



Technische
Universität
Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen,
Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig



Grundlagen der elektrischen Energietechnik

Teil 2: Elektromechanische Energieumformung

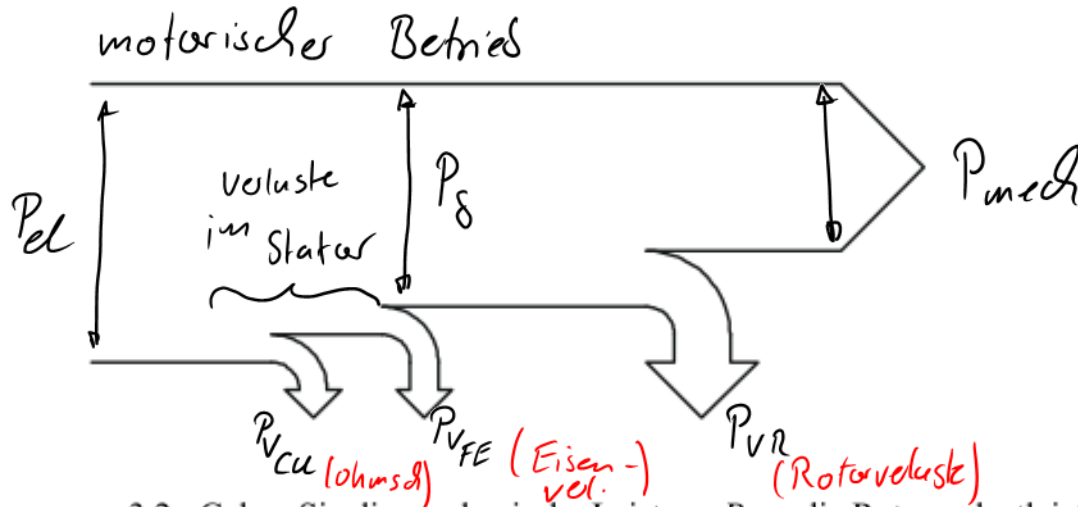
4. Übung: Asynchronmaschine

SoSe 2024

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

Aufgabe 3: Asynchronmaschine (Luftspaltleistung)

zu 3.1: Erläutern Sie kurz den Begriff Luftspaltleistung P_δ .



merke:

Schlupf s ist die maßgebliche Größe für die Aufteilung der Leistungen

zu 3.2: Geben Sie die mechanische Leistung P_{mech} , die Rotorverlustleistung P_{vr} sowie den Motor- und Generatorwirkungsgrad formelmäßig als Funktion des Schlupfes s und der Luftspaltleistung P_δ an ($R_s = 0$, $R_{Fe} \rightarrow \infty$).

$$P_{vr} = s \cdot P_\delta$$

$$P_{mech} = (1-s) \cdot P_\delta = (1-s) \cdot P_{el}$$

$P_{el} = P_\delta$

$P_{el} = P_\delta$ $P_{vcu} = P_{vfe} = 0$

Motor: $\eta_{mot} = \frac{P_{mech}}{P_{el}} = \frac{P_{el}(1-s)}{P_{el}} = 1-s$

Generator: $\eta_{gen} = \frac{P_{el}}{P_{mech}} = \frac{1}{1-s}$

Aufgabe 3: Asynchronmaschine (M/n-Diagramm)

Aufgabe

An einer 6-polige Käfigläufer-Asynchronmaschine wurden im Betrieb an einem 50 Hz-Drehstromnetz im Kippunkt folgende Daten gemessen:

- Kippmoment : $M_K = 286 \text{ Nm}$
- Drehzahl : $n_K = 900 \text{ min}^{-1}$

s_K - Kippschlupf (Schlupf im Kippunkt)

s - Schlupf im Betriebspunkt

n_0 - Synchron drehzahl (Schlupf = 0)

hier: $n_0 = \frac{f}{p} = \frac{50 \text{ Hz}}{3} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 1000 \frac{1}{\text{min}}$

Ermitteln Sie für die Drehzahlen $n = 0, 400, 800, 900, 950$ und 1000 min^{-1}

Das Drehmoment der Maschine (Hilfe: Kloss'sche Formel).

$$M = M_K \cdot \frac{2 \cdot s_K \cdot s}{s_K^2 + s^2} \quad s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

Skizzieren Sie mit diesen Werten als Stützstellen den Drehmoment-/Drehzahl-Verlauf dieser Maschine im ersten Quadranten des M/n-Diagramms kennzeichnen Sie die charakteristischen Punkte der Kurve.

