



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

1. Klausur Elektrische Antriebstechnik

03. August 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
/37	/30	/33	/100	

Aufgabe 1: Aufzugsanlage mit Antriebsmaschine (37 Punkte)

Eine Aufzugsanlage besitzt folgende Daten:

- Masse Fahrkorb: $m_K = 1000 \text{ kg}$,
- Masse Nutzlast: $m_{NL} = 500 \text{ kg}$,
- Masse Gegengewicht: $m_G = 1250 \text{ kg}$,
- Konstanter Durchmesser des Treibrads: $D_T = 1 \text{ m}$,
- Bemessungsdrehzahl Antriebsmaschine: $n_{max} = 1450 \text{ U/min}$.
- Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Der Aufzug fährt bei voller Beladung mit Nutzlast nach oben. Dabei wird er bis zum Zeitpunkt $t_1 = 2 \text{ s}$ mit $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beschleunigt, fährt dann mit der Geschwindigkeit $v_{max} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bis zum Zeitpunkt $t_2 = 6 \text{ s}$, wo er bis zum Zeitpunkt $t_3 = 8 \text{ s}$ zum Stillstand herabgebremst wird.

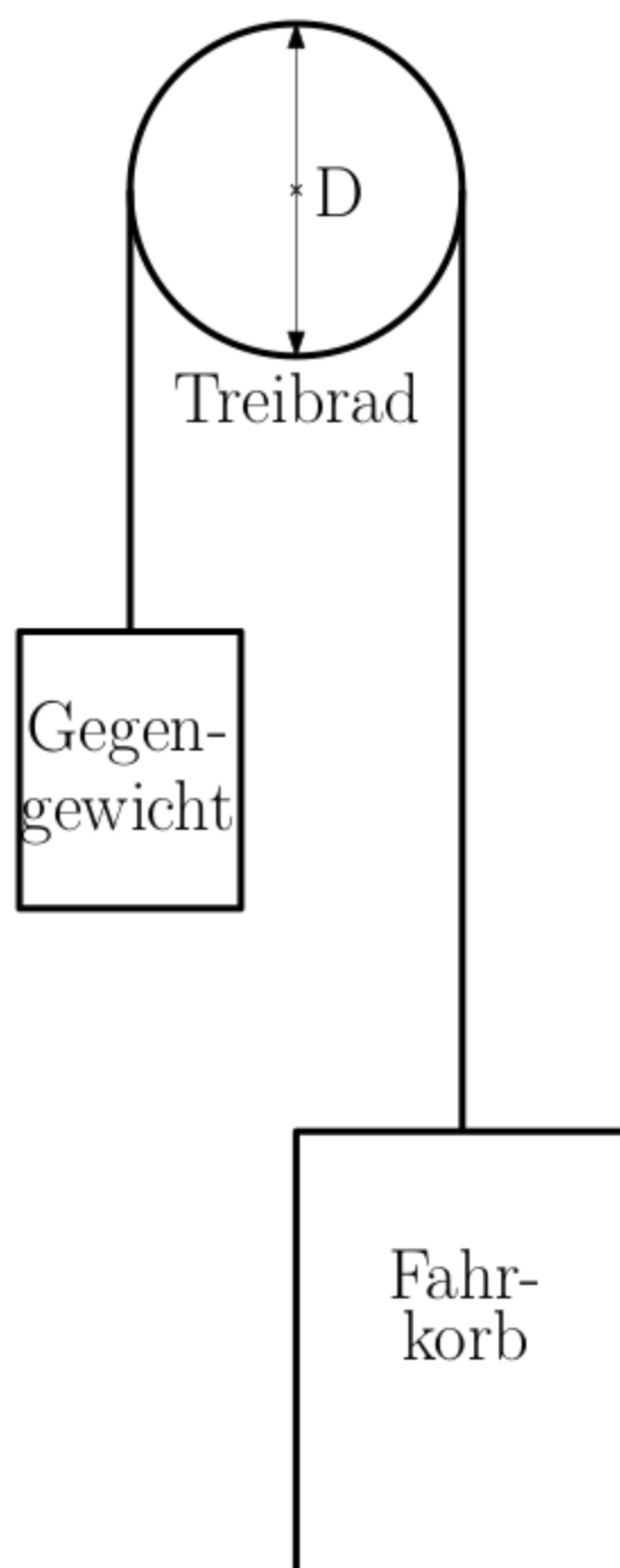


Abbildung 1: Aufzugsanlage mit Gegengewicht

Geben Sie zu allen Berechnungen immer die Formel sowie den Zahlenwert mit Einheit an!

