

Grundlagen elektromagnetischer Energiewandlung

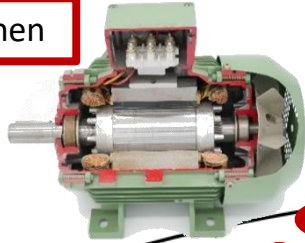
Übung 8: SOK der Induktionsmaschine



4. Induktionsmaschinen

Stromortskurve

Drehmomenten-
Drehzahlkennlinie



2. Wicklung und Felder

Zonenplan

Wickelübung

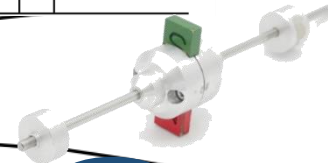
Reaktanzen und induzierte Spannungen



3. Synchronmaschinen

Zeigerbilder

Leerlauf und Kurzschluss



1. Gleichstrommaschinen

Reihen- und Nebenschlussmaschine

Kennlinien und Drehzahlstellung



IV Kurzklausur

III Kurzklausur

II Kurzklausur

I Kurzklausur

9.



7.

6.

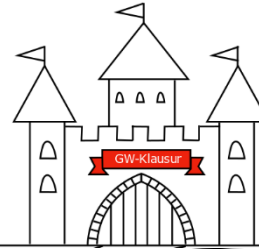
5.

4.

3.

2.

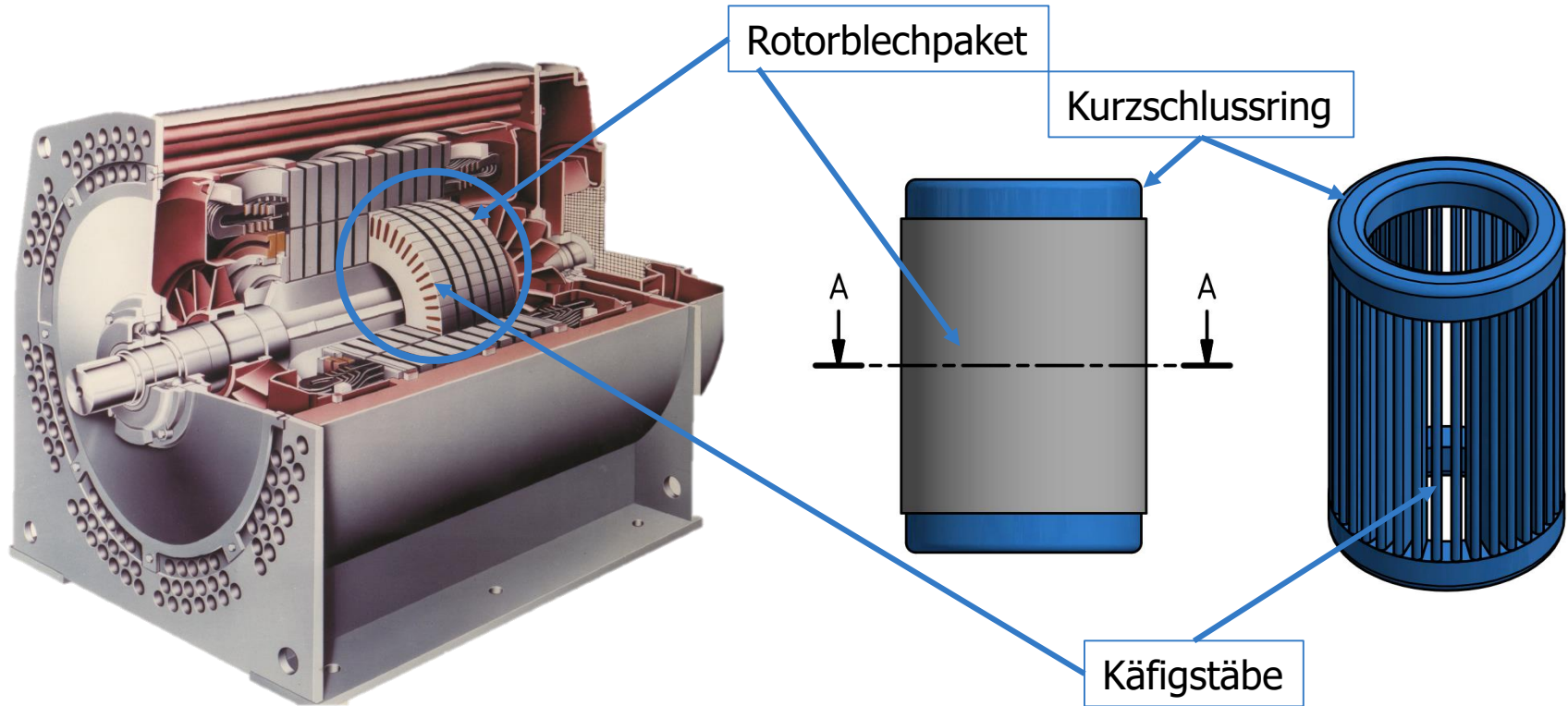
1.



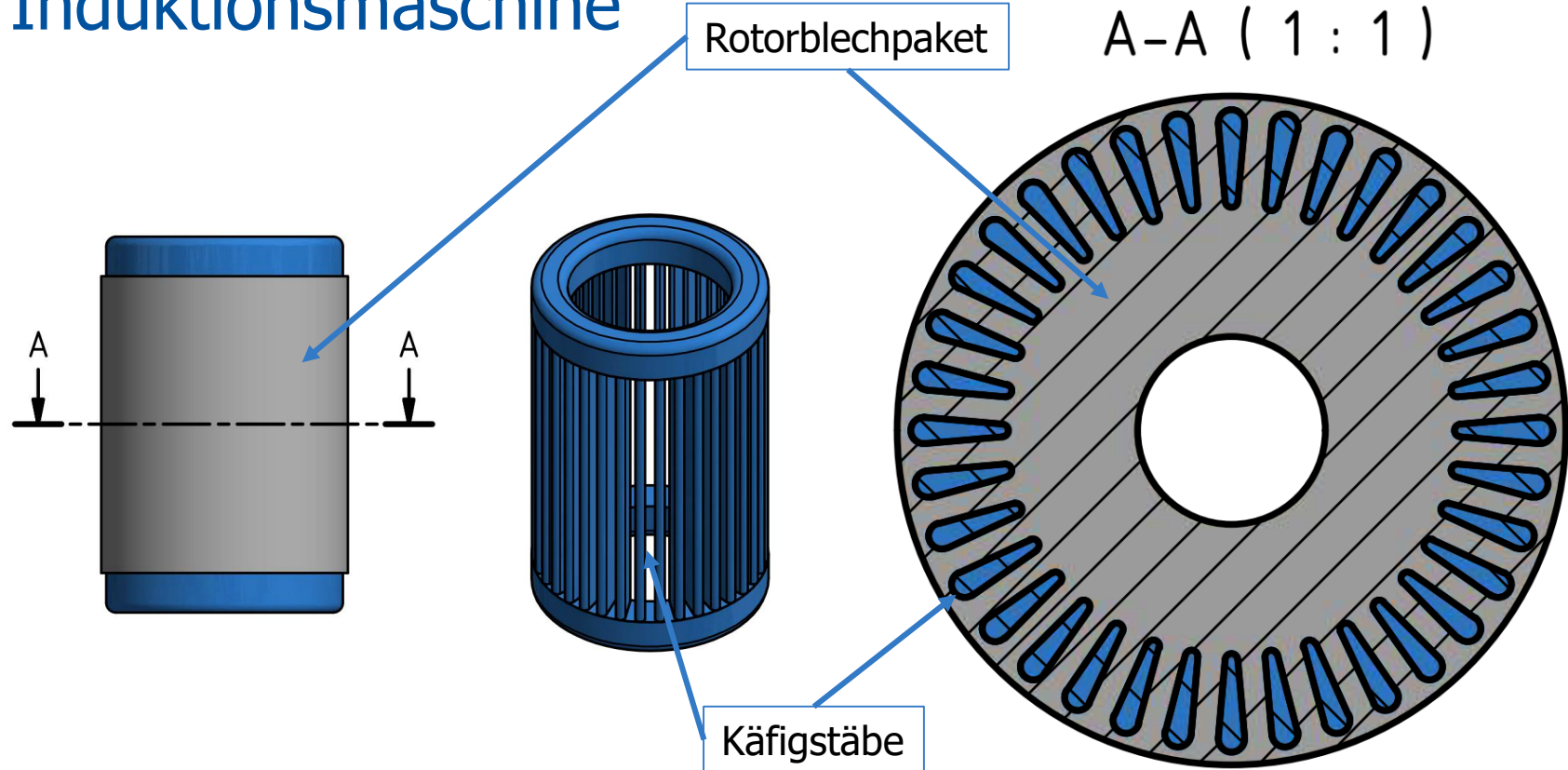
Übungsablauf

- Allgemeines zur Induktionsmaschine (IM) (10 min)
- Berechnung von Parametern der IM (20 min)
- Zeichnen der SOK und Herausstellen der Kenngrößen (50 min)