Aufgabe 3: Asynchronmaschine (M/n-Diagramm)

$$f = n \cdot p = 900 \frac{1}{\text{min}} \cdot 3 \cdot \frac{\text{min}}{60\text{s}} = 45 \text{ Hz} < 50 \text{ Hz Netzfrequenz}$$

$$n_0 = \frac{f_0}{p} = \frac{50 \text{ Hz}}{3} \cdot \frac{60\text{s}}{\text{min}} = 1000 \frac{1}{\text{min}} \rightarrow s_k = \frac{n_0 - n_{11}}{n_0} = \frac{1000 \frac{1}{\text{min}} - 900 \frac{1}{\text{min}}}{1000 \frac{1}{\text{min}}} = 0,1 \hat{=} 10\%$$

Kloss'sche Formel: $M = M_{11} \cdot \frac{2 \cdot s_k \cdot s}{s_k^2 + s^2} \Leftrightarrow s = \frac{n_0 - n}{n_0}$

$$\underline{n = 0 \frac{1}{\text{min}}} \quad s_{n=0} = \frac{1000 \frac{1}{\text{min}} - 0 \frac{1}{\text{min}}}{1000 \frac{1}{\text{min}}} = 1 \quad (\text{Stillstand}) \quad M_{n=0} = 286 \text{ Nm} \cdot \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 1}{(0,1)^2 + 1^2} = 56,6 \text{ Nm}$$

$$n = 400 \frac{1}{\text{min}} \quad s_{n=400} = \frac{1000 \frac{1}{\text{min}} - 400 \frac{1}{\text{min}}}{1000 \frac{1}{\text{min}}} = 0,6 \quad M_{n=400} = 286 \text{ Nm} \cdot \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,6}{(0,1)^2 + 0,6^2} = 92,8 \text{ Nm}$$

↓ Rechenchema fortsetzen...

