

Klausur

Elektrische Antriebe

(Musterlösung)

Raum: EB301

10.10.2016

- **Die Klausur besteht aus 3 Aufgaben.**
- Die einzelnen Fragen können weitgehend unabhängig voneinander beantwortet werden.
- Bei 36 von 36 erreichbaren Punkten wird die Note 1,0 gegeben; entsprechend bei 18 Punkten eine 4,0. Halbe Punkte werden nicht gegeben.
- zulässige Hilfsmittel: Zirkel, Lineal, Winkelmesser, nicht kommunikationsfähiger Taschenrechner, 1 Blatt DIN A4 Formelsammlung beidseitig handschriftlich beschrieben
- **Dauer der Klausur: 2 h**

Name (in Blockbuchstaben):

Matrikelnummer:

Studienrichtung:

Unterschrift:

Bereich für die Korrektur

Aufgabe	mögliche Punkte	Punkte	Korrigiert von (Kürzel)
1	12		
2	12		
3	12		
Summe	36		
Note			

Aufgabe 1:

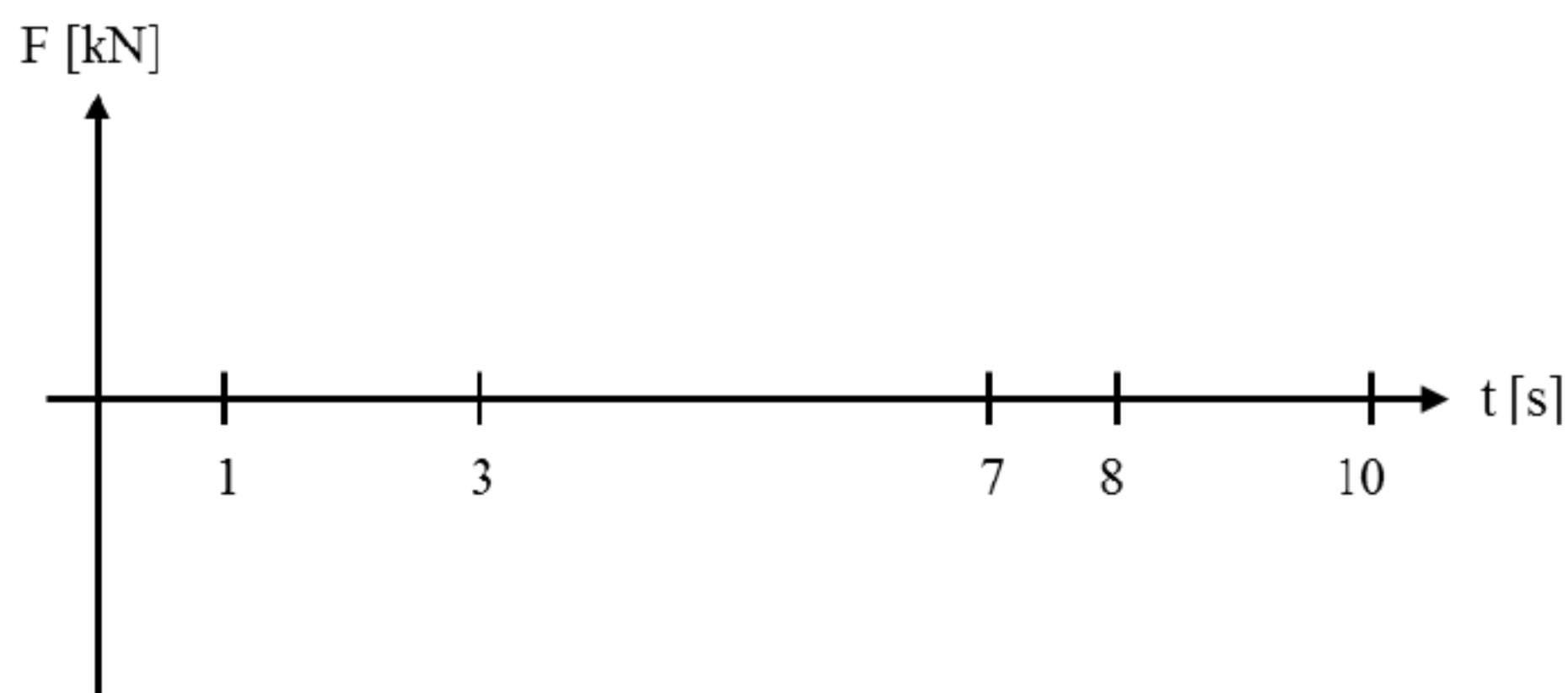
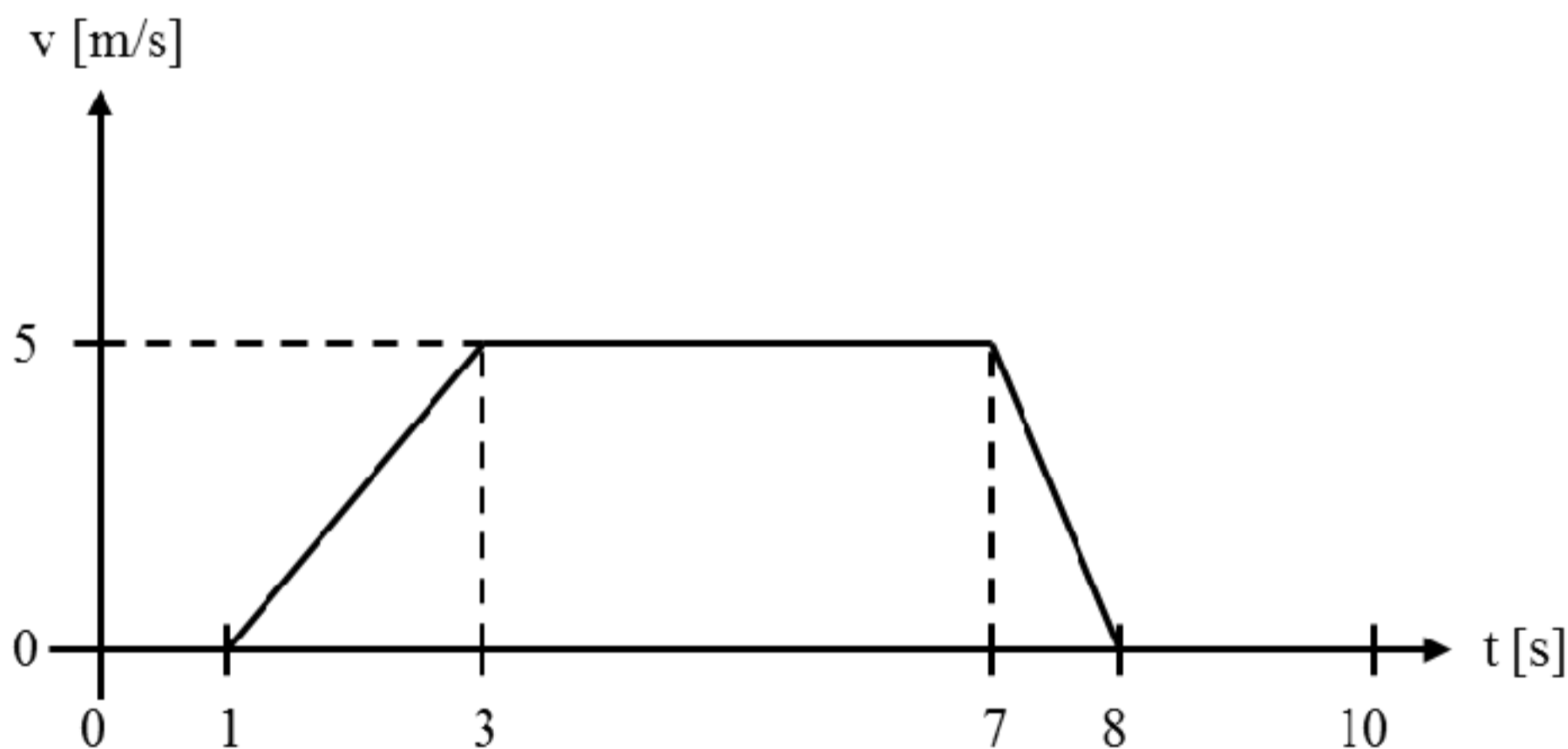
(12 Punkte)

Eine Verladebrücke soll Container von einem Schiff auf einen Güterwagen verladen. Dazu wird ein Hubantrieb benötigt. Die Containermasse beträgt 30,5 t.

