



Technische Universität Berlin
Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik
Institut für Energie- und Automatisierungstechnik
Fachgebiet Elektrische Antriebstechnik

2. Klausur Elektrische Antriebstechnik 09. Oktober 2017

- Trennen Sie die Klausur nicht auf! Schreiben Sie nur auf dem bereitgestellten Papier. Zusätzliche Blätter können bei der Klausuraufsicht nachgefragt werden.
- Schreiben Sie deutlich! Unleserliche oder doppeldeutige Antworten können nicht gewertet werden.
- Es sind ausschließlich dokumentenechte Stifte (kein Bleistift, kein Rot) erlaubt.
- Als Hilfsmittel zugelassen sind: Lineal, Geodreieck und Zirkel, nicht kommunikationsfähiger Taschenrechner, eine doppelseitige DIN A4 Formelsammlung.
- Es werden keine halben Punkte gegeben.
- Täuschungsversuch/ Abschreiben von Studienkolleg-Innen führt zur Benotung mit 5,0.
- Dauer der Klausur: 120 Minuten

Name, Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Studiengang: _____

Ich fühle mich prüfungsfähig (Unterschrift): _____

Korrekturbereich:

| Aufgabe 1 | Aufgabe 2 | Aufgabe 3 | Summe | Note |
|-----------|-----------|-----------|-------|------|
| /35 | /32 | /33 | /100 | |

Aufgabe 1: Elektrofahrzeug (35 Punkte)

Ein Elektrofahrzeug besitzt folgende Daten:

- Gesamtmasse: $m = 2000 \text{ kg}$
- Anfangsgeschwindigkeit: $v_o = 108 \text{ km/h}$
- Rollwiderstand: $\mu_R = 0,006$
- Luftwiderstand: $c_1 = 0,355 \text{ kg/m}$
- Steigung: $\alpha = 1^\circ$
- Reifendurchmesser: $d = 62 \text{ cm}$
- Bemessungsdrehzahl Antriebsmaschine: $n_{max} = 14\,500 \text{ U/min}$
- Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Ein bereits fahrendes Elektroauto beschleunigt, muss dann aber verkehrsbedingt abbremsten. Daraus ergibt sich das Beschleunigungsprofil nach Abbildung 1.