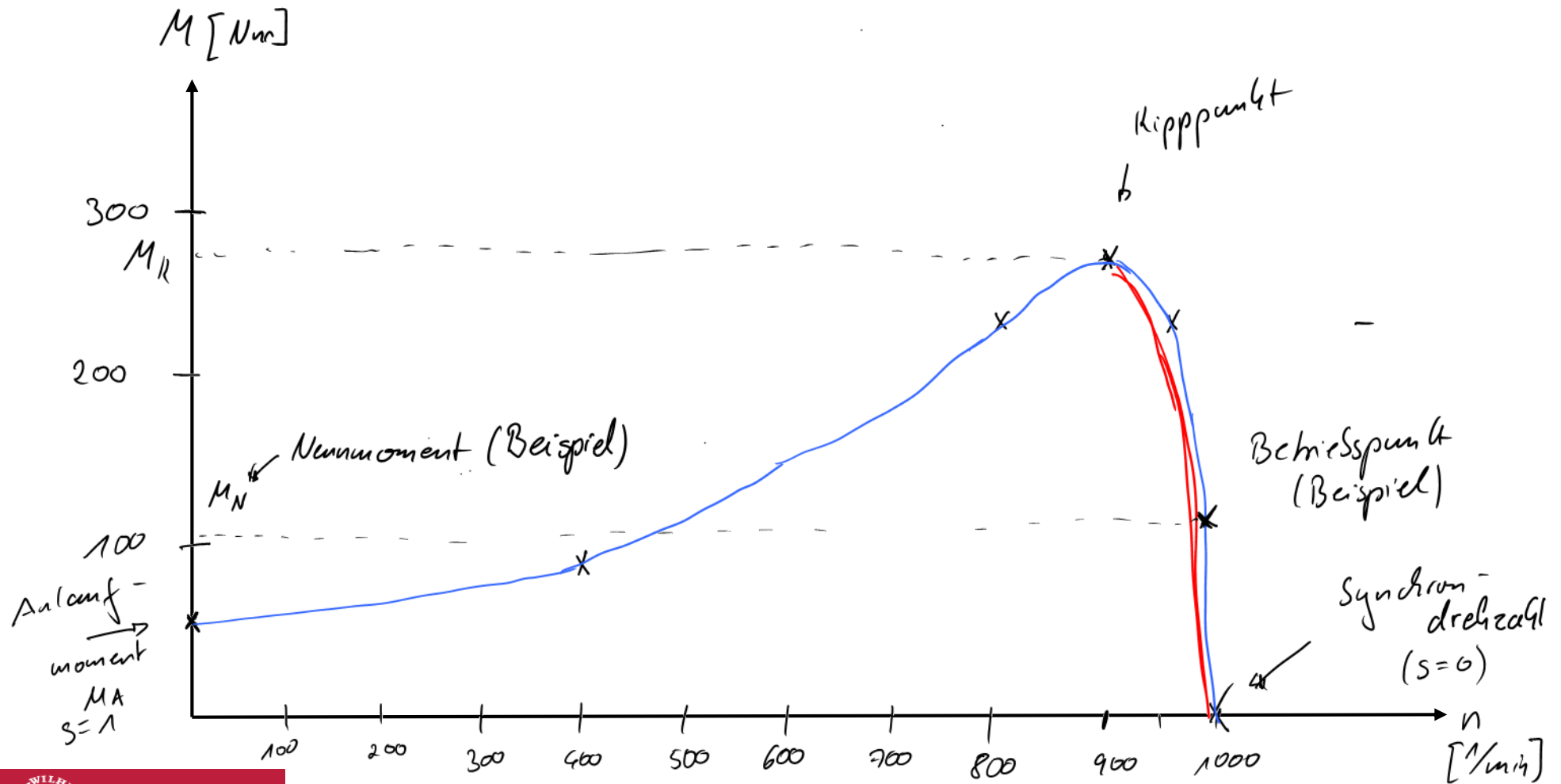
$$\underline{n = 800 \frac{1}{\text{min}}} \quad s_{n=800} = 0,2 \quad M_{n=800} = 228,8 \text{ Nm}$$

$$\underline{n = 900 \frac{1}{\text{min}}} \quad s_{n=900} = 0,1 \quad M_{n=900} = 286 \text{ Nm}$$

$$\underline{n = 950 \frac{1}{\text{min}}} \quad s_{n=950} = 0,05 \quad M_{n=950} = 228,8 \text{ Nm}$$

$$\underline{n = 1000 \frac{1}{\text{min}}} \quad s_{n=1000} = 0 \quad M_{n=1000} = 0$$