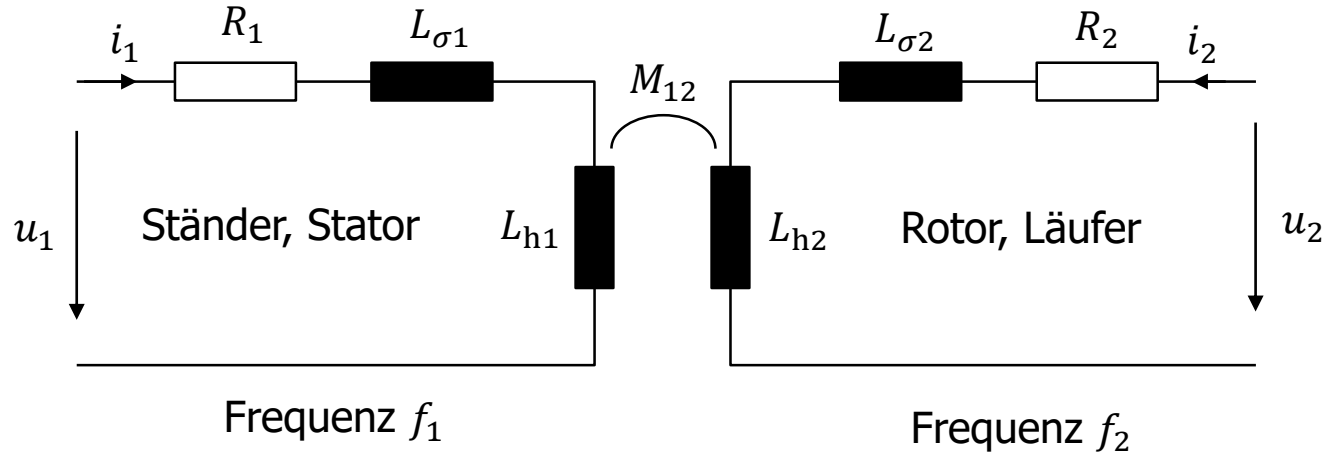
Induktionsmaschine



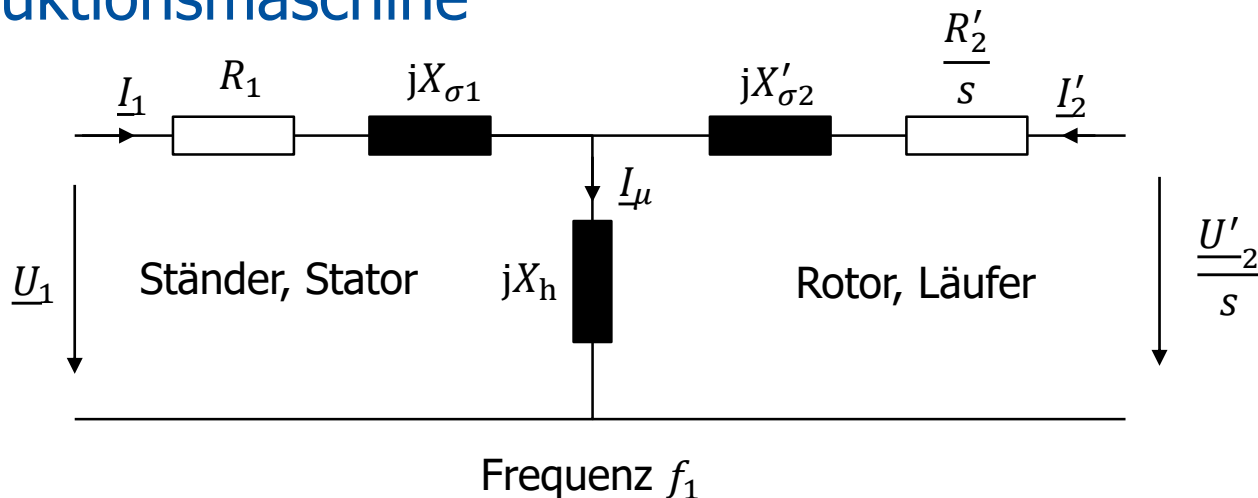
Induktionsmaschine



Induktionsmaschine



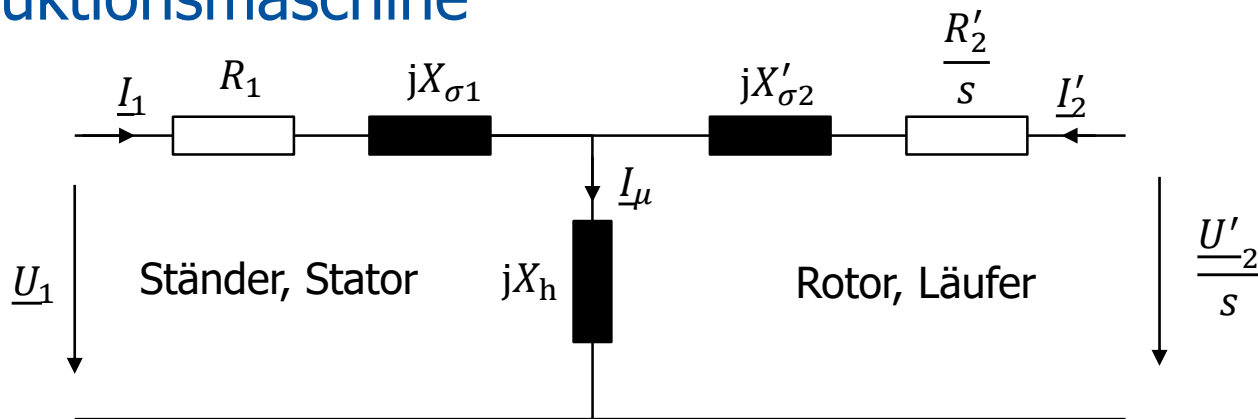
Induktionsmaschine



Synchrone Drehzahl
(Lastfrei, $M = 0$)

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \frac{n}{n_0} = \frac{\frac{f_1}{p} - \frac{f_1 - f_2}{p}}{\frac{f_1}{p}} = \frac{f_2}{f_1}$$

Induktionsmaschine

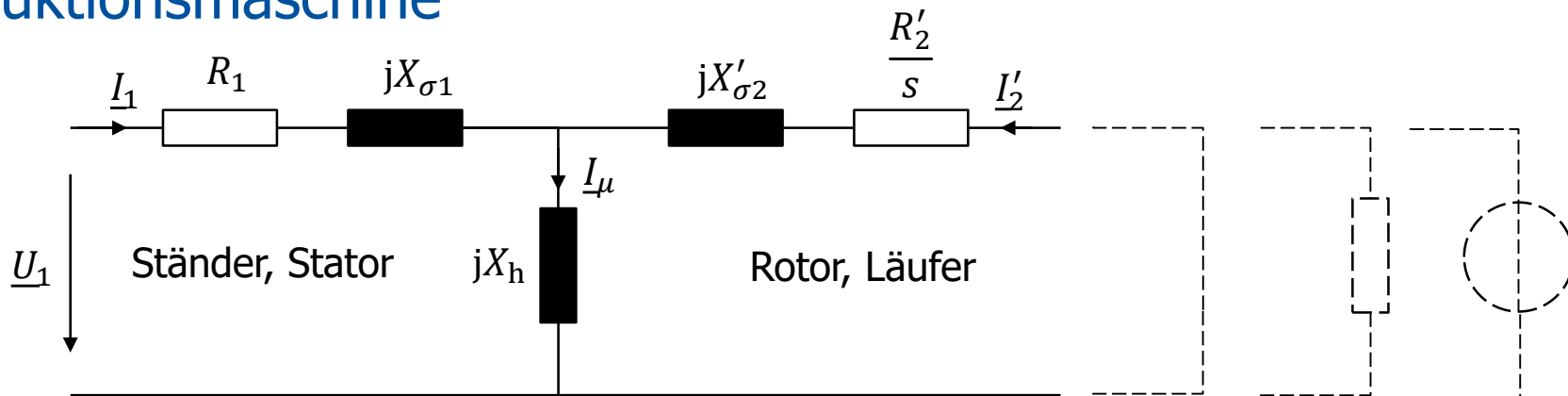


$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \frac{n}{n_0}$$

$$= \frac{\frac{f_1}{p} - \frac{f_1 - f_2}{p}}{\frac{f_1}{p}} = \frac{f_2}{f_1}$$

Drehzahl	Schlupf	Betrieb
$0 < n < n_0$	$0 < s < 1$	Untersynchronismus (Normalbetrieb)
$n = n_0$	$s = 0$	Synchronismus, Leerlauf
$n = 0$	$s = 1$	Stillstand
$n < 0$	$s > 1$	Lauf gegen das Drehfeld
$n > n_0$	$s < 0$	Übersynchronismus

Induktionsmaschine



Frequenz f_1

Kurzschluss → Käfigläufer
(rotorseitiger Kurzschluss)

Kurzschluss, Widerstand oder externe Spannungsquelle → Schleifringläufer
(externer Anschluss am Motor)

Aufgabe 1 Berechnen Sie,

- die Polpaarzahl p
- die Bemessungsleistung P_N
- das Kippmoment: M_{kipp}
- den Kippschlupf: s_{kipp}

Hinweis: Kloss'sche Formel verwenden (FS. Seite 16)

6 min.