- (1) Zeichnen Sie Beschleunigung und Geschwindigkeit in das Diagramm in Abb. ?? ein. (2 Punkte)

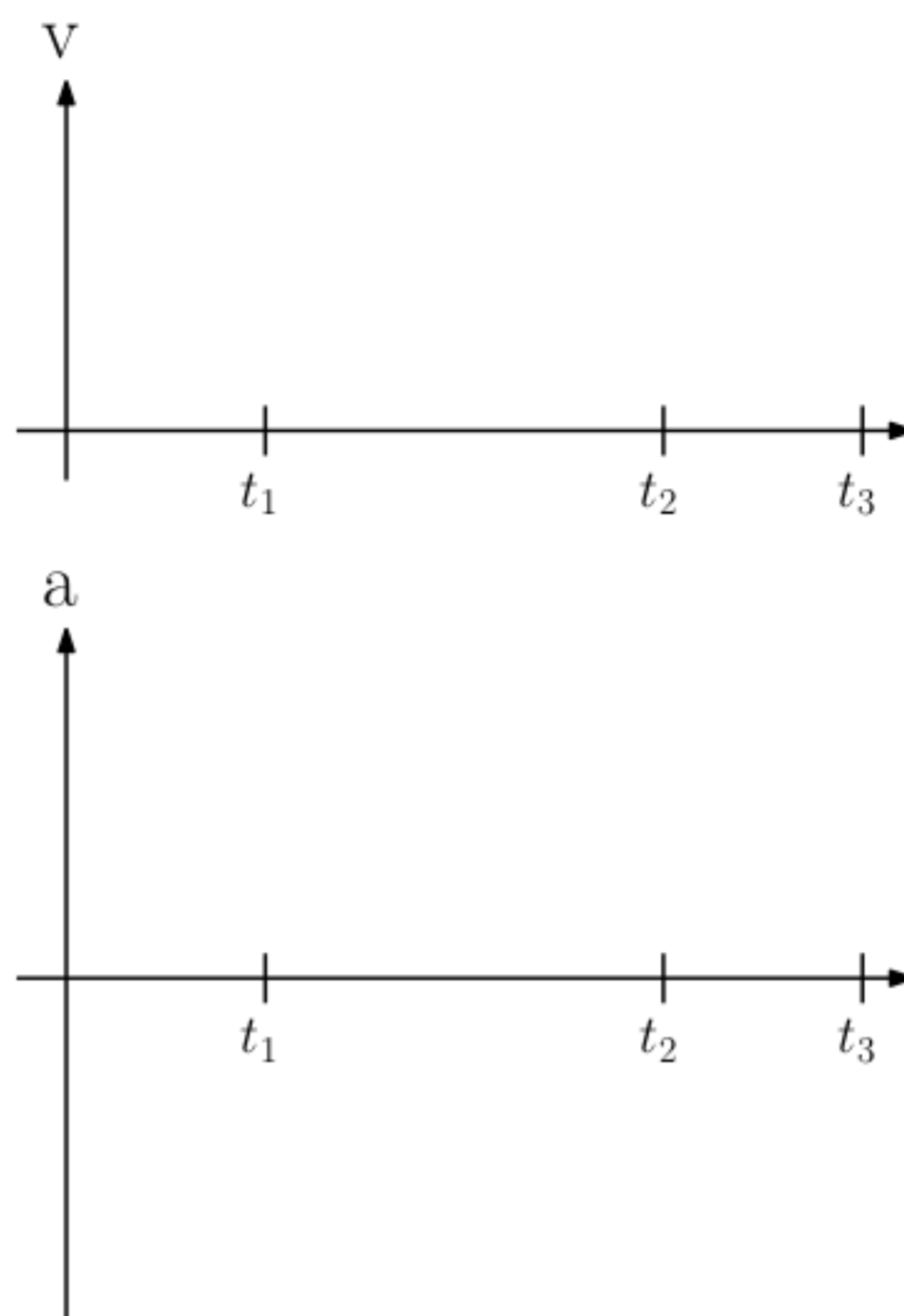


Abbildung 2: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofil

- (2) In welchem Stockwerk kommt der Aufzug an, wenn er seine Fahrt im 1. Stock begonnen hat und jedes Stockwerk 3 Meter hoch ist? (3 Punkte)
- (3) Wie hoch ist die Maximaldrehzahl $n_{\text{Rad,max}}$ des Treibrads? (2 Punkte)

- (4) Berechnen Sie das Übersetzungsverhältnis i des benötigten Zahnradgetriebes, wenn der Antrieb während der Fahrt zwischen t_2 und t_3 mit 1450 U/min drehen soll. Nehmen Sie einen Getriebewirkungsgrad von $\eta_G = 0,96$ an. (Falls Sie A3 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $n_{\text{Rad,max}} = 80$ U/min an). (2 Punkte)
- (5) Der Antrieb selbst habe das Trägheitsmoment $J_A = 0,004\text{kg} \cdot \text{m}^2$. Berechnen Sie die Trägheitsmomente des Fahrkorbs J_K , der Nutzlast J_{NL} und des Gegengewichts J_G . Das Trägheitsmoment des Treibrads darf vernachlässigt werden. Fassen sie nun alle Trägheitsmomente in ein auf den Antrieb bezogenes Trägheitsmoment zusammen. (5 Punkte)

- (6) Berechnen Sie das stationäre und das dynamische Drehmoment auf der Antriebsseite für alle drei Betriebszustände (Beschleunigen, Fahren, Abbremsen). Tragen Sie die Summe aus dynamischen und stationären Drehmoment (M_1 , M_2 und M_3) für jeden Betriebszustand in das Diagramm in Abb. ?? ein. Die Drehdämpfung d darf vernachlässigt werden. (Falls Sie A5 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $J_{\text{ges}} = 2\text{kg} \cdot \text{m}^2$ an.) (9 Punkte)