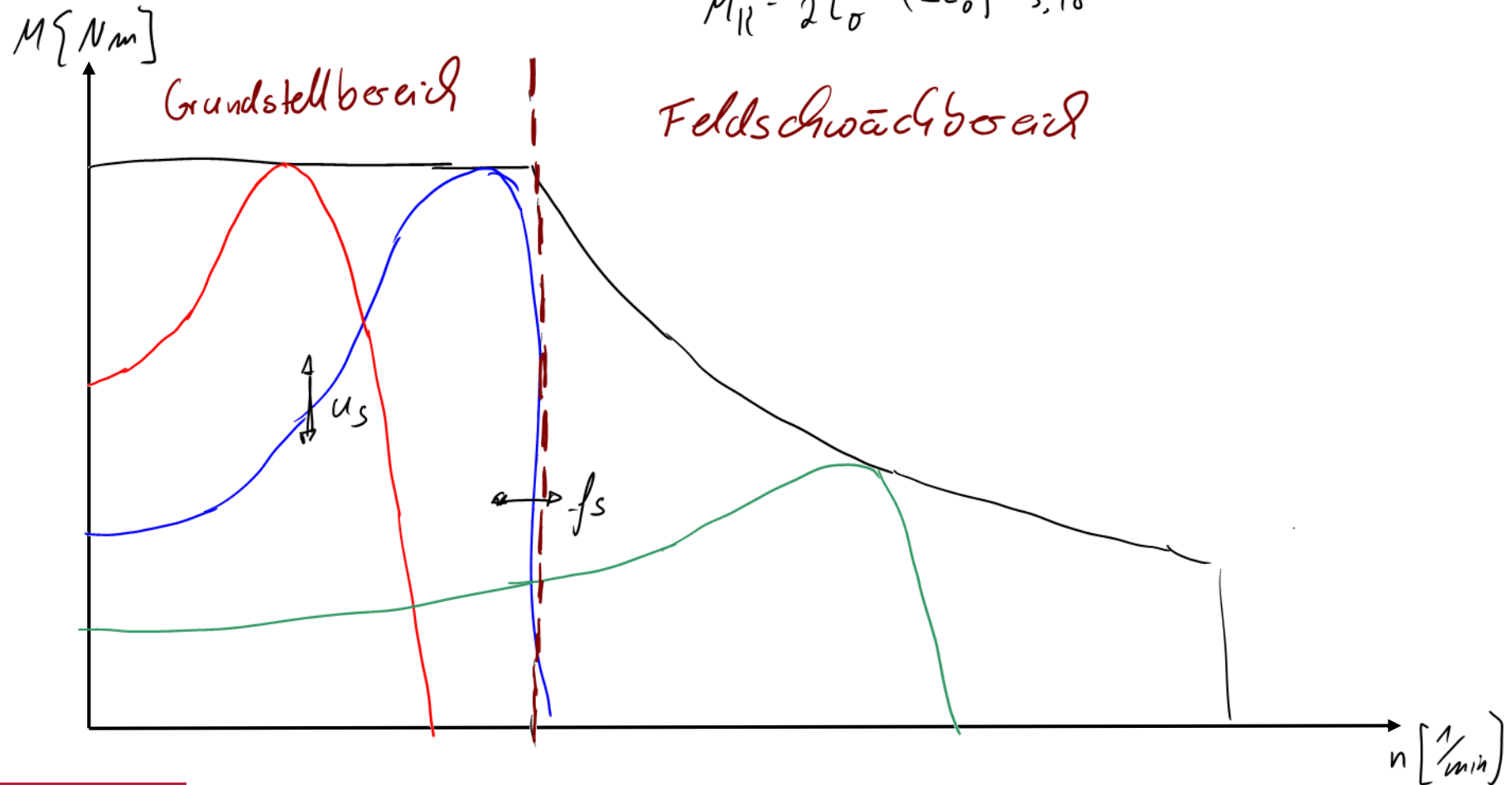
Aufgabe 3: Asynchronmaschine (M/n-Diagramm)



Aufgabe 3: Asynchronmaschine (Kennfeld)

Zusammenhang M/n-Diagramm und Kennfeld:

$$M_{12} = \frac{3 \cdot p}{2 L_0} \cdot \left(\frac{u_s}{\sqrt{L_0}} \right)^2 \quad \begin{matrix} \text{Skript} \\ 5,48 \end{matrix}$$