Aufgabe 1

- Polpaarzahl: $p = \frac{f_1}{n_0} = 2$
- Bemessungsleistung: Motor $\rightarrow P_N = 2\pi \cdot M_N \cdot n_N = 254,00 \text{ kW}$
- Kippmoment: $\ddot{u}_M = \frac{M_{\text{kipp}}}{M_N} \rightarrow M_{\text{kipp}} = M_N \cdot \ddot{u}_M = 4290 \text{ Nm}$
- Kippschlupf: Kloss'sche Formel

$$\frac{M_i}{M_{i,\text{kipp}}} = \frac{2}{\frac{s_{\text{kipp}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{kipp}}}}$$

Aufgabe 1

- Kippschlupf: Kloss'sche Formel (Annahme $R_1 = 0$)

$$\frac{M_i}{M_{i,kipp}} = \frac{2}{\frac{s_{kipp}}{s} + \frac{s}{s_{kipp}}} \rightarrow \frac{M_i}{M_{i,kipp}} \cdot \left(\frac{s_{kipp}}{s} + \frac{s}{s_{kipp}} \right) = 2 \quad | - 2, \quad \cdot s_{kipp}$$

$$\frac{M_i}{M_{i,kipp}} \cdot \left(\frac{s_{kipp}^2}{s} + s \right) - 2s_{kipp} = 0 \rightarrow s_{kipp}^2 - s_{kipp} \cdot 2s \cdot \frac{M_{i,kipp}}{M_i} + s^2 = 0$$

$$\text{mit } s = s_N, M_i = M_N \rightarrow s_{kipp_{1,2}} = +s_N \cdot \frac{M_{i,kipp}}{M_N} \pm \sqrt{\left(s_N \cdot \frac{M_{i,kipp}}{M_N} \right)^2 - s_N^2}$$

pq-Formel

Aufgabe 1

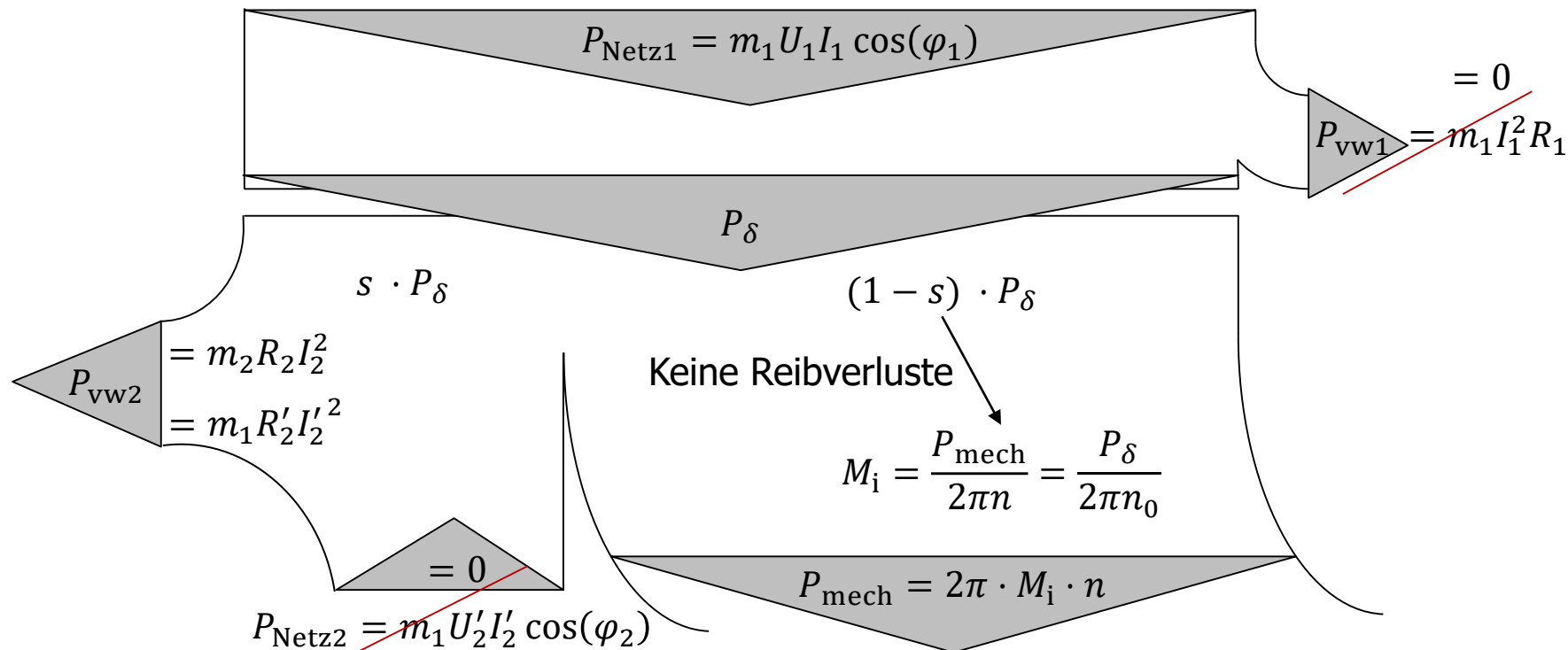
- Kippschlupf: Kloss'sche Formel (Annahme $R_1 = 0$)

$$\text{mit } s = s_N, M_i = M_N \rightarrow s_{\text{kipp}_{1,2}} = +s_N \cdot \frac{M_{i,\text{kipp}}}{M_N} \pm \sqrt{\left(s_N \cdot \frac{M_{i,\text{kipp}}}{M_N}\right)^2 - s_N^2}$$

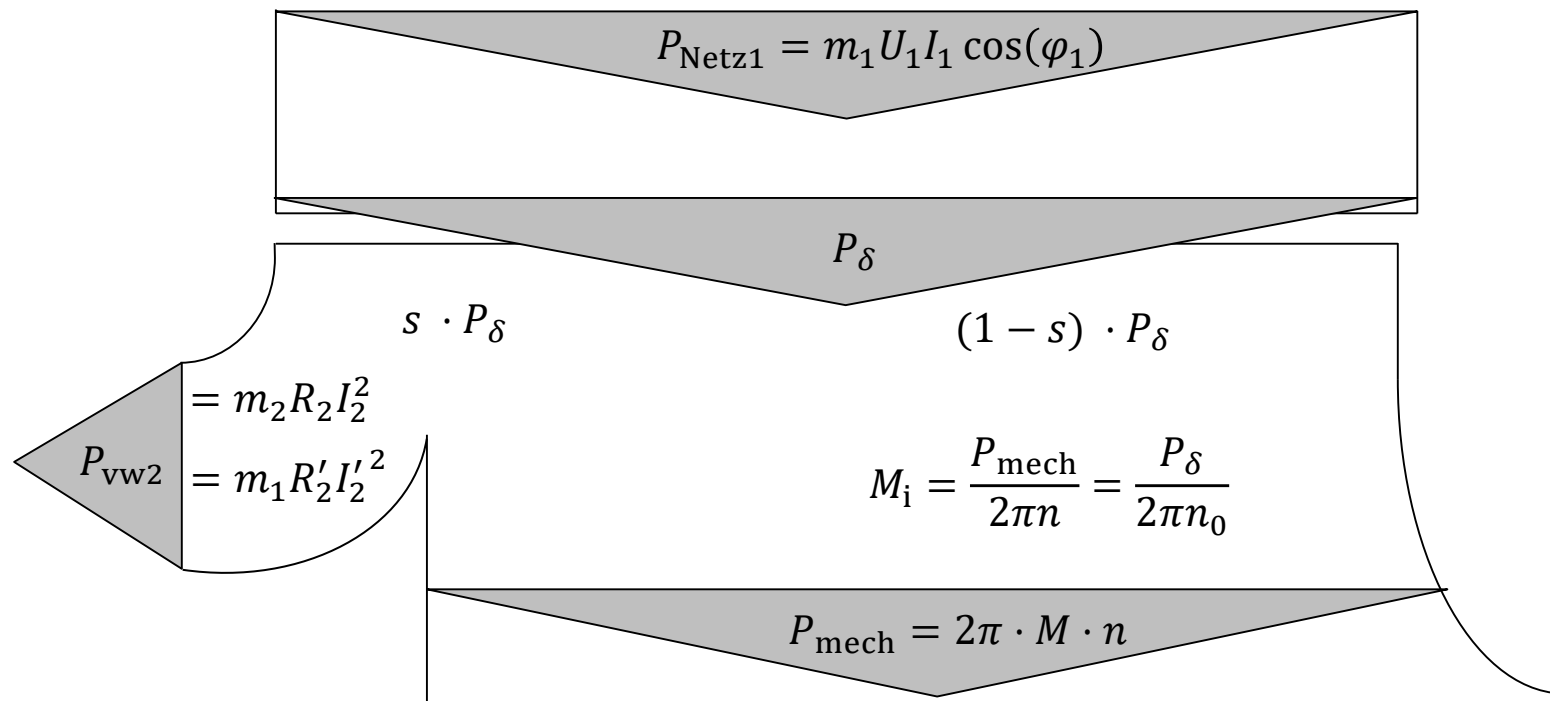
$$s_{\text{kipp}_1} = 0,1 > s_N \rightarrow \text{Kippschlupf}$$

$$s_{\text{kipp}_2} = 0,004 < s_N \rightarrow \text{keine Lösung}$$

Aufgabe 2 – Leistungsfaktor $\cos(\varphi_{\text{kipp}})$ berechnen



Aufgabe 2 – Leistungsfaktor $\cos(\varphi_{\text{kipp}})$



Aufgabe 2 – Phasenwinkel $\varphi_{1,\text{kip}}$

- Berechnen Sie den Phasenwinkel $\varphi_{1,\text{kip}}$
- Hinweis: $I_{1,\text{kip}} = 192 \text{ A}$, $R_1 = 0$

Bisher berechnet:

$$p = 2$$

$$P_N = 254 \text{ kW}$$

$$M_{\text{kip}} = 4290 \text{ Nm}$$

$$s_{\text{kip}} = 0,1$$

10 min.