Der vorher stehende Container soll zunächst auf die maximale Hubgeschwindigkeit von 5 m/s beschleunigt, dann mit konstanter Geschwindigkeit angehoben und daraufhin wieder angehalten werden. Dabei ist das unten skizzierte Geschwindigkeitsprofil $v(t)$ zu beachten.

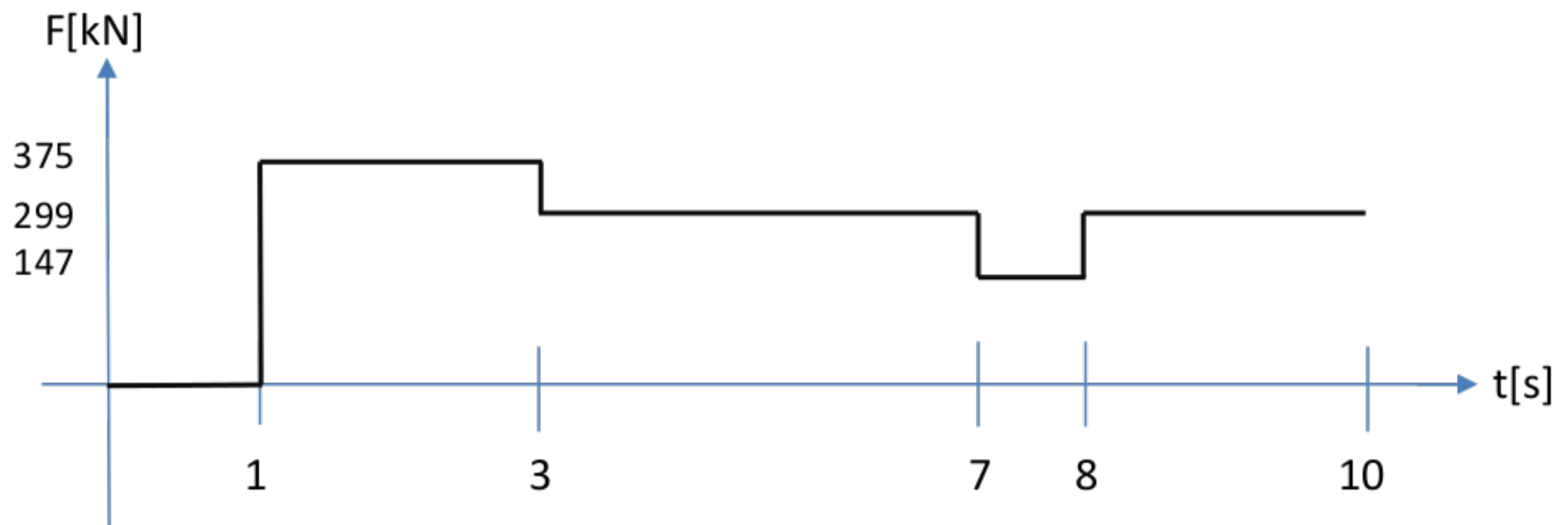
Reibung und weitere Verluste dürfen vernachlässigt werden.