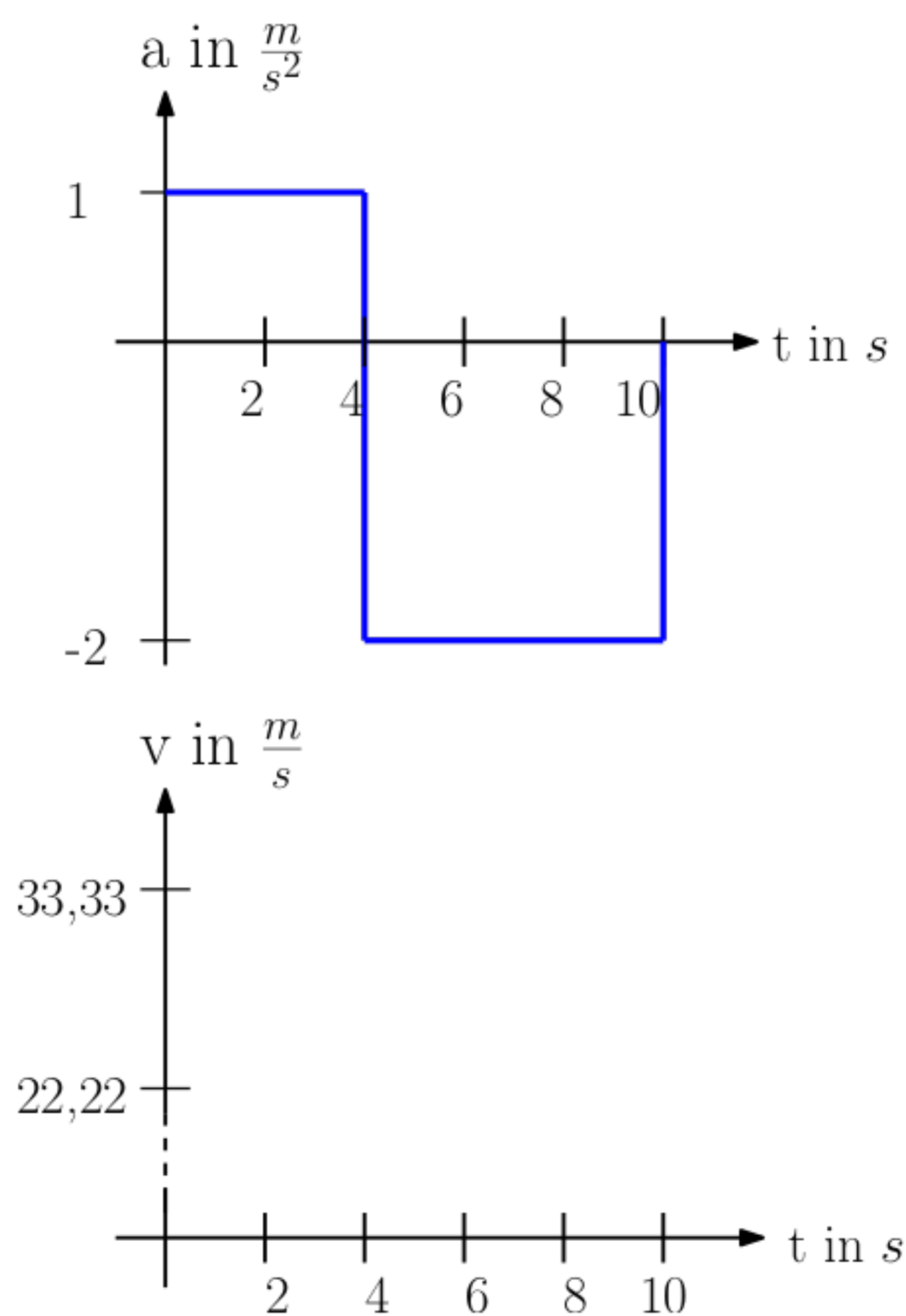


Abbildung 1: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofil

- (1) Berechnen Sie das Geschwindigkeitsprofil und zeichnen Sie es in Abbildung 1 ein. Geben Sie für die Punkte $t_1 = 4\text{ s}$ und $t_2 = 10\text{ s}$ jeweils die Formel sowie Zahlenwert mit Einheit für die Geschwindigkeit an. (Hinweis: Beachten Sie v_0) (6 Punkte)
- (2) Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf der einzelnen, auf das Fahrzeug einwirkenden Kräfte bei Windstille für die Zeitpunkte $t_1 = 4\text{ s}$ und $t_2 = 10\text{ s}$. Berechnen Sie zusätzlich den Luftwiderstand für den Zeitpunkt $t_0 = 0$. Beachten Sie, dass das Fahrzeug leicht bergauf fährt. Die viskose Dämpfung darf vernachlässigt werden. Wenn Sie die Geschwindigkeiten nicht berechnen konnten, nehmen sie $v_1 = 120\text{ km/h}$ und $v_2 = 80\text{ km/h}$ (9 Punkte)

- (3) Bilden Sie die Summe aller Kräfte für die Zeitpunkte $t_0 = 0$ s, $t_1 = 3,999$ s sowie $t_1 = 4,001$ s und $t_2 = 10$ s und zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf in die Abbildung 2 ein. Es genügt, wenn Sie beim Verlauf des Anteils des Luftwiderstands qualitativ vorgehen. (10 Punkte)