Aufgabe 2 – Leistungsfaktor $\cos(\varphi_{\text{kipp}})$

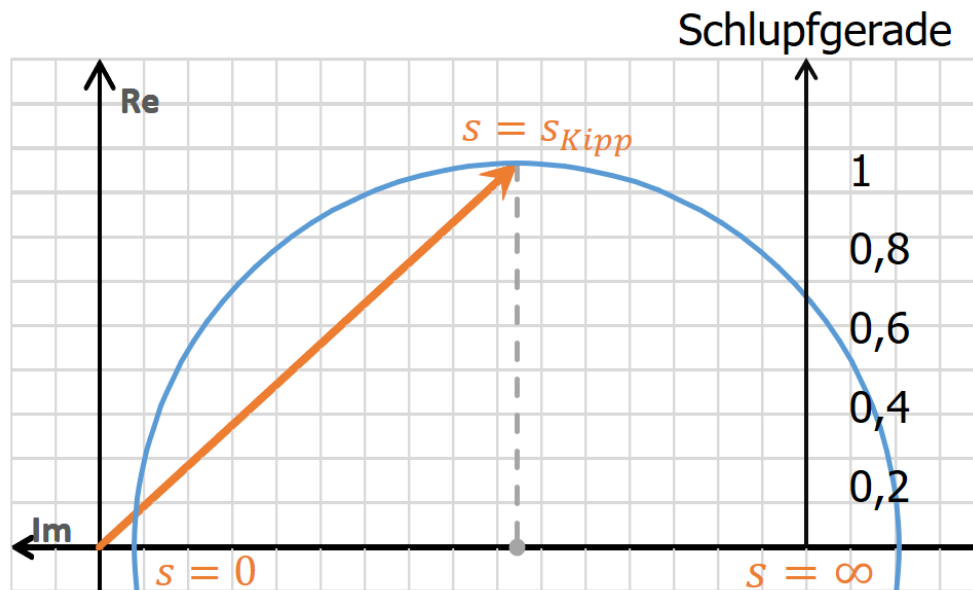
- $P_{\text{Netz1,kipp}} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{1,\text{kipp}} \cdot \cos(\varphi_{\text{kipp}}) = P_{\delta,\text{kipp}}$
- $P_{\delta,\text{kipp}} = 2\pi \cdot M_{\text{kipp}} \cdot n_0 = 673,87 \text{ kW}$
- $\cos(\varphi_{\text{kipp}}) = \frac{P_{\delta,\text{kipp}}}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{1,\text{kipp}}} = \frac{673,87 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 3000 \text{ V} \cdot 192 \text{ A}} = 0,675$
- $\rightarrow \arccos(0,675) = 47,51^\circ \rightarrow \text{motorisch induktiv beachten !}$
- $\rightarrow \varphi_{\text{kipp}} = 47,51^\circ$

Aufgabe 3: Konstruktion der SOK des Statorstroms

Geometrischer Ort des Stroms
für verschiedene Schlupfwerte

Vorgehen:

- 1) Bekannten Stromzeiger zeichnen
- 2) Radius der SOK bestimmen
- 3) Schlupfgerade zeichnen und m.H. bekannter Punkte parametrisieren



Eine Schlupfgerade kann an jedem beliebigen Ort konstruiert werden. Sie muss jeweils entsprechend parametrisiert werden.

Aufgabe 3: Konstruktion der SOK des Statorstroms

Vorgehen:

- 1) Bekannten Stromzeiger zeichnen
- 2) Radius der SOK bestimmen
- 3) Schlupfgerade zeichnen und m.H. eines bekannten Punktes parametrisieren

Bekannt:

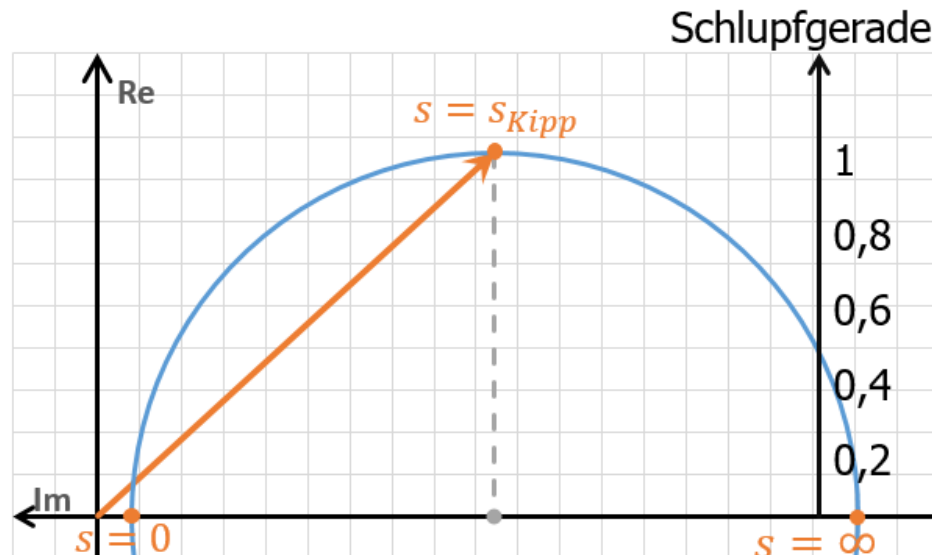
$$I_{1,\text{kip}} = 192 \text{ A}$$

$$s_{\text{kip}} = 0,1$$

$$\cos(\varphi_{\text{kip}}) = 0,675$$

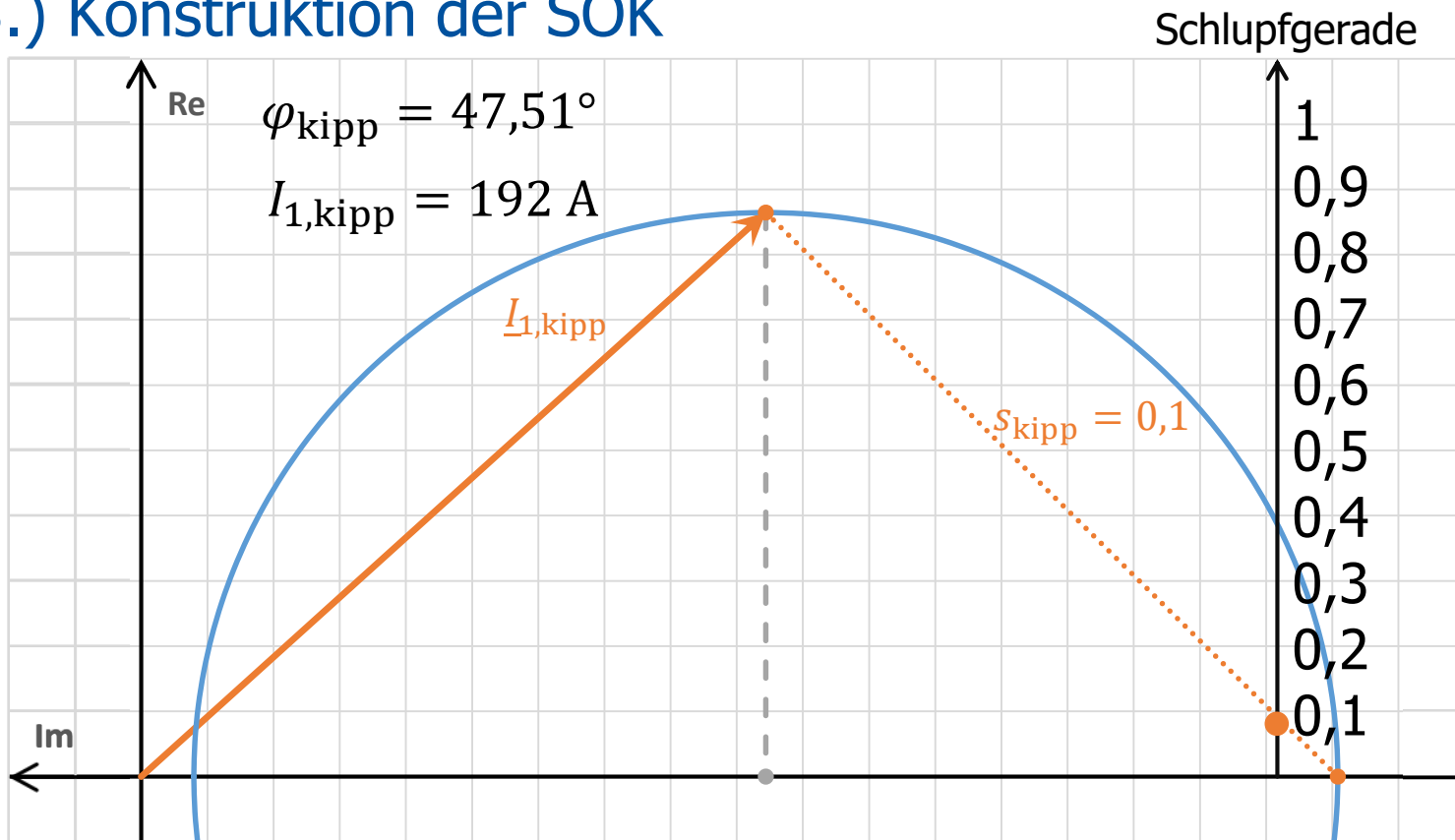
$$\varphi_{\text{kip}} = 47,51^\circ$$

$$P_{\delta,\text{kip}} = 673,87 \text{ kW}$$

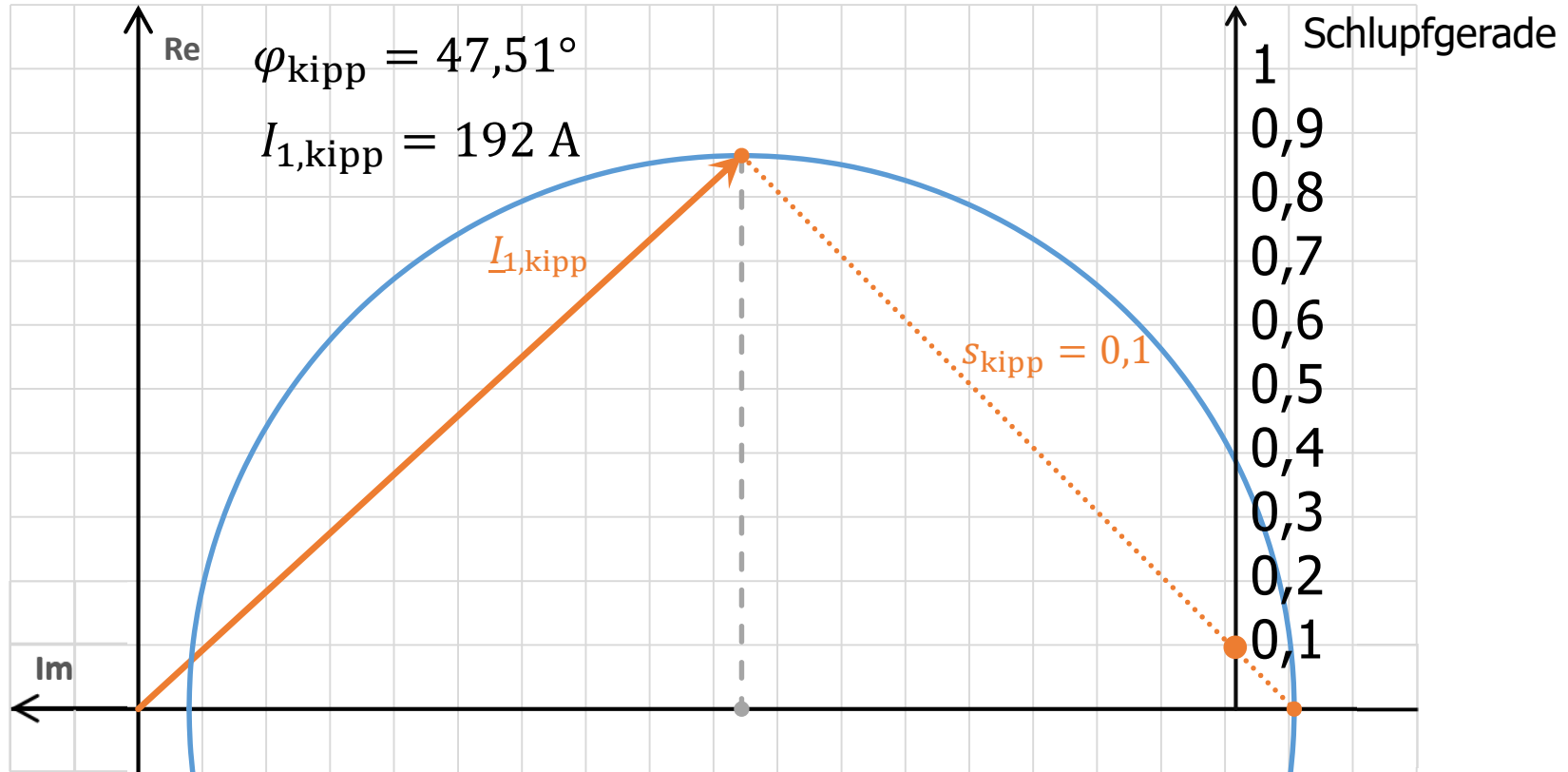


10 min.