1. Ermitteln Sie den notwendigen Zugkraftverlauf $F(t)$ für den im Diagramm angegebenen Zeitraum von 0 – 10 s und zeichnen Sie diesen in das untere Diagramm! Hinweise: Beachten Sie statische und dynamische Kräfte. Die Erdbeschleunigung beträgt $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.
(5 Punkte)
2. Die Zugkraft soll über eine Seilrolle mit dem konstanten Durchmesser von $d = 1 \text{ m}$ von einer rotierenden Maschine aufgebracht werden. Welche maximale Drehzahl n_{\max} und welches maximale Drehmoment M_{\max} muss die Antriebsmaschine aufbringen? Treten beide Werte gleichzeitig auf? Benötigt der Antrieb einen Feldschwächbereich?
(4 Punkte)
3. Für den Antrieb soll eine Normmaschine mit $n_N = 1470 \text{ min}^{-1}$ verwendet werden. Berechnen Sie die notwendige Getriebeübersetzung \ddot{u} !
(1 Punkt)
Als Antriebsmaschinen werden Ihnen eine Gleichstrom-Reihenschlussmaschine, eine Asynchronmaschine und eine permanenterrregte Synchronmaschine zu gleichen Preisen angeboten. Welche Maschine empfehlen Sie und warum? Hinweis: Bedenken Sie, dass der Container auch wieder abgesenkt werden muss!
(2 Punkte)



Lösung zu Aufgabe 1:

1-



$t : [0-1 \text{ s}]; F = m \cdot g = 299 \text{ kN}$

(1Punkt)

$t : [1-3\text{s}]; F = m \cdot g + m \cdot a = 299 \text{ kN} + \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ s}} \cdot 30,500\text{kg} = 375 \text{ kN}.$

(1Punkt)

$t : [3-7\text{s}]; F = m \cdot g = 299 \text{ kN}$

(1Punkt)

$t : [7-8\text{s}]; F = m \cdot g - m \cdot a = 299 \text{ kN} - \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} \cdot 30,500\text{kg} = 147 \text{ kN}$

(1Punkt)

$t : [8-10\text{s}]; F = m \cdot g = 299 \text{ kN}$

(1Punkt)

2-

$n_{\max} = \frac{V_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{2} \text{ m}} = 1,59\text{s}^{-1} = 95,5 \text{ min}^{-1}$

(1Punkt)

$M_{\max} = F_{\max} \cdot r = 375\text{kN} \cdot 0,5\text{m} = 187,5\text{kNm}$

(1Punkt)

Beide treten gleichzeitig auf bei $t=3\text{s}$

(1Punkt)

Nein, der Antrieb braucht keinen Feldschwächbereich

(1Punkt)

3-

$\ddot{u} = \frac{n_{\text{Ab}}}{n_{\text{An}}} = \frac{95,5 \text{ min}^{-1}}{1470 \text{ min}^{-1}} = \frac{1}{15,4} = 0,064$

(1Punkt)

4-

z. B. ASM kann ohne Umrichter betrieben werden + Wartungs-Verschleißarm oder PMSM, da kein Feldschwächung möglich.

(2Punkte)

Aufgabe 2:

(12 Punkte)

Eine permanenterrregte Gleichstrommaschine habe die Typenschild-Daten:

$$U_N = 24 \text{ V}$$

$$I_N = 33 \text{ A}$$

$$P_N = 600 \text{ W}$$

$$n_N = 1400 \text{ min}^{-1}$$

Alle Verluste außer den Stromwärmeverlusten im Anker dürfen vernachlässigt werden.

