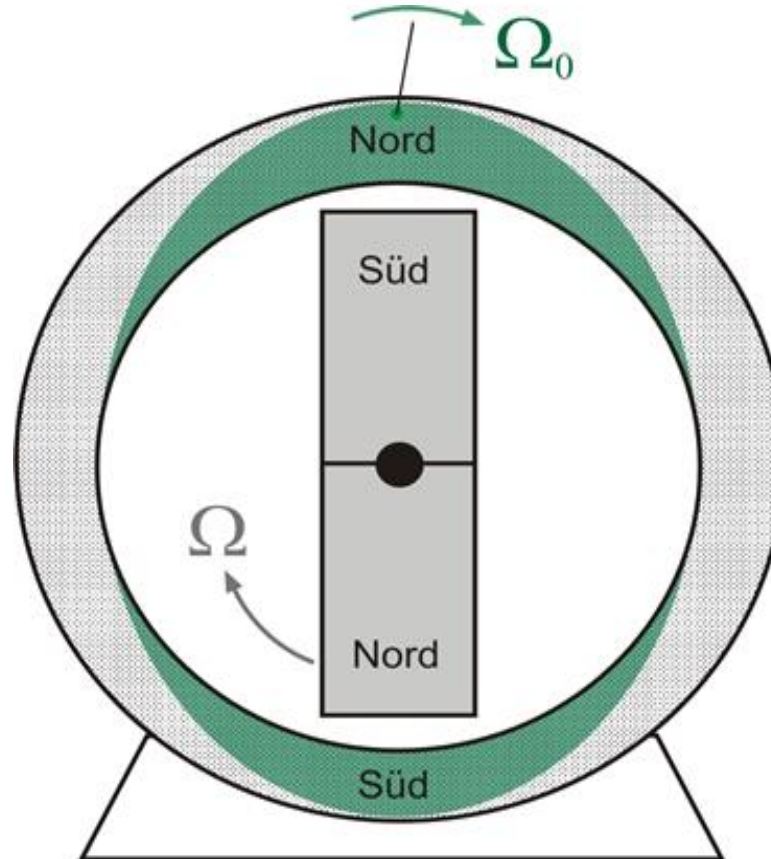
$$i_w = \hat{i} * \cos(\omega t - 140^\circ)$$





# Drehfelder

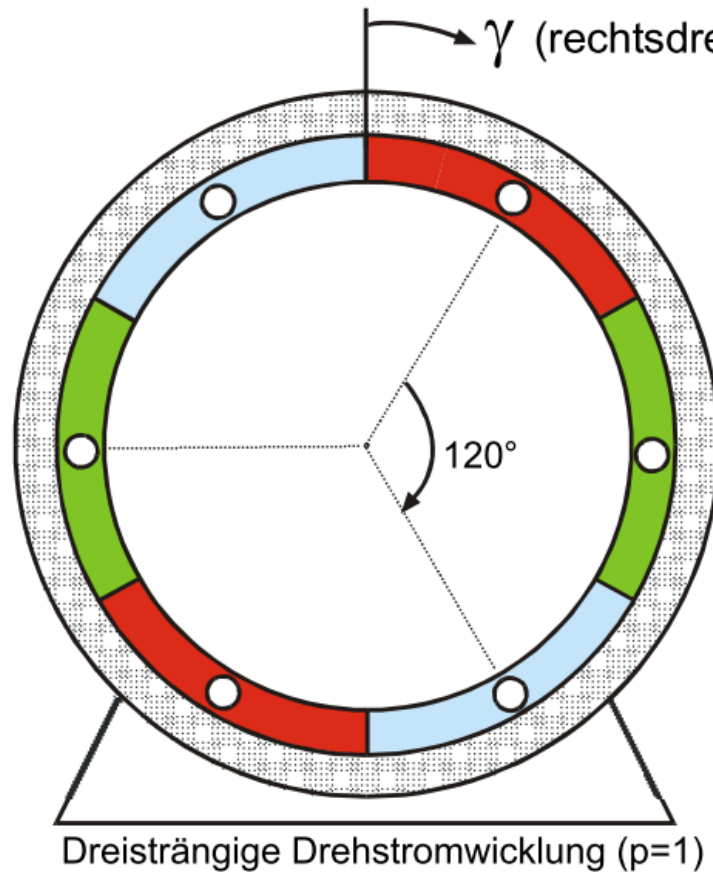
**Ziel:** Erzeugung einer umlaufenden Luftspaltfeldwelle in der Maschine