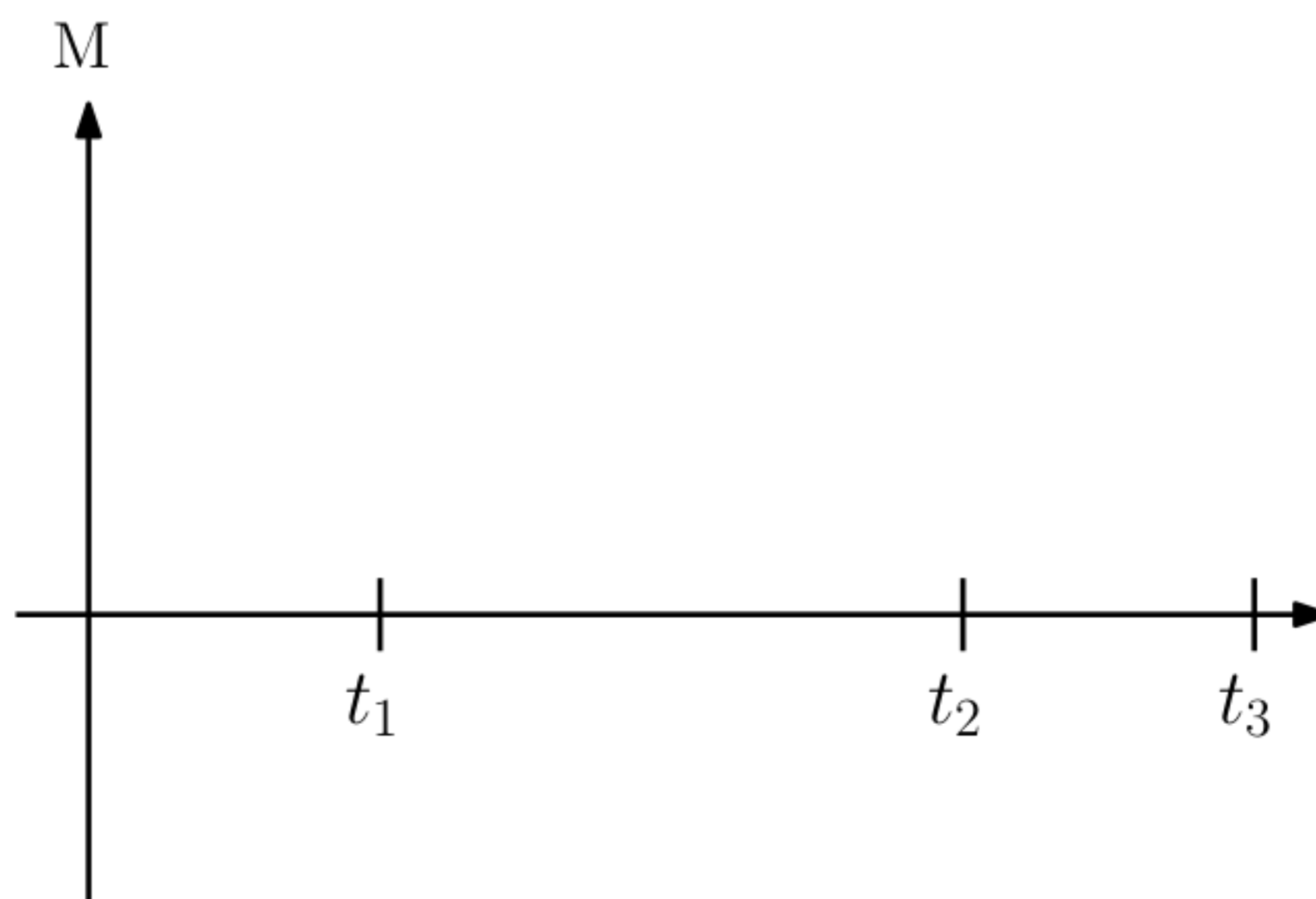


Abbildung 3: Drehmomentprofil

- (7) Berechnen Sie für alle drei Betriebszustände den Maximalwert der Leistung und tragen Sie den Verlauf der Leistungen in das Diagramm in Abb. ?? ein. (6 Punkte)