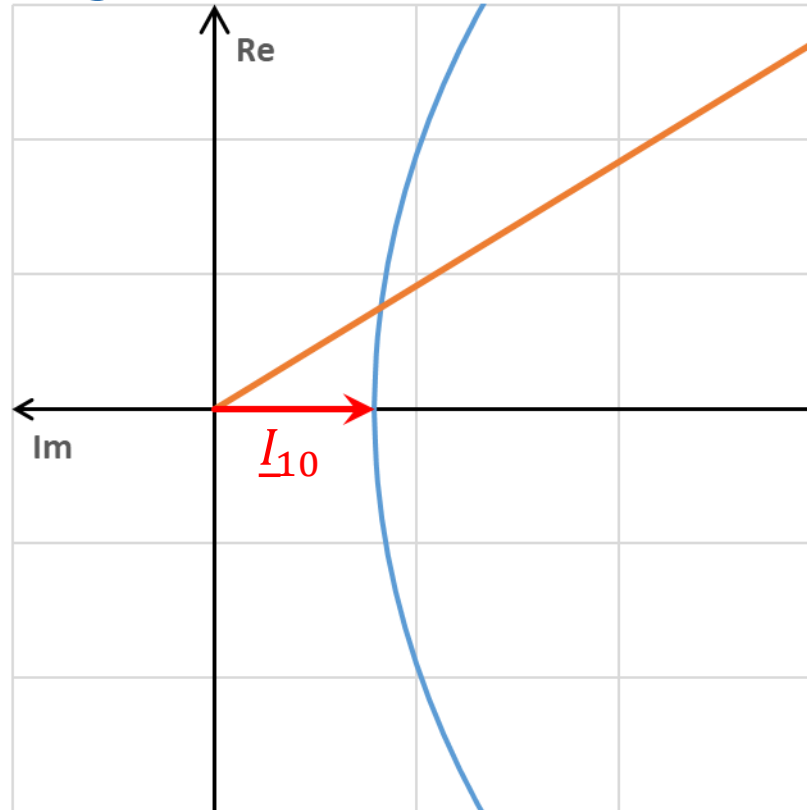
Zu 3.) Konstruktion der SOK



Aufgabe 4: Bestimmung des Leerlaufstroms aus der SOK

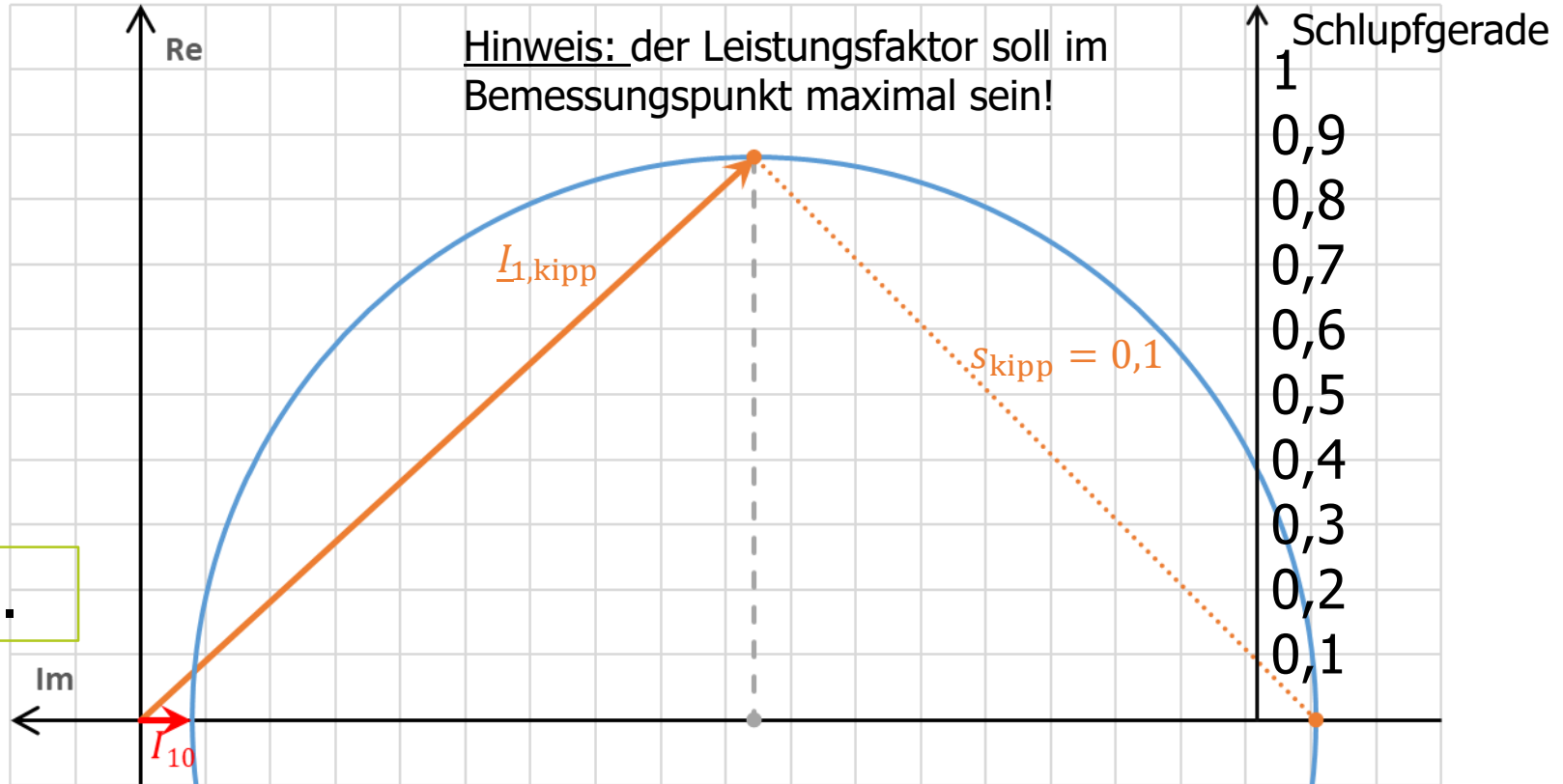


Zu 4.) Bestimmung des Leerlaufstroms

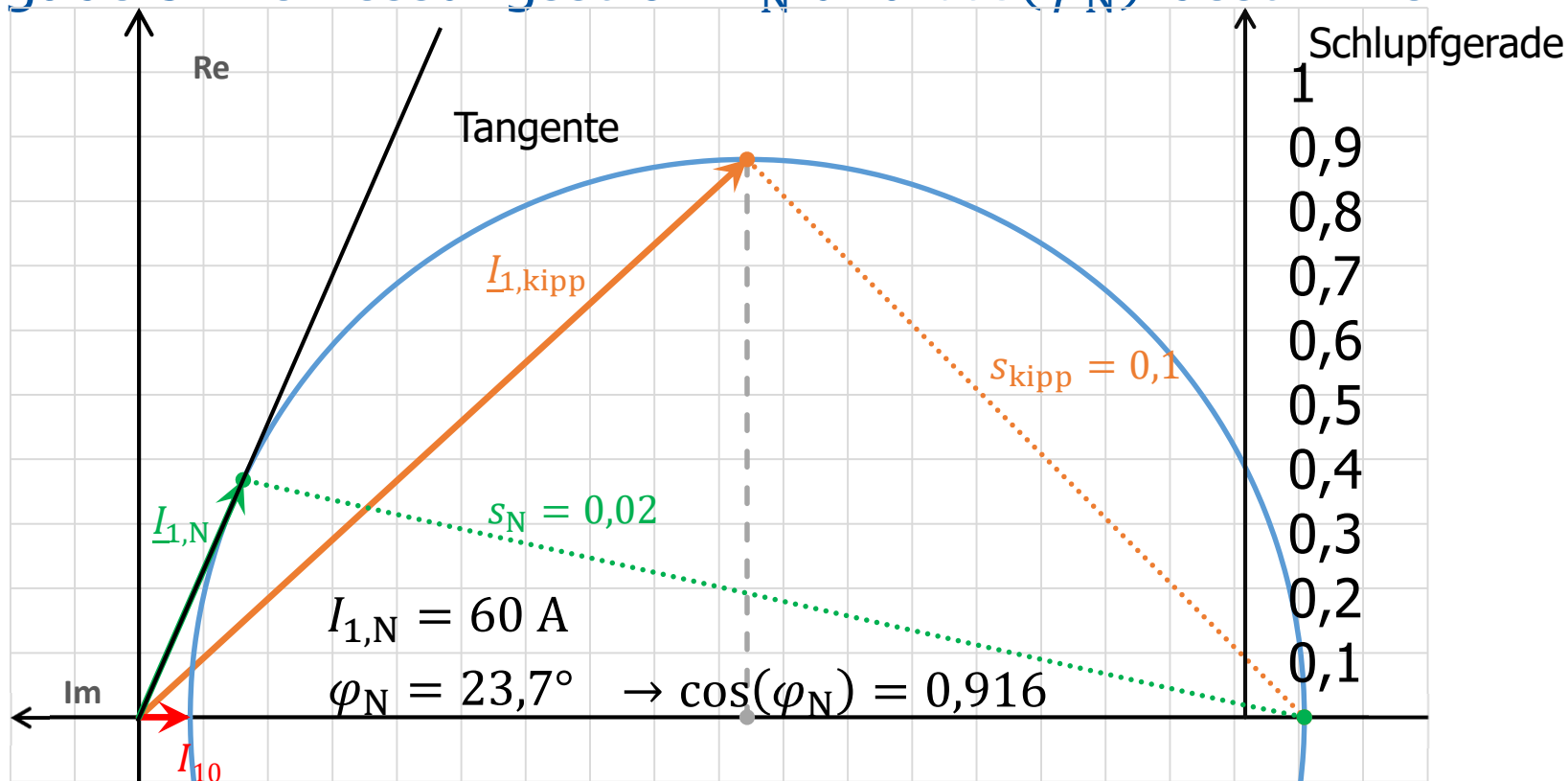


$$I_{10} = 11,9 \text{ A}$$

Aufgabe 5: Bemessungsstrom I_N und $\cos(\varphi_N)$ bestimmen



Aufgabe 5: Bemessungsstrom I_N und $\cos(\varphi_N)$ bestimmen

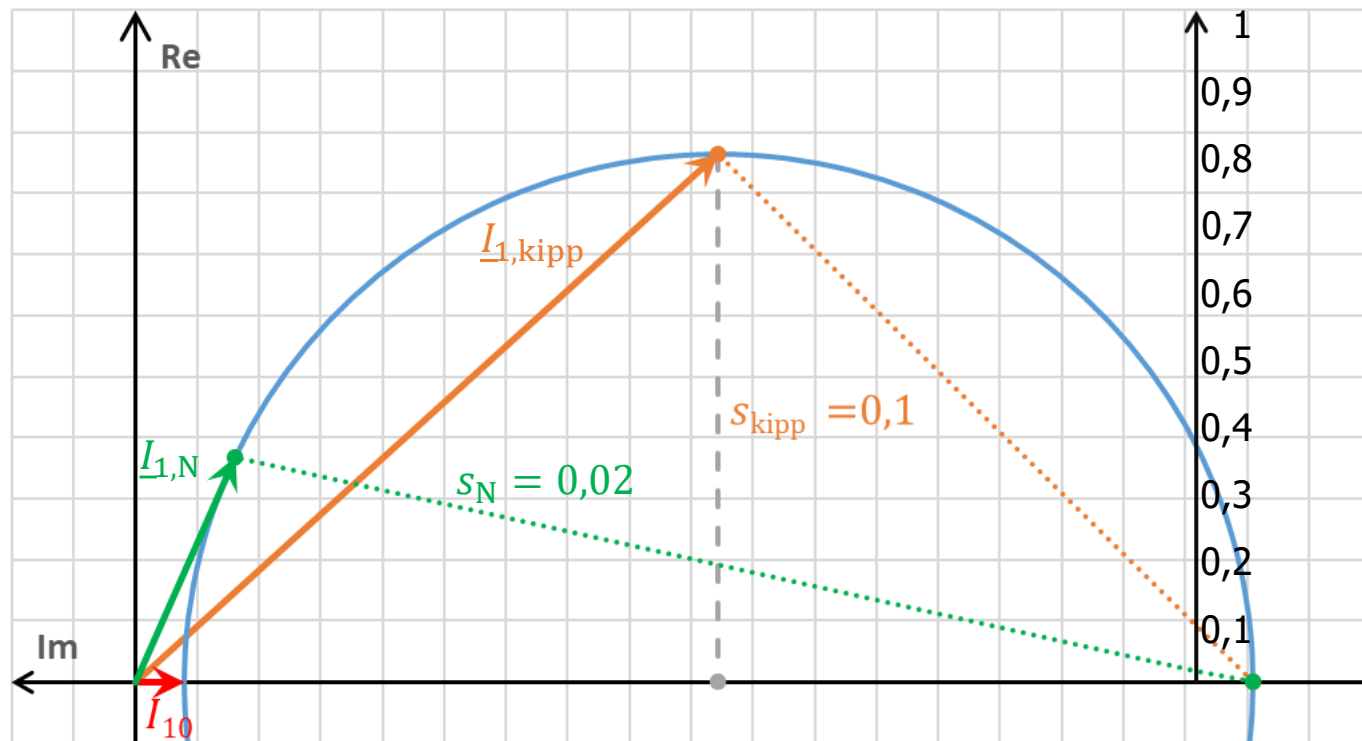


Aufgabe 6: Bestimmung des Anzugsstroms und Anzugmoments

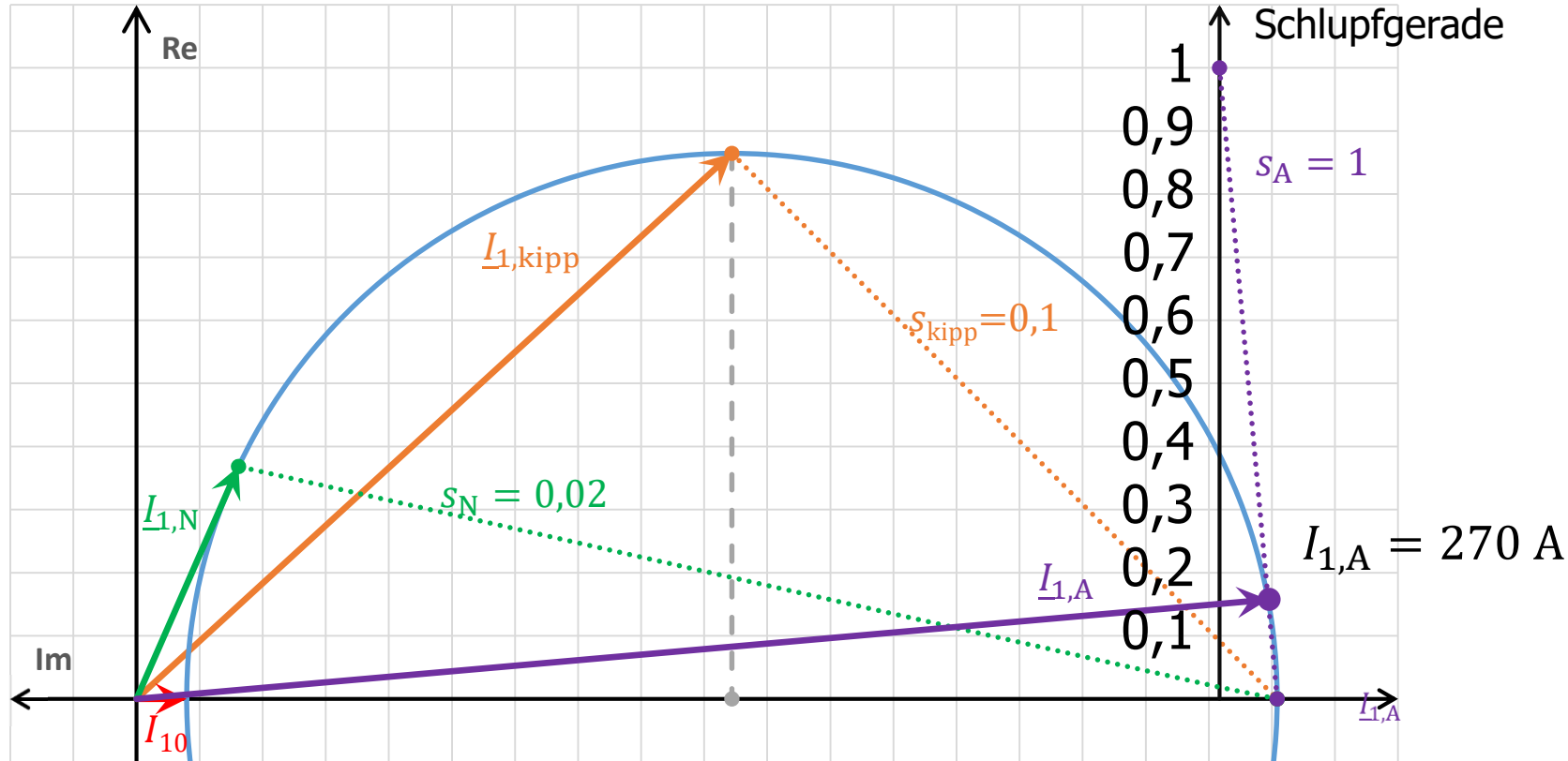
Vorgehen:

- 1) Anzugsstrom ablesen
- 2) Drehmoment Maßstabfaktor berechnen
- 3) Anzugsmoment ablesen

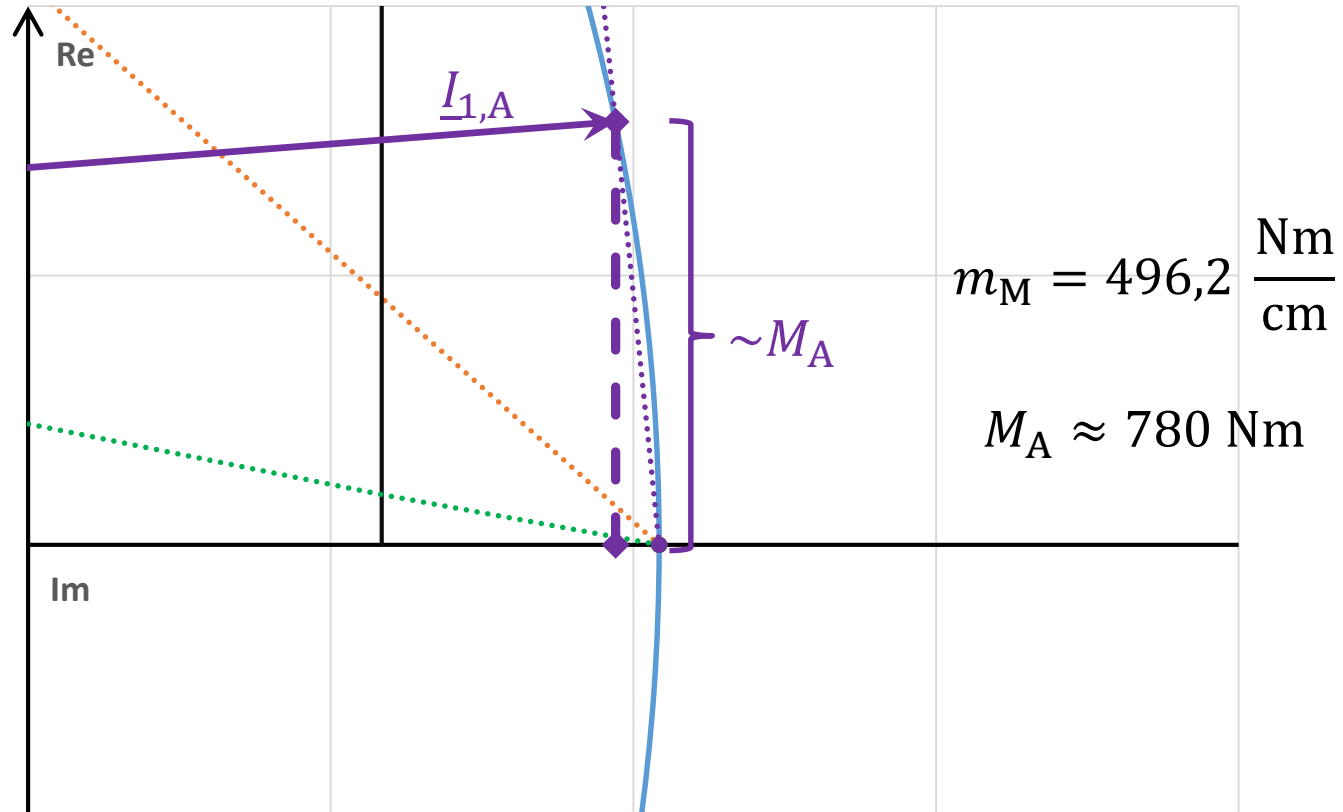
6 min.



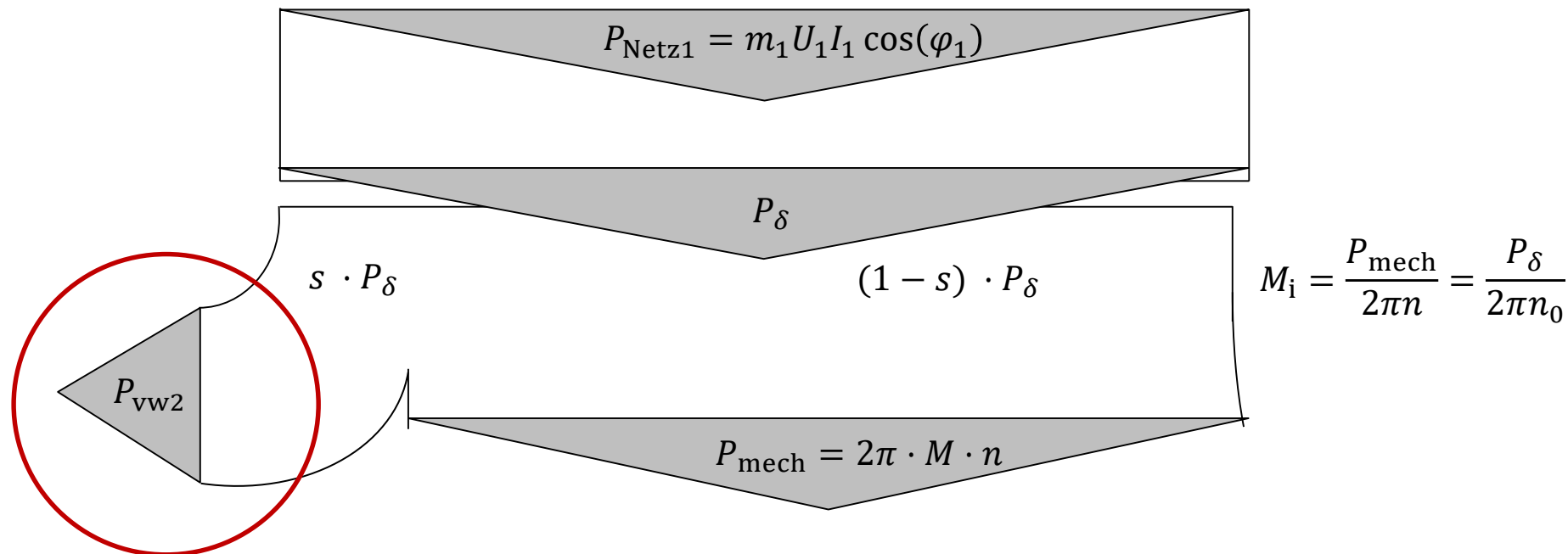
Zu 6.) Bestimmung des Anzugsstroms



Zu 6.) Bestimmung des Anzugsmoments



Aufgabe 7 – Stromwärmeverluste im Läufer im Kippunkt



$$\rightarrow P_{\text{vw2,kipp}} = s_{\text{kipp}} \cdot P_{\delta,\text{kipp}} = P_{\delta,\text{kipp}} - P_{\text{mech,kipp}}$$

Aufgabe 7 Stromwärmeverluste im Läufer im Kippunkt

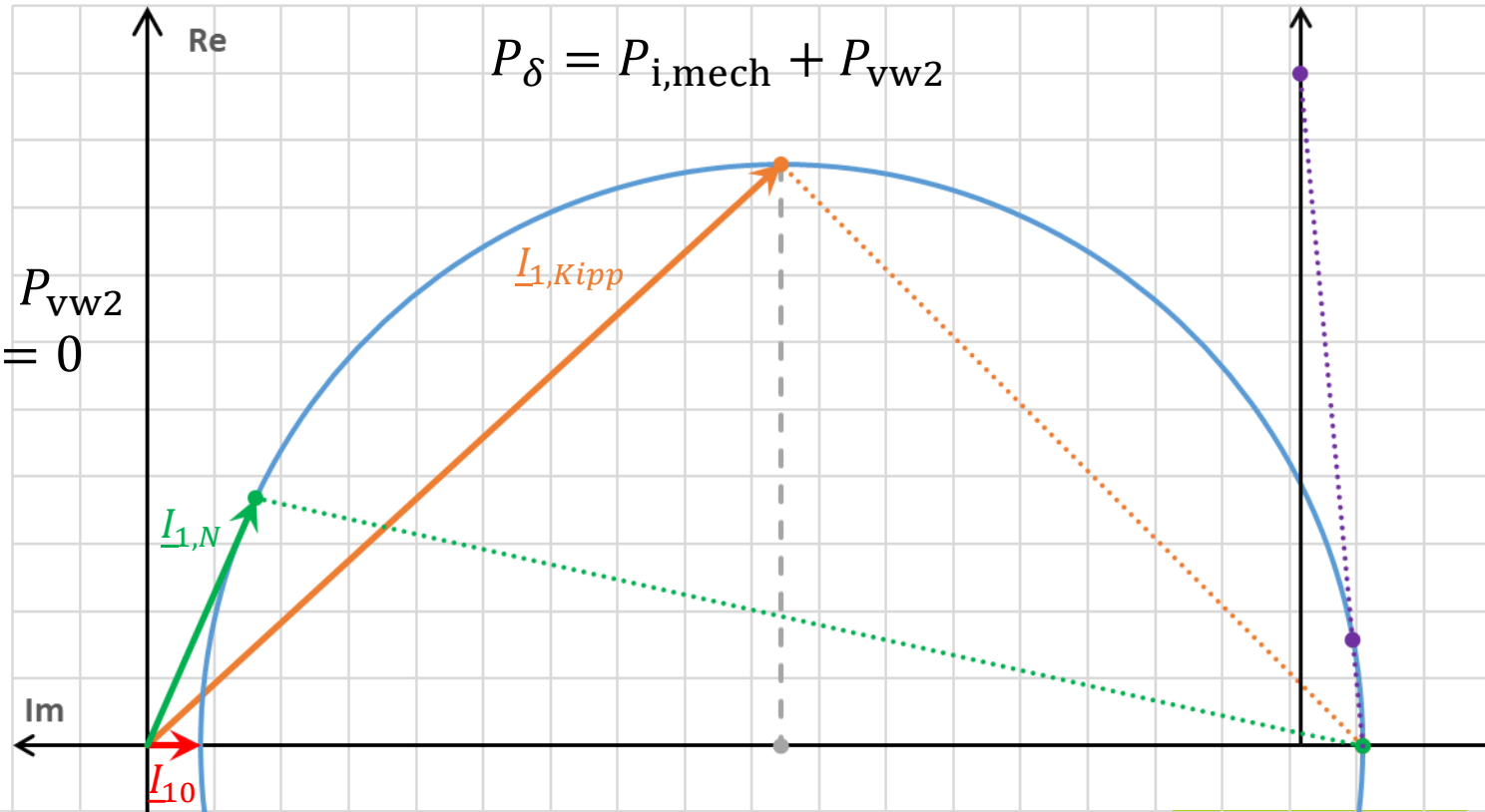
- Möglichkeit 1: Rechnerisch über die Leistungsbilanz im Kippunkt $\rightarrow P_{vw2,kipp} = s_{kipp} \cdot P_{\delta,kipp} = P_{\delta,kipp} - P_{mech,kipp}$
- Möglichkeit 2: Graphisch aus der SOK
 - Für $R_1 = 0$ gilt: $P_{\delta} \sim Re\{I\}$
 - Luftspaltleistung graphisch zerlegen $P_{\delta} = P_{i,mech} + P_{vw2}$
 \rightarrow Gerade zur Aufspaltung der Luftspaltleistung zeichnen