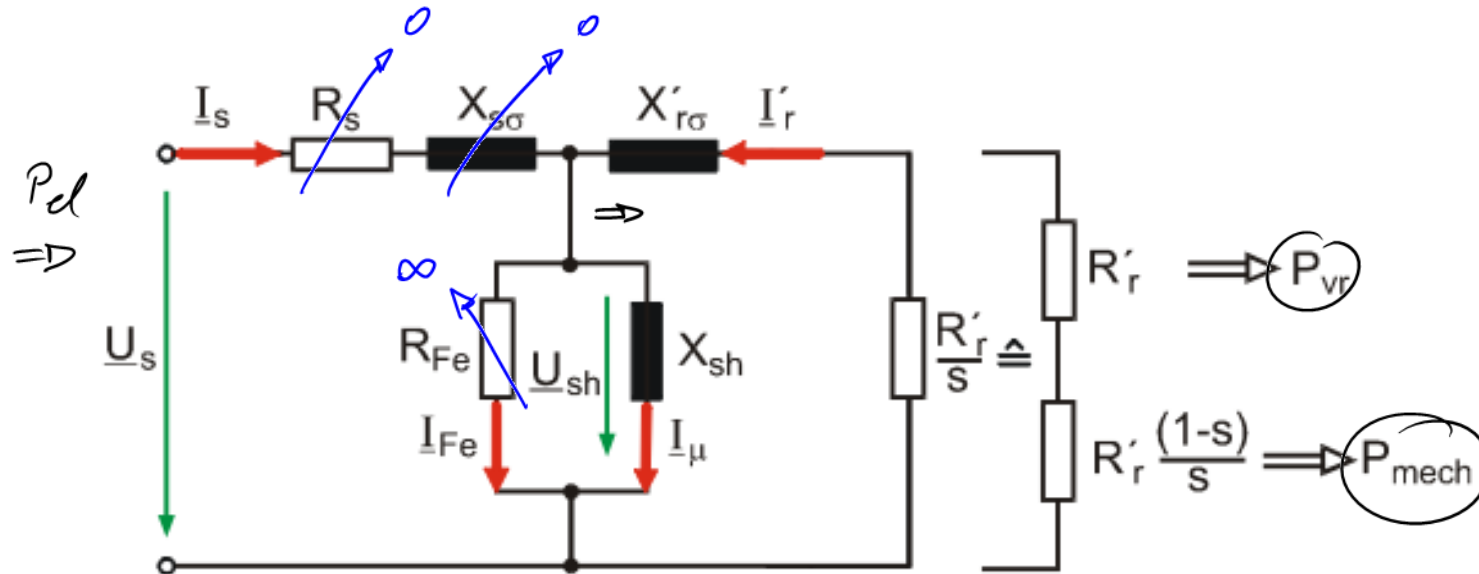
Asynchronmaschine (ESB, Statorstromortskurve)

Aufgabe

Skizzieren Sie die Statorstromortskurve einer Asynchronmaschine (vereinfachtes ESB) und tragen Sie markante Punkte und Bereiche ein

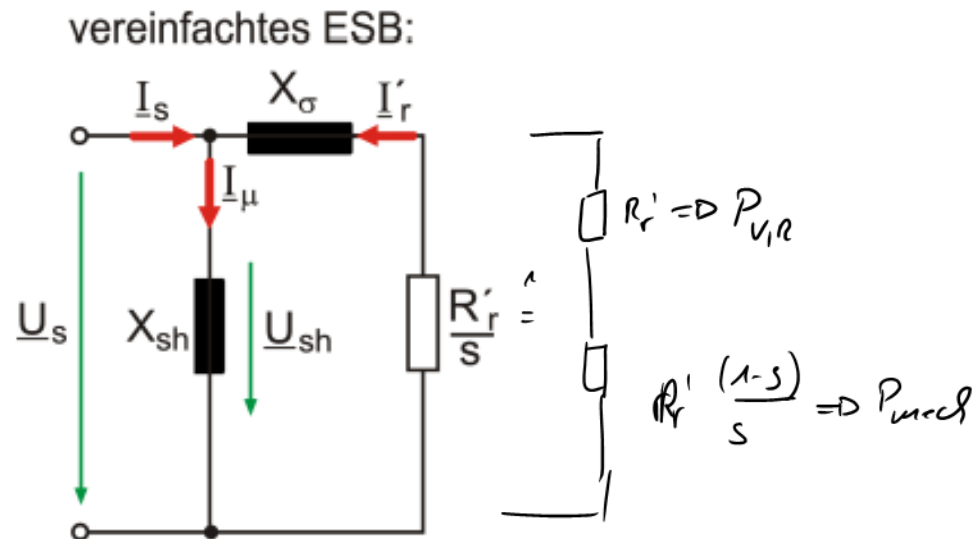
Ersatzschaltbild Asynchronmaschine

allg. ESB der Asynchronmaschine (Kurzschlussläufer):



Statorstromortskurve

zu 3.3: Skizzieren Sie die Statorstromortskurve einer Asynchronmaschine (vereinfachtes ESB) und tragen Sie markante Punkte und Bereiche ein.