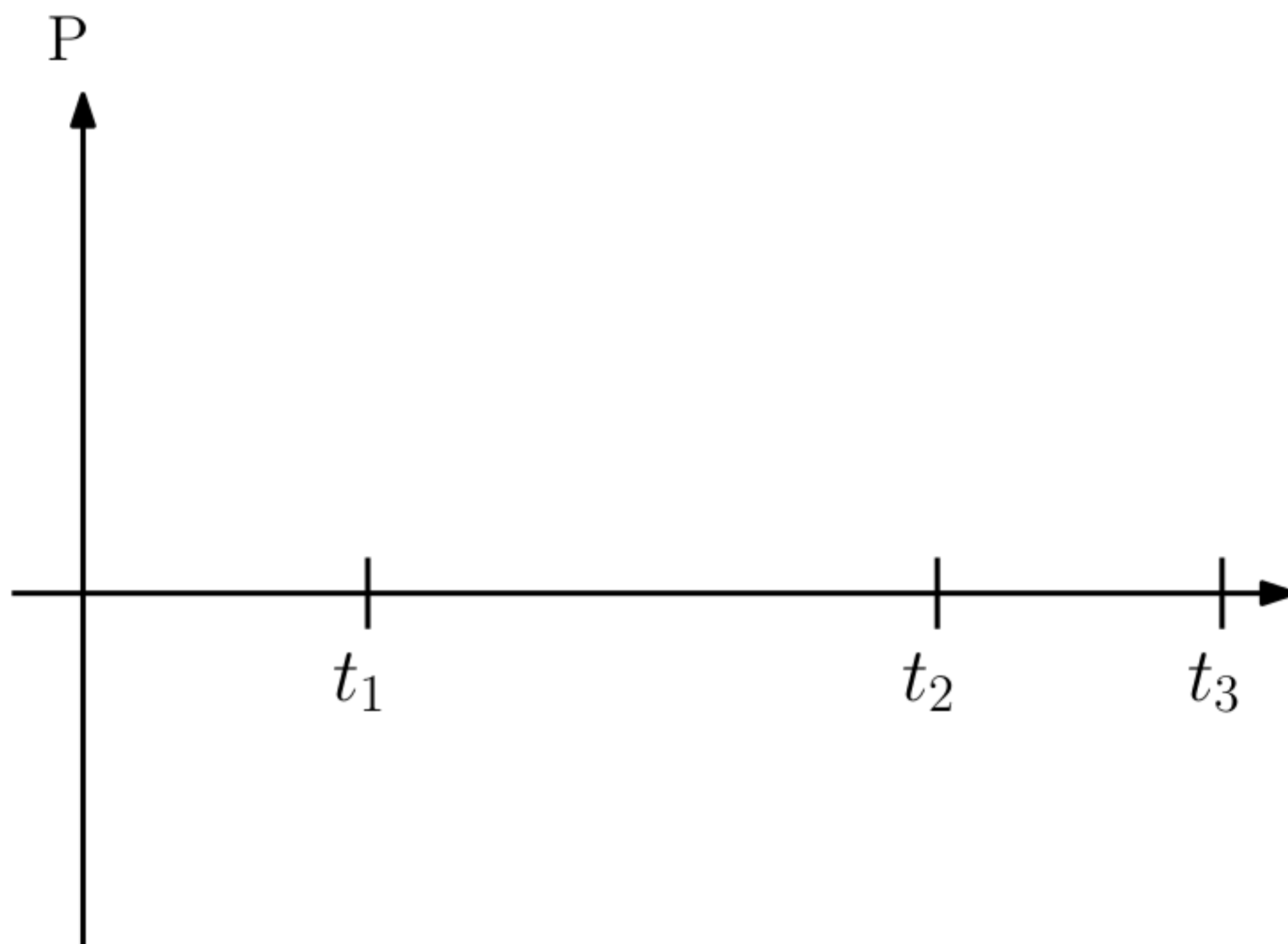


Abbildung 4: Leistungsprofil

- (8) Nehmen Sie an, Sie sollen als Antriebsmaschine einen Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer beschaffen. Auf welche Drehmoment- und Leistungskennwerte müssen Sie beim Kauf achten, welche Bedingungen müssen diese erfüllen? (4 Punkte)

- (9) Wie ändern sich Drehzahl, Trägheitsmoment, Drehmoment und Leistung des Antriebs, wenn sich der Durchmesser des Treibrads verkleinern würde? Geschwindigkeit und Beschleunigung sollen auch bei kleinerem Treibrad $4\frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $2\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ betragen. (4 Punkte)

Aufgabe 2: Asynchronmaschine mit Käfigläufer (30 Punkte)

Eine umrichter gespeiste Asynchronmaschine besitze folgende Daten:

- Bemessungsspannung: $U_d = 400 \text{ V}$
- Bemessungsleistung: $P_N = 5500 \text{ W}$
- Bemessungsphasenwinkel: $\cos(\varphi_N) = 0.88$
- Bemessungsdrehzahl: $n_N = 1440 \text{ U/min}$
- Bemessungsstatorfrequenz: $f_1 = 50 \text{ Hz}$
- 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 $M_N = 30 \text{ Nm}$ an.) (2 Punkte)
- (6) Zeichnen Sie die Stromortskurve für den motorischen Betrieb. Verwenden Sie den Maßstab $1 \text{ cm} = 2,5 \text{ A}$. (Wenn Sie A5 nicht berechnen konnten, nehmen Sie $I_{1N} = 7,5 \text{ A}$ und $I_{w,Kipp} = 15 \text{ A}$ an.) (6 Punkte)



Abbildung 5: 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 75 Hz. Gleich-zeitig wird die Maschine mit ihrem Kippdrehmoment belastet. Dürfen Sie in diesem Punkt dauerhaft fahren? (3 Punkte)

Aufgabe 3: Aufgaben mit Praktikumsbezug (33 Punkte)