Zu 7.) Gerade zur Aufspaltung der Luftspaltleistung

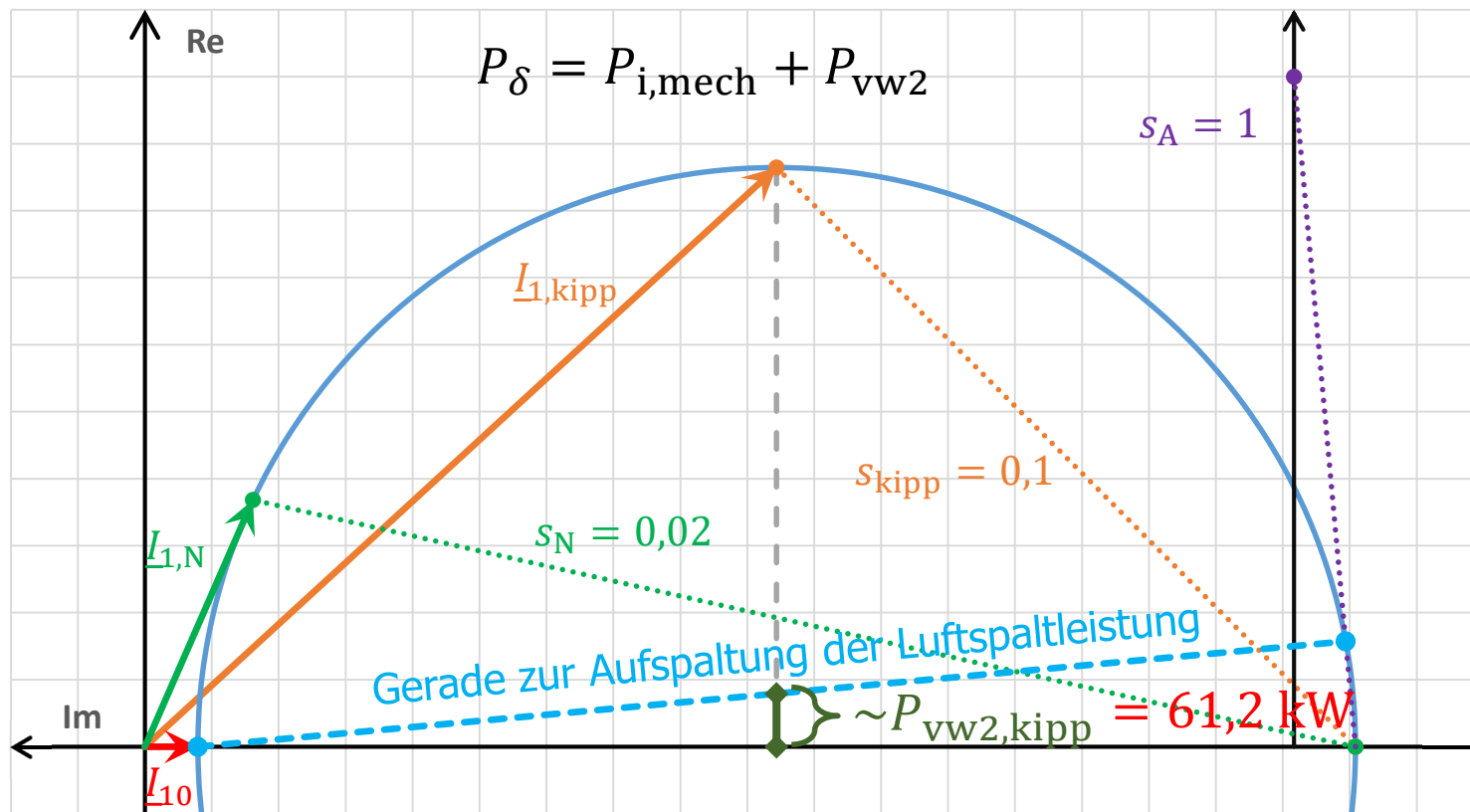
Hilfspunkte:

- Anlauf $P_{\delta,A} = P_{vw2}$
- Leerlauf $P_{\delta,0} = 0$

5 min.

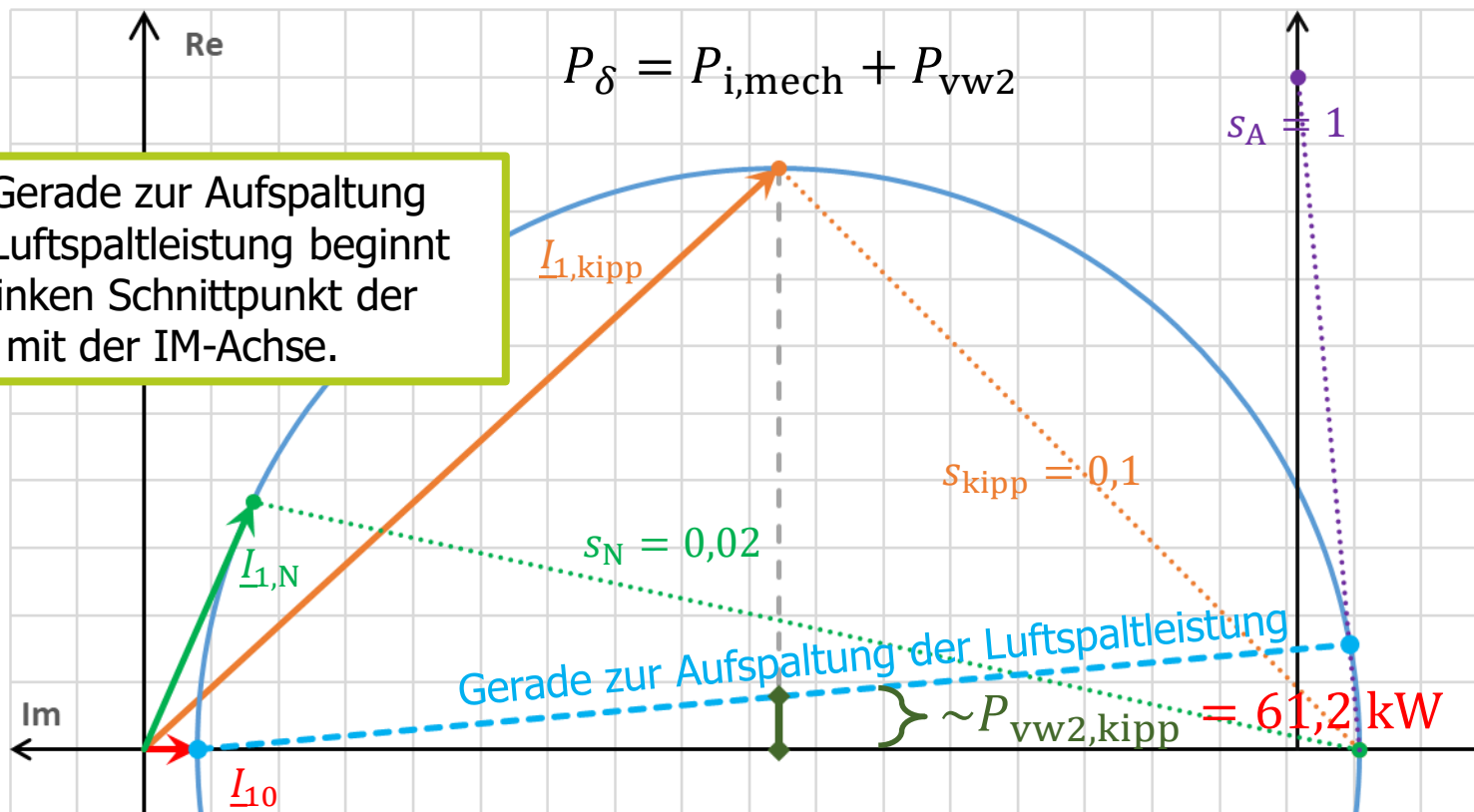


Zu 7.) Gerade zur Aufspaltung der Luftspaltleistung



Zu 7.) Gerade zur Aufspaltung der Luftspaltleistung

Die Gerade zur Aufspaltung der Luftspaltleistung beginnt am linken Schnittpunkt der SOK mit der IM-Achse.



Was war wichtig ?

- Schlupf
 - Lastpunktzugehörigkeit der Größen (s_N, s_{kip})
 - Leistungsflussdiagramm
 - Konstruktion der SOK
 - Bedeutung der SOK
-
- Weiterführende Übungen im Skript:
 - Aufgaben 5.1.1, 5.2.1