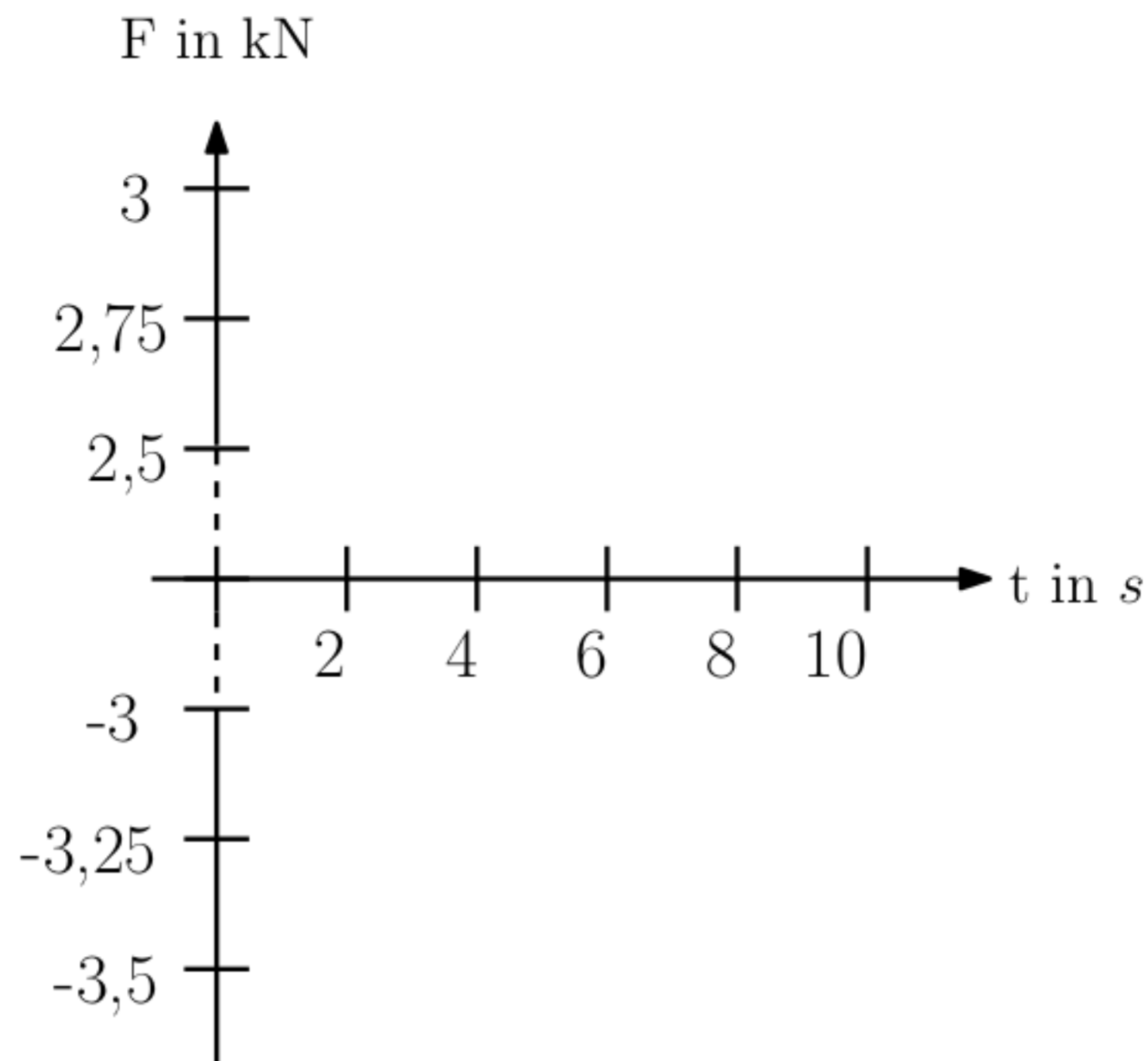


Abbildung 2: Kräfte diagramm

- (4) Berechnen Sie die erforderliche Leistung im Zeitpunkt $t_1 = 3,999$ s. (2 Punkte)

- (5) Berechnen Sie die kinetische Energie des Fahrzeugs für den Zeitpunkt $t = t_1$ in der Einheit Wh. Kann diese beim Bremsen vollständig in den Akku zurückgespeist werden? (4 Punkte)
- (6) Das Getriebe habe die Übersetzung $i = 0,08$ und den Wirkungsgrad $\eta_G = 0,95$. Wie schnell dreht die Antriebsmaschine in U/min, wenn das Fahrzeug 130 km/h schnell fährt? Vernachlässigen Sie für diese Frage den mechanischen Schlupf. (4 Punkte)