Gegeben ist eine einfache Drehzahlregelung der Asynchronmaschine mit folgenden Werten:

$$U_{1N} = 400 \text{ V}$$

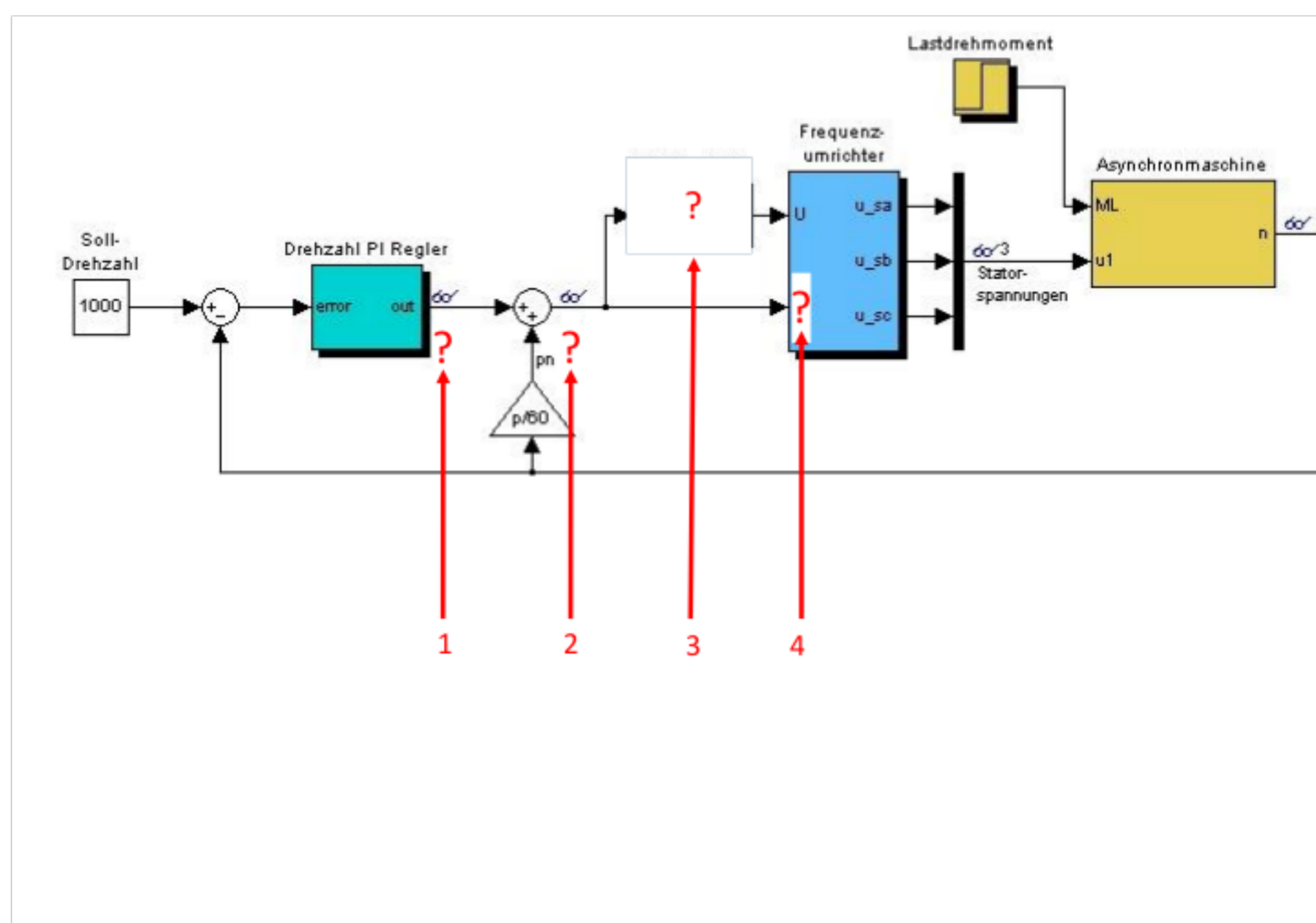
$$F_{1N} = 50 \text{ Hz}$$

$$\cos(\varphi) = 0,8$$

$$I_{1N} = 8 \text{ A}$$

$$R_1 = 1,2 \Omega$$

- (1) Geben Sie für die Fragezeichen 1,2 und 4 in Abbildung ?? an, um welche Größe es sich an der jeweiligen Stelle handelt. (3 Punkte)