Annahmen:

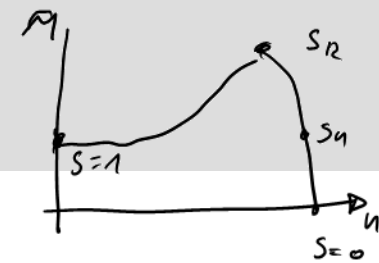
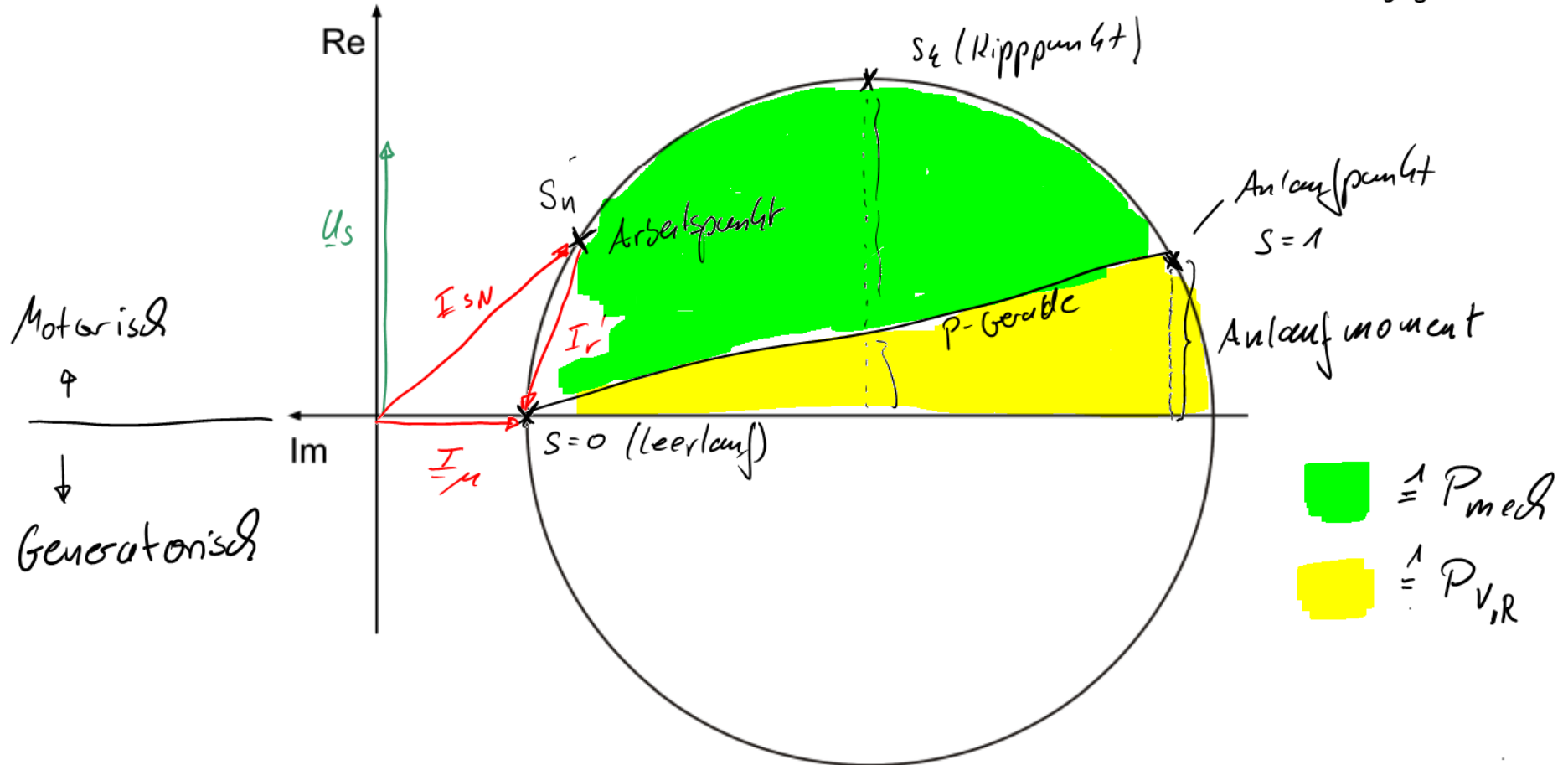
- $U_r' = 0$ (Kurzschlussläufer)
- $R_{FE} \rightarrow \infty$ (keine Wirbelstromverl.)
- $R_s = 0$ (ohmsche Verluste sehr gering)