Aufgabe 2: Asynchronmaschine mit Käfigläufer (32 Punkte)

Eine umrichter gespeiste Asynchronmaschine besitze folgende Daten:

- Bemessungsspannung: $U_N = 400 \text{ V}$
- Bemessungsleistung: $P_N = 5500 \text{ W}$
- Bemessungsphasenwinkel: $\cos(\varphi_N) = 0.88$
- Bemessungsdrehzahl: $n_N = 1728 \text{ U/min}$
- Bemessungsstatorfrequenz: $f_1 = 60 \text{ Hz}$
- Kippdrehmoment: $M_{\text{Kipp}} = 2 \cdot M_N$

Alle Verluste ausser den Rotorstromwärmeverlusten dürfen vernachlässigt werden.

(1) Berechnen Sie die Bemessungsrotorfrequenz f_{2N} und den Bemessungsschlupf s_N . (4 Punkte)

(2) Berechnen Sie die elektrische Wirk- und Scheinleistung $P_{\text{el},N}$ und $S_{\text{el},N}$ im Bemessungspunkt. (Wenn Sie A1 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $s_N = 0.05$ an.) (4 Punkte)

(3) Berechnen Sie den Bemessungsstrom I_{1N} . (Wenn Sie A2 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $P_{\text{el},N} = 5700 \text{ W}$ an.) (3 Punkte)

(4) Berechnen Sie das Bemessungsdrehmoment M_N . (2 Punkte)

- (5) Berechnen Sie den Wirkanteil des Kippstroms $I_{w,Kipp}$. (Wenn Sie A4 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $I_N = 9\text{ A}$ an.) (2 Punkte)
- (6) Zeichnen Sie die Stromortskurve für den motorischen Betrieb. Verwenden Sie den Maßstab $1\text{ cm} = 3\text{ A}$. (Wenn Sie A5 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $I_{1N} = 9\text{ A}$ und $I_{w,Kipp} = 16\text{ A}$ an.) (6 Punkte)



Abbildung 3: Stromortskurve

- (7) Zeichnen Sie in die Stromortskurve die Schlupfgerade ein und bestimmen Sie den Kipp-schlupf grafisch. (6 Punkte)
- (8) Bei Statorbemessungsspannung erhöht sich die Statorfrequenz um 50% auf 90 Hz. Gleich-zeitig wird die Maschine mit ihrem Kippdrehmoment belastet. Berechnen Sie das Kipp-drehmoment im Feldschwächbetrieb. (3 Punkte)
- (9) Der Käfigläufer wird durch einen Rotor mit Permanentmagneten ersetzt. Wie wirkt sich diese Maßnahme auf den Schlupf im stationären Verhalten der Maschine aus? (2 Punkte)