- (2) Geben Sie die Spannungen u_{sa} , u_{sb} und u_{sc} am Ausgang des Frequenzumrichters formelmäßig an. (3 Punkte)

- (3) Wie heißt der Block an Stelle von Fragezeichen 3 im Praktikumsskript? (1 Punkt)

- (4) Geben Sie die Gleichung an, mit der der Block realisiert werden kann. (Hinweis: beachten Sie R_1 und $\cos \varphi$) (2 Punkte)

Spannungsverlauf

- (5) Zeichnen Sie den Verlauf einer bipolaren Ausgangsspannung $U_1(t)$ mit $U_{1,av} = -U_d/3$ für zwei Pulsperioden ($0 - 2 \cdot T_P$) am Ausgang eines 4-Quadranten-Stellers! Die Eingangsspannung ist U_d . Kennzeichnen Sie an den Achsen die Pulsfrequenzperiode T_P sowie die Spannungsamplitude U_d . (2 Punkte)



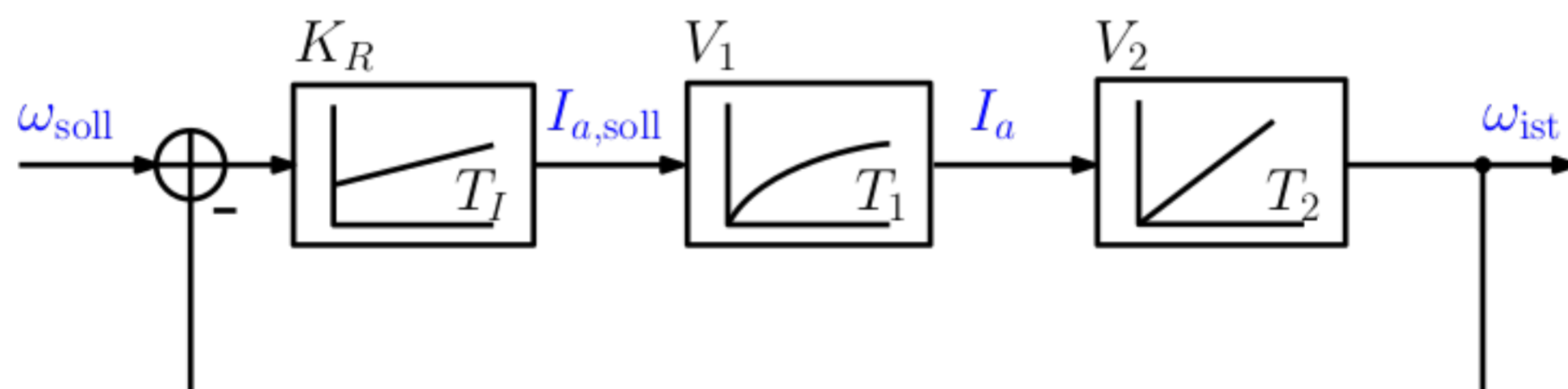
Reglerauslegung

- (6) Ein analoger PI-Regler soll mit Operationsverstärkern aufgebaut werden. Zeichnen Sie sein elektrisches Ersatzschaltbild. (4 Punkte)

- (7) Stellen Sie anhand der Schaltungsparameter die Gleichungen für Integrationszeitkonstante T_I und Reglerverstärkung K_R auf. (4 Punkte)

Regelkreis

Gegeben ist der unten stehende Regelkreis mit einem PI-Regler und folgenden Werten:
 $T_1 = 8 \text{ ms}$, $T_2 = 0,94 \text{ s}$, $V_1 = 2,34$, $V_2 = 1 \frac{1}{\text{As}}$.



- (8)- Berechnen Sie K_R und T_I ($\varphi_R = 37^\circ$). Geben Sie immer die Einheiten mit an. (8 Punkte)

Anti-Windup