$$\underline{I}_S + \underline{I}_r' = \underline{I}_\mu$$

$$\rightarrow \underline{I}_S = \underline{I}_M - \underline{I}_R'$$

Statorstromortskurve

Statorstromortskurve



Berechnung Asynchronmaschine

Eine dreisträngige Käfigläufer-Asynchronmaschine wird in Dreieckschaltung an einem 500V-50Hz-Drehstromnetz betrieben. Das Typenschild weist folgende Daten auf:

Nennspannung:	$U_{s,N} = 500 \text{ V}$
Nennstrom:	$I_{s,N} = 21,95 \text{ A}$
Nennleistungsfaktor:	$\cos \varphi_N = 0,865$
Nennzahl:	$n_N = 950 \text{ min}^{-1}$

Im Kippunkt wird eine Drehzahl $n_k = 897 \text{ min}^{-1}$ gemessen. Der Statorwiderstand sowie Eisen-, Reibungs- und Zusatzverluste können vernachlässigt werden.

$$\hookrightarrow P_d = P_g$$

zu 3.4: Ermitteln Sie die Polpaarzahl p , den Nennschlupf s_N und das Nennmoment M_N .

$$n = \frac{f}{p} = \frac{50 \text{ Hz}}{p} \cdot \frac{60 \text{ s}}{\text{min}}$$

$$n_n < n_0$$

$$s_n = \frac{1000 \frac{1}{\text{min}} - 950 \frac{1}{\text{min}}}{1000 \frac{1}{\text{min}}} = \underline{\underline{0,05}}$$

p	$n @ 50 \text{ Hz}$
1	3000 $\frac{1}{\text{min}}$
2	1500 $\frac{1}{\text{min}}$
3	1000 $\frac{1}{\text{min}}$
4	750 $\frac{1}{\text{min}}$

$$\Rightarrow \underline{\underline{p = 3}}$$

$$M_n = ?$$

$$M_N = \frac{P_{\text{mech}}}{\Omega_N} = \frac{P_{\text{mech}}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{P_{\text{mech}}}{2\pi \cdot \frac{950}{60} \cdot s^{-1}}$$

$$P_g = P_{cl} = m_s \cdot U_{sN} \cdot I_{sN} \cdot \cos(\varphi) = 3 \cdot 500V \cdot 21,95A \cdot 0,865 \\ = 28480W$$

$$P_{\text{mech}} = P_g(1-s) = P_{cl}(1-s) = 28480W \cdot (1-0,05) = \underline{\underline{27.056W}}$$

$$\rightarrow M_N = \underline{\underline{271,9 Nm}}$$

Berechnung Asynchronmaschine

zu 3.5: Ermitteln Sie den Kippschlupf s_k und das Kippmoment M_k .

Kloss'sche Formel:
$$M_k = M_N \cdot \frac{s_k^2 + s_N^2}{2 \cdot s_N \cdot s_k}$$

$$s_k = \frac{n_0 - n_k}{n_0} = \frac{1000 \frac{1}{\text{min}} - 897 \frac{1}{\text{min}}}{1000 \frac{1}{\text{min}}} = 0,103$$
$$\stackrel{!}{=} 10,3\%$$

$$M_k = 271,9 \text{ Nm} \cdot \frac{0,103^2 + 0,05^2}{2 \cdot 0,103 \cdot 0,05}$$

$$= \underline{\underline{346 \text{ Nm}}}$$