1. Berechnen Sie die elektrische Leistung P_{el} , den Wirkungsgrad η_N , den Ankerwiderstand R_a und die Drehzahlkonstante $k\Phi$! (4 Punkte)
2. Die unbelastete Maschine ($M = 0$) wird über einen verlustfrei angenommenen Tiefsetzsteller mit der Pulsfrequenz $f_P = 10 \text{ kHz}$ an einer Speisespannung von $U_d = 24 \text{ V}$ bei einem Aussteuergrad von $a = 0,5$ betrieben. Welche mittlere Ankerspannung $U_{1,av} = U_{a,av}$ liegt an der Maschine an? Welche Drehzahl n stellt sich ein? (2 Punkte)
3. Im oben beschriebenen Betrieb mit Tiefsetzsteller stellt sich ein Ankerstromripple von 2 A (Spitze-Spitze) ein. Wie groß ist die Ankerinduktivität L_a ? Hinweis: Sie können vereinfachend annehmen, dass die Ankerzeitkonstante T_a viel größer ist als die Pulsfrequenzperiode T_P . (2 Punkte)
4. Geben Sie eine Näherung für die Übertragungsfunktion des Tiefsetzstellers $G_{TS}(s)$ als PT_1 -Glied an! (1 Punkt)
5. Geben Sie die Übertragungsfunktion des Ankerkreises $G_A(s)$ an! Hinweis: Falls Sie L_a oder R_a nicht ermitteln konnten, nehmen Sie $R_a = 0,2 \Omega$ und $L_a = 0,4 \text{ mH}$ an. (1 Punkt)
6. Berechnen Sie die Reglerverstärkung K_R und die Reglerzeitkonstante T_R für einen PI-Regler für den Ankerstrom, den Sie nach dem Betragsoptimum auslegen! Hinweis: Sie dürfen die Messung des Ankerstroms als ideal ansehen. (2 Punkte)

Lösung zu Aufgabe 2:

1-

$$P_{el} = U_N \cdot I_N = 792 \text{ W} \quad (1\text{Punkt})$$

$$\eta = \frac{P_N}{P_{el}} = \frac{600 \text{ W}}{792 \text{ W}} \cdot 100\% = 75,8\% \quad (1\text{Punkt})$$

$$R_a = \frac{P_{el} - P_N}{I_N^2} = \frac{792 \text{ W} - 600 \text{ W}}{33^2 \text{ A}^2} = 0,1763 \Omega \quad (1\text{Punkt})$$

$$k\phi = \frac{U_i}{n_N} = \frac{24 \text{ V} - 33 \text{ A} \cdot 0,1763 \Omega}{\frac{1400}{60} \text{ s}^{-1}} = 0,7792 \text{ Vs} \quad (1\text{Punkt})$$

2-

$$U_{a,av} = a \cdot U_d = 0,5 \cdot 24 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

Im Leerlauf $I_a = 0 \text{ A}$

$$n = \frac{U_{a,av}}{k\phi} = \frac{12 \text{ V}}{0,7792 \text{ Vs}} = 924 \text{ min}^{-1} \quad (2\text{Punkte})$$

$$L_a = \frac{U_d}{\Delta i_{al}} \cdot a_T \cdot (1 - a_T) \cdot T_P = \frac{24 \text{ V} \cdot 0,5 \cdot 0,5}{2 \text{ A} \cdot 10000 \text{ Hz}} = 0,3 \text{ mH}$$

(2Punkte)

4-

$$T_t = \frac{1}{2 \cdot f_p} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$G_{Ts}(s) = \frac{U_d}{1 + sT_t} = \frac{24 \text{ V}}{1 + s \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}} \quad (1\text{Punkt})$$

5-

$$G_a(s) = \frac{1}{R_a(1 + sT_a)} \quad (1\text{Punkt})$$

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \text{ H}}{0,1763 \Omega} = 1,7 \text{ ms (oder 2 ms)}$$

6-

$$T_R = T_a = 3,4 \text{ ms (oder 2 ms)} \quad (1\text{Punkt})$$

$$K_R = \frac{T_a \cdot R_a}{2 \cdot U_d \cdot T_t} = \frac{0,0034 \text{ s} \cdot 0,1763 \Omega}{2 \cdot 24 \text{ V} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ s}} = 0,249 \frac{1}{\text{A}} \quad (1\text{Punkt})$$

Aufgabe 3:

(12 Punkte)

Mit einer Kurzschlussläufer-Asynchronmaschine wurden je ein Leerlauf- und ein Kurzschlussversuch durchgeführt:

Leerlauf: $U = U_N = 400 \text{ V}$, $f = f_N = 50 \text{ Hz}$, $I_0 = 30 \text{ A}$, $\cos \varphi_0 = 0$

Kurzschluss: $U_{\text{reduziert}} = 100 \text{ V}$, $f = f_N = 50 \text{ Hz}$, $I_{k,\text{reduziert}} = I_N = 100 \text{ A}$, $\cos \varphi_K = 0,2$

Alle Verluste außer den Stromwärmeverlusten im Rotor dürfen vernachlässigt werden.