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

# Drehfelder

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



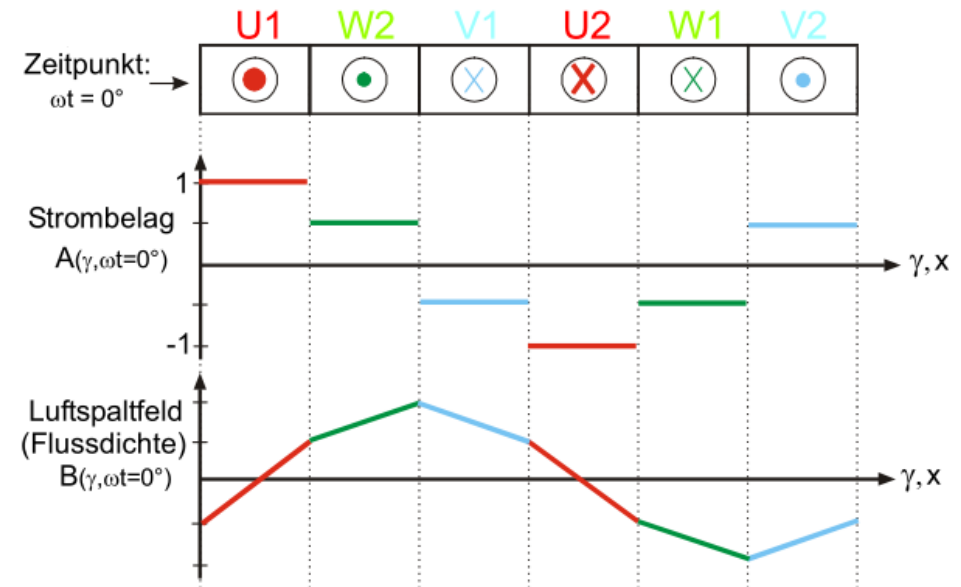
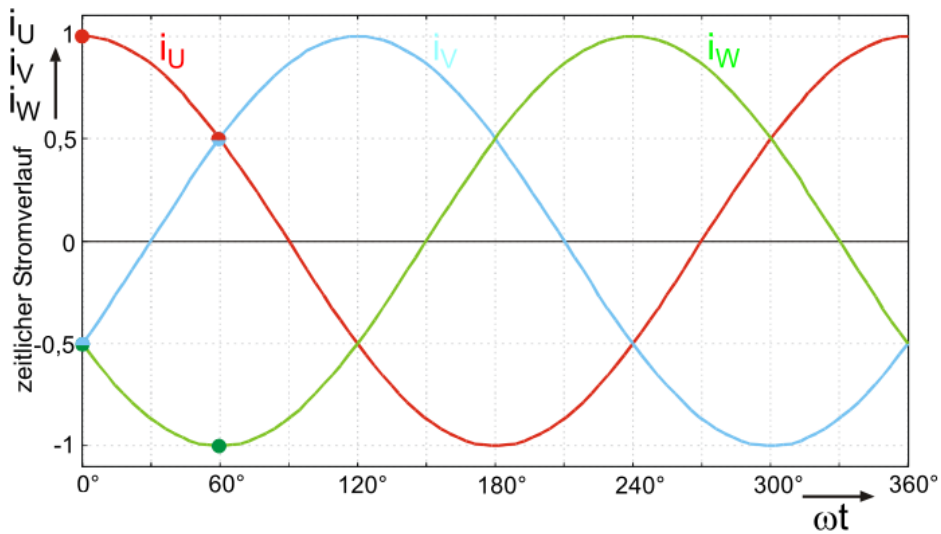
$m = 3$  Stränge:

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

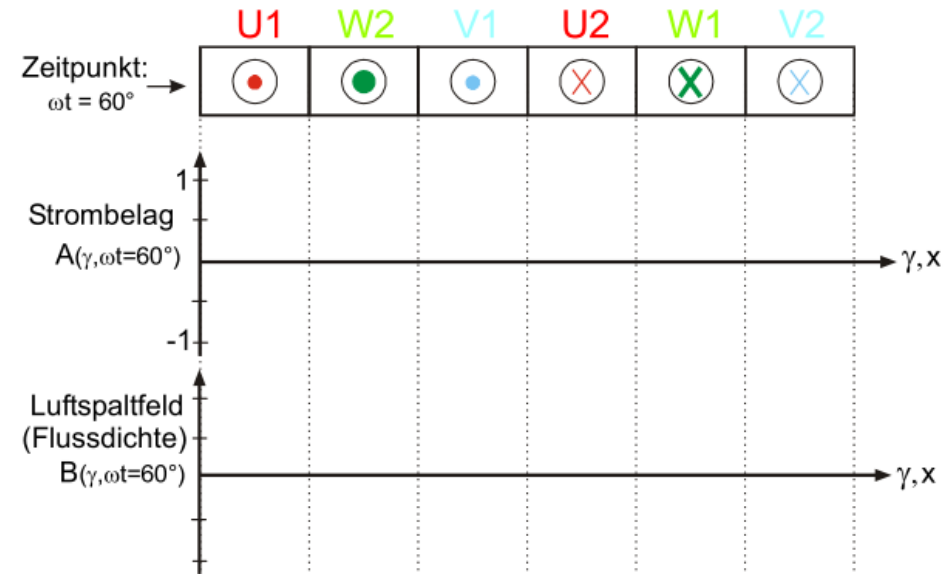
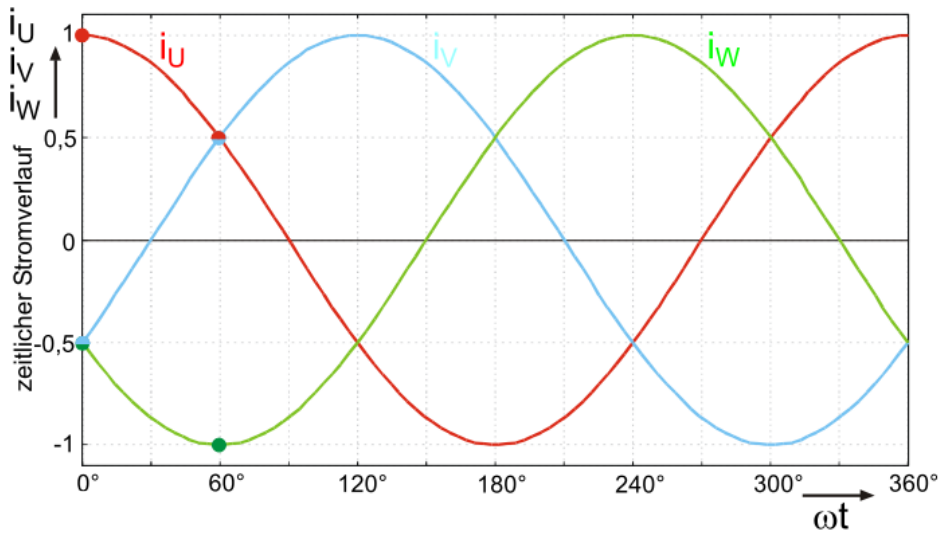
$$i_V = \hat{i} \cdot \cos(\omega t - 120^\circ)$$