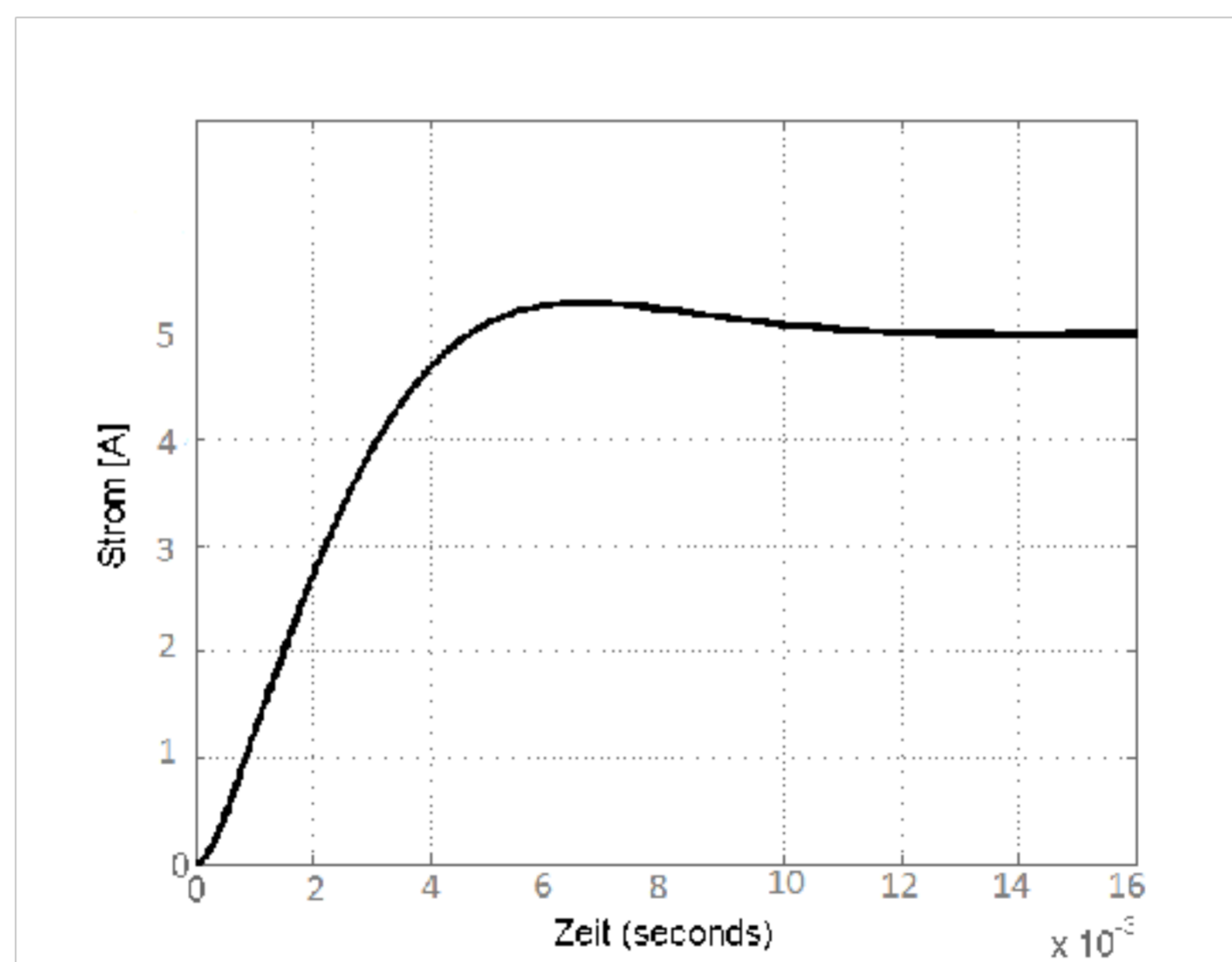
Aufgabe 3: Aufgaben mit Praktikumsbezug (33 Punkte)**U/f-Steuerung**

- (1) Geben Sie je einen Vor- und Nachteil der U/f-Steuerung der Asynchronmaschine mit Käfigläufer an. (2 Punkte)

- (2) Beschreiben Sie den Einfluss des Statorwiderstandes einer ASM auf die M-n Kennlinie bei der U/f Steuerung. (2 Punkte)

Regelung

Die in Abbildung gezeigte Sprungantwort eines Stromregelkreises soll als PT1 Glied angenähert werden.



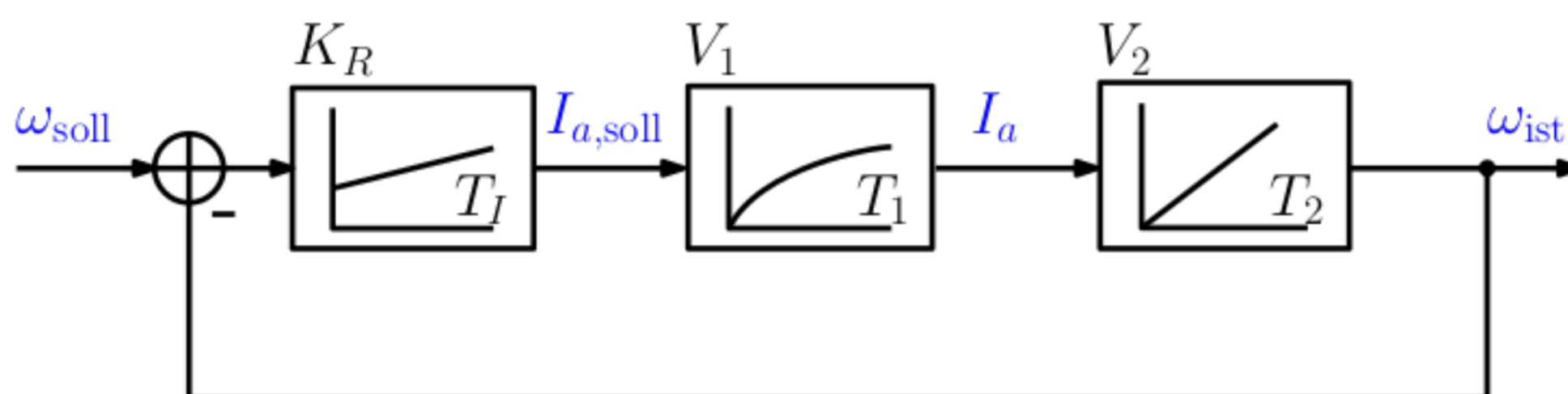
- (3) Ermitteln Sie die Zeitkonstante des PT1-Gliedes. (2 Punkte)

(4) Nennen Sie den Grund für die Annäherung als PT1-Glied. (2 Punkte)

(5) Warum wird die Mehrzahl der elektrischen Antriebe mit der Kaskadenregelung ausgerüstet? Wie erfolgt die Dimensionierung der Regelung? (2 Punkte)

Regelparameter

Gegeben ist der unten stehende Regelkreis mit einem PI-Regler und folgenden Werten:
 $T_1 = 6 \text{ ms}$, $T_2 = 0,54 \text{ s}$, $V_1 = 1,14$, $V_2 = 1 \frac{1}{\text{As}}$.



(6) Berechnen Sie zuerst einen geeigneten Parameter a (Phasenwinkel: $\varphi_0(j\omega_D) = -143^\circ$). Berechnen Sie dann K_R und T_I . Sie dürfen die Einheiten hier weglassen. Hinweis: Beachten Sie den Unterschied zwischen Phasenwinkel und Phasenrand (6 Punkte)

(7) Geben Sie die Einheit von K_R an. (2 Punkte)

- (8) Wie müssen Sie a verändern, um weniger Überschwingen zu erreichen? (2 Punkte)

Regelung der Gleichstrommaschine

Folgende Daten und Übertragungsfunktionen eines Gleichstromantriebes sind vorhanden:
Ankerspannung = 200 V

$$G_{\text{Maschine}} = \frac{1}{1+s \cdot 0,02 \text{ s}}$$
$$G_{\text{Stromrichter}} = \frac{16,5}{1+s \cdot 0,125 \text{ ms}}$$
$$G_{\text{Strommessung}} = \frac{1}{(1+s \cdot 0,3183 \text{ ms})^2}$$

- (9) Zeichnen Sie anhand der gegebenen Übertragungsfunktionen ein regelungstechnisches Ersatzschaltbild des Stromregelkreises einer Gleichstrommaschine . (4 Punkte)

(10) Berechnen Sie eine geeignete Zeitkonstante und den Verstärkungsfaktor des Reglers. (4 Punkte)

(11) Um gleichzeitig die Überströme in der Sprungantwort zu vermeiden, wird ein PI-Regler mit Anti-Windup verwendet. Wie hoch ist der maximale Begrenzungsfaktor einzustellen, damit eine Drehzahländerung in beiden Richtungen möglich ist? (5 Punkte)