1. Extrapolieren Sie den Strom \underline{I}_k aus dem Kurzschlussversuch auf Betrieb mit Bemessungsspannung U_N und –frequenz f_N ! (2 Punkte)
2. Zeichnen Sie eine Stromortskurve der Maschine bei Bemessungsspannung U_N und –frequenz f_N ! Hinweis: Wenn Sie den Kurzschlusspunkt nicht ermitteln konnten, nehmen Sie $\underline{I}_K = 450 \text{ A} \cdot e^{-j80^\circ}$ an! (3 Punkte)
3. Bestimmen Sie die Statorinduktivität L_1 und die Streuziffer σ ! (2 Punkte)
4. Wie groß ist das Kippdrehmoment M_{Kipp} der Maschine bei Bemessungsspannung U_N und –frequenz f_N ? (3 Punkte)
5. Bis zu welcher Statorfrequenz $f_{1\text{max}}$ können Sie die Maschine sinnvoll im Feldschwächbereich mit dem Bemessungsstrom I_N betreiben? Hinweis: Wenn Sie den Kippstrom nicht ermitteln konnten, nehmen Sie für U_N und f_N den Wert $I_{\text{Kipp}} = 300 \text{ A} \cdot e^{-j50^\circ}$ an! (2 Punkte)

Lösung zu Aufgabe 3:

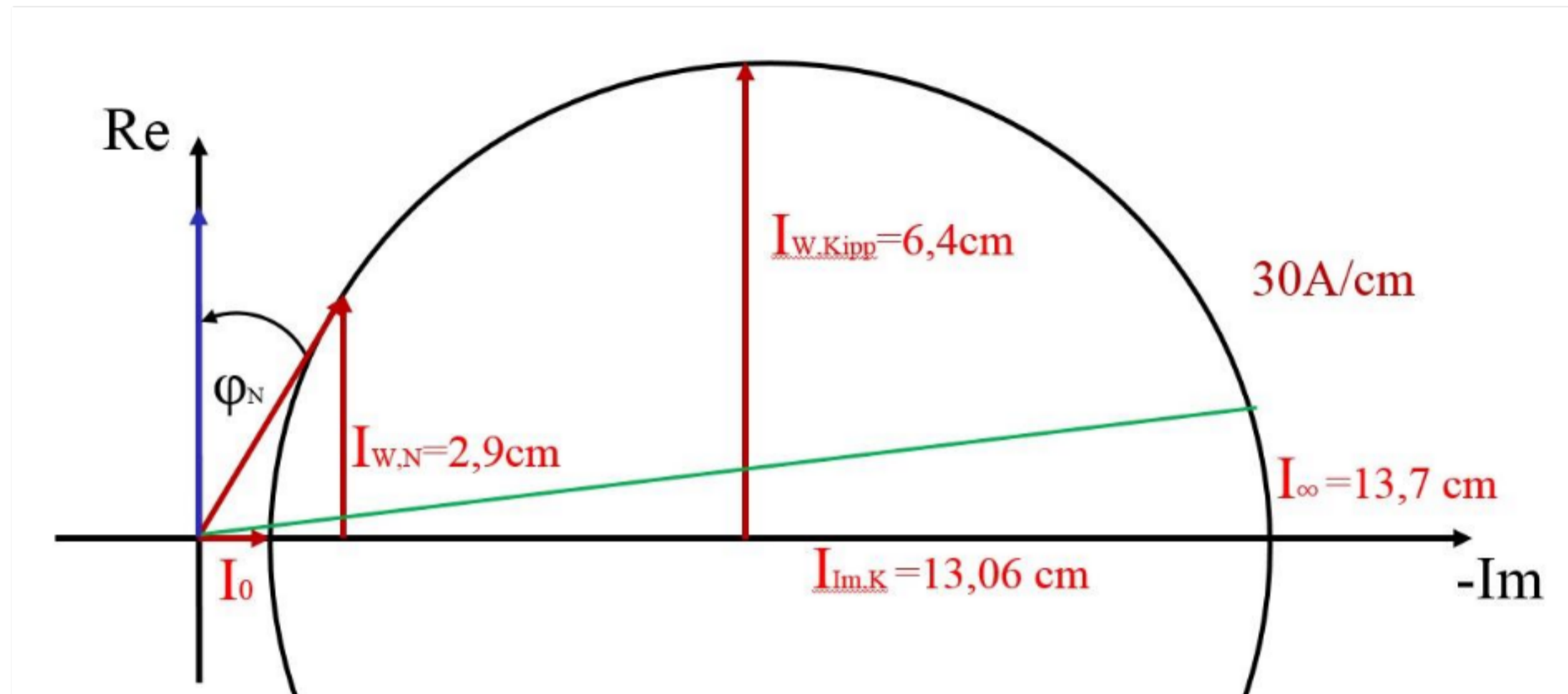
1-

$$I_K = \frac{U_N}{U_{k, \text{reduziert}}} \cdot I_{K, \text{reduziert}} = \frac{400 \text{ V}}{100 \text{ V}} \cdot 100 \text{ A} = 400 \text{ A} \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$\cos \varphi_k = 0,2$$

$$\varphi_k = -78,4^\circ \quad (1 \text{ Punkt})$$

2-



$$30 \text{ A} = 1 \text{ cm}$$

$$I_0 = 1 \text{ cm} = 30 \text{ A}$$

$$I_{\text{ImK}} = 13,06 \text{ cm} \quad (\text{oder } 14,77 \text{ cm } 443 \text{ A für } I_k=450 \text{ A})$$

$$I_{\text{WN}} = 2,9 \text{ cm} = 87 \text{ A}$$

$$I_{\text{Wkip}} = 6,4 \text{ cm} = 192 \text{ A} \quad (\text{oder } 210 \text{ A für } I_k=450 \text{ A})$$

$$I_{\infty 1} = 13,7 \text{ cm} = 411 \text{ A} \quad (\text{oder } 454 \text{ A für } I_k=450 \text{ A}) \quad (3 \text{ Punkte})$$

3-

$$\sigma = \frac{I_{01}}{I_{\infty 1}} = \frac{30 \text{ A}}{411 \text{ A}} = 0,07299 \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$L_1 = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot \omega_1 \cdot I_0} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 30 \text{ A}} = 24,5 \text{ mH} \quad (1 \text{ Punkt})$$

4-

$$M_{\text{kip}} = 3 \cdot p \cdot \frac{\left(\frac{U_N}{\sqrt{3}}\right)^2}{\omega_1^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot L_1 \cdot \frac{\sigma}{1-\sigma}}$$

$$M_{\text{kipp}} = 3.2 \frac{\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2 \text{V}^2}{(2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz})^2} \cdot \frac{1}{2.0,0245 \text{ H} \cdot \frac{0,07299}{1-0,07299}} = 833,6 \text{ Nm}$$

(3Punkte)

Oder (Alternativ)

$$M_{\text{kipp}} = M_{\text{N}} \frac{I_{\text{Wkipp}}}{I_{\text{WN}}} = \frac{6,4 \text{ cm}}{2,9 \text{ cm}} \cdot 383,75 \text{ Nm} = 846,9 \text{ Nm}$$

5-

$$f_{1,\text{th max}|IN} = f_{1N} \cdot \frac{I_0}{I_N} \cdot \sqrt{\frac{1+\sigma^2}{2 \cdot \sigma^2}} = 145,7 \text{ Hz}$$

(2Punkte)

1 Punkt wird nur unter dieser Bedingung der Gleichung gegeben, falls die Zahlen richtig geschrieben sind aber endergebniss falsch ist. Nur Gleichung schreiben bekommt kein Punkt.