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

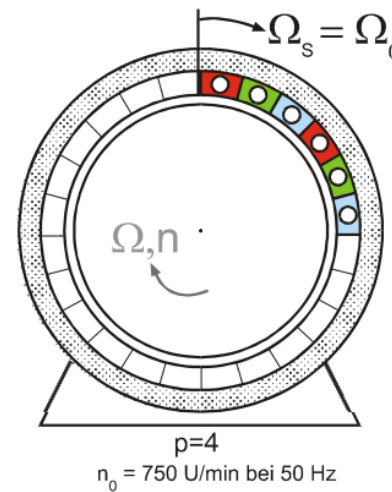
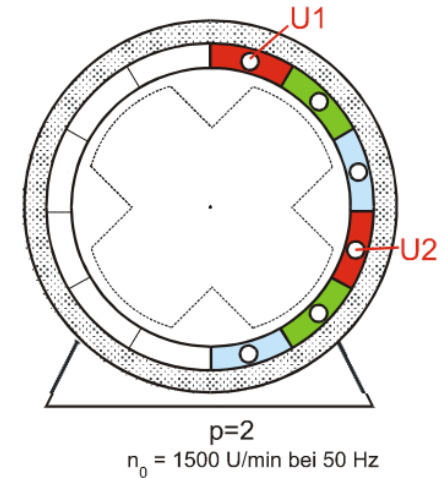
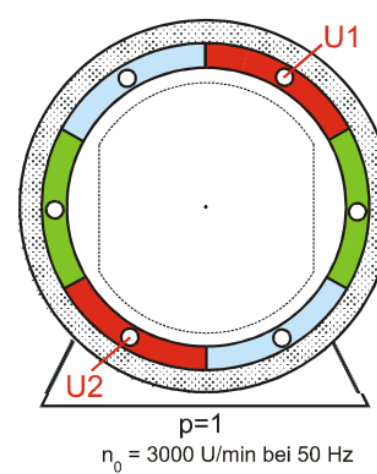
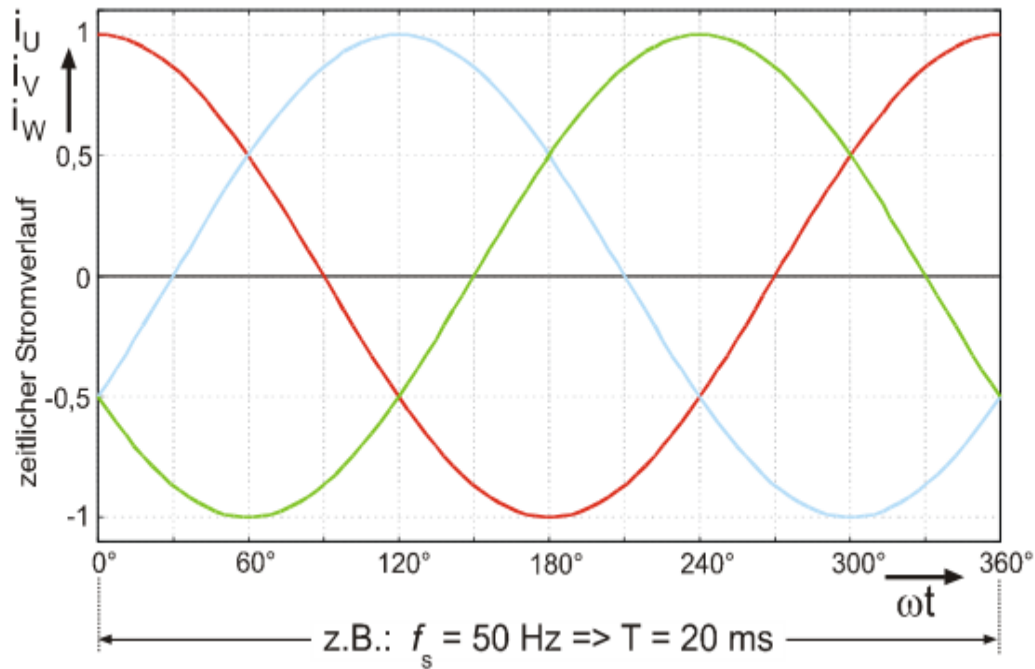
# Entstehung des Drehfeldes



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

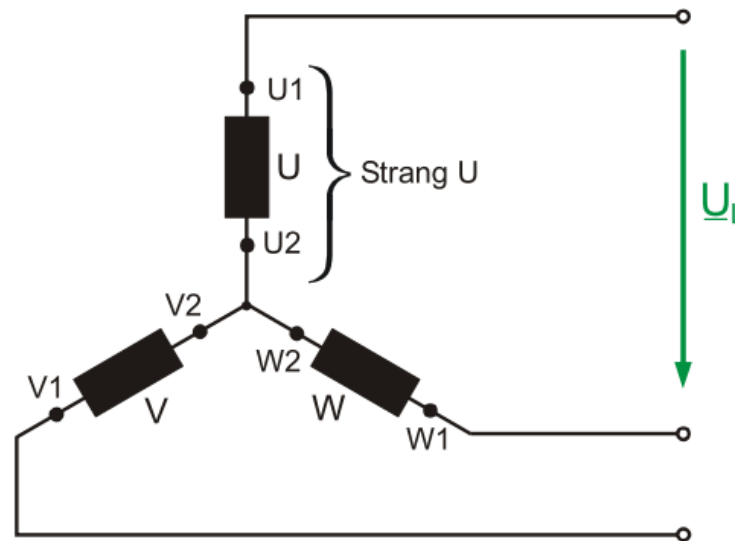
# Stern-Dreieckschaltung von Drehstromwicklungen

Index "L" = Zuleitung

Index "s" = Strang (Ständer)

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

Sternschaltung: 



Für Rechnung:  
 $U_s, I_s = ?$

$$I_s = I_L$$

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

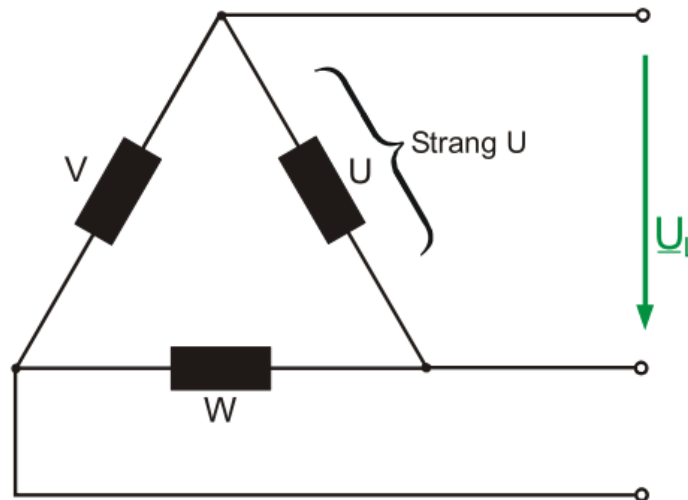
# Stern-Dreieckschaltung von Drehstromwicklungen

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

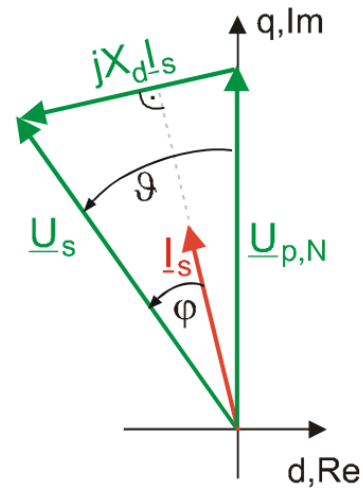
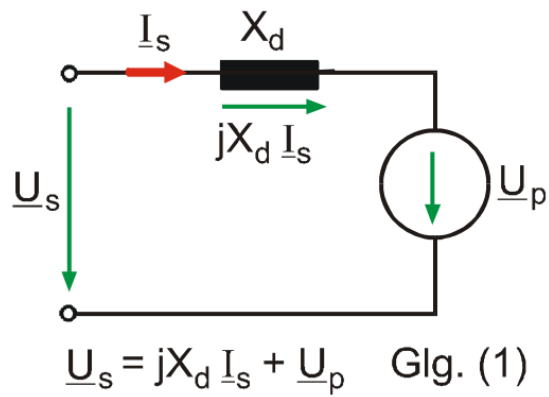
Eine zweipolige Vollpol-Synchronmaschine wird in Dreieckschaltung an einem 400V-50Hz-Drehstromnetz betrieben. Bei einem Nennerregerstrom von  $I_{f,N} = 2 \text{ A}$  beträgt die Polradspannung  $U_{p,N} = 393,5 \text{ V}$ . Für die Synchronreaktanzen  $X_d$  wurde durch eine Kurzschlussmessung der Wert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

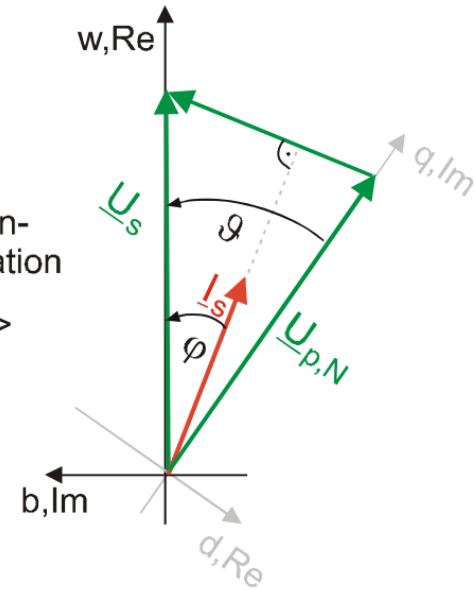
# Ersatzschaltbild

ESB ( $R_s = 0$ )

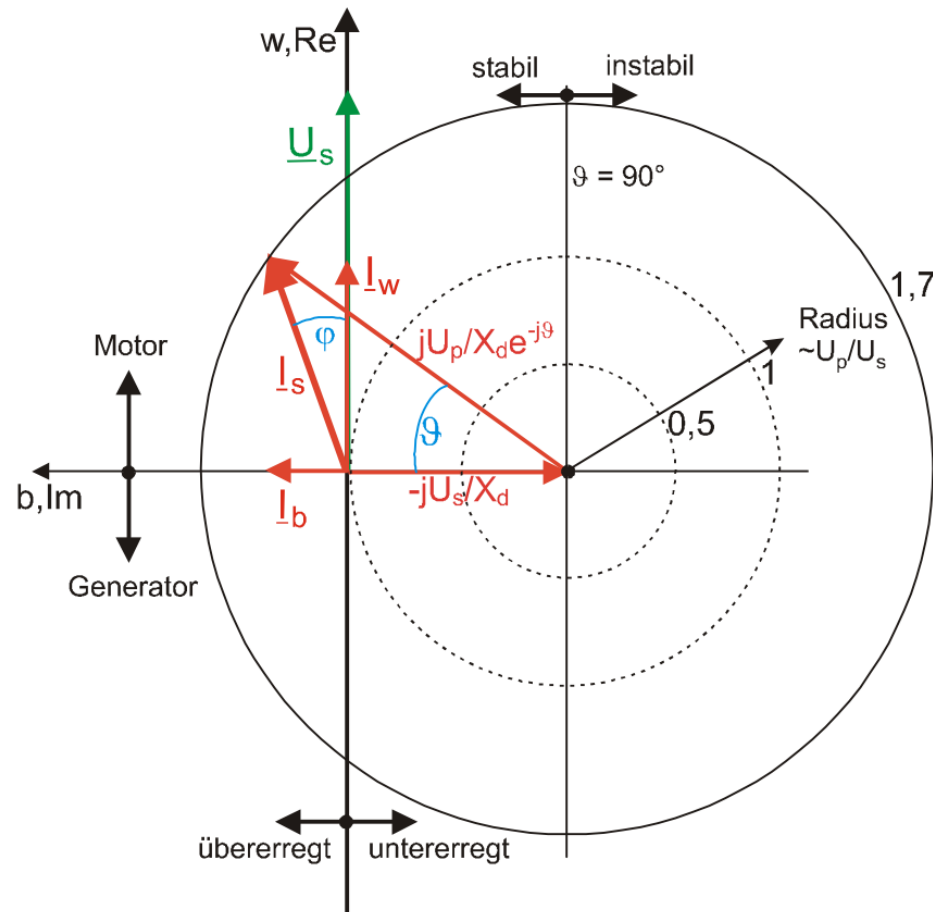


Koordinaten-  
Transformation

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



# Stromortskurve

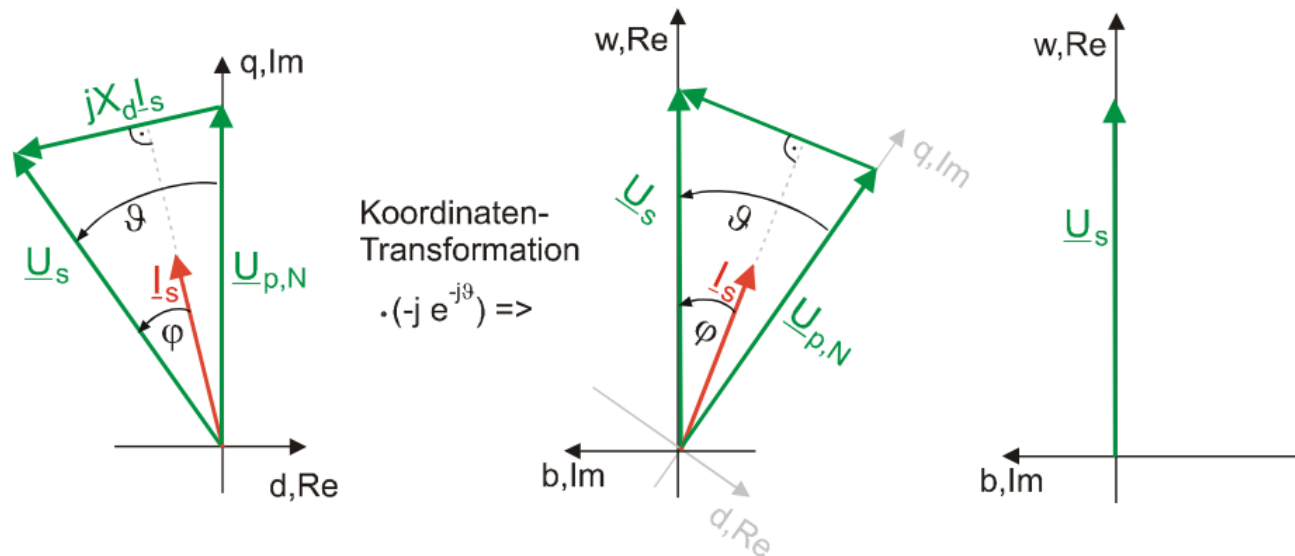


# Aufgabe 2.1

zu 2.1:  $\vartheta$ ,  $I_s$  und  $\varphi$  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

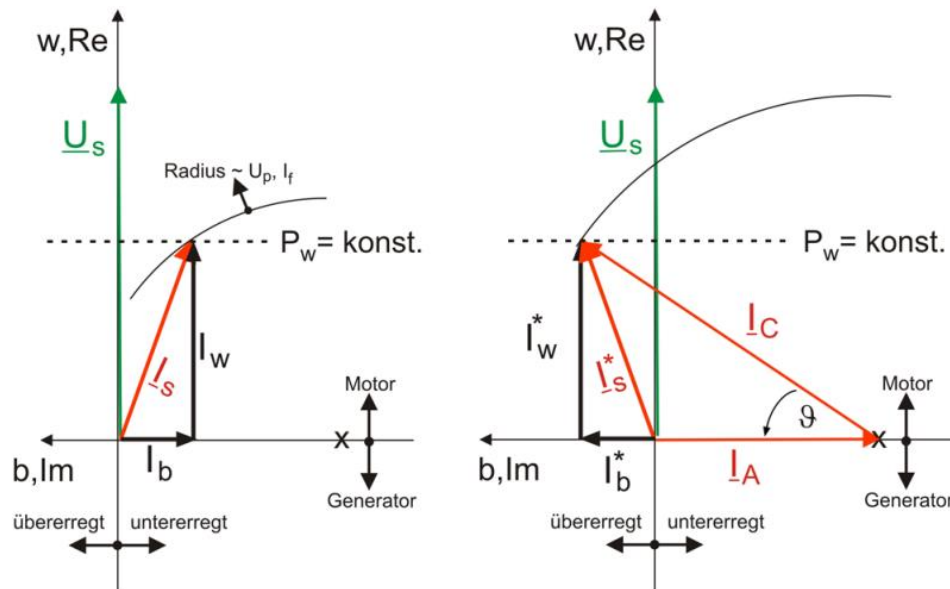
# Aufgabe 2.1

# Aufgabe 2.1



# Aufgabe 2.2

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



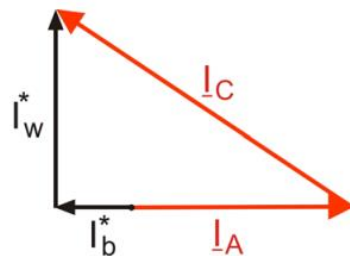
konstante Wirkleistung, aber übererregt:

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

Stromortskurve (siehe Skript):

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

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



## Aufgabe 2.2

## Aufgabe 2.3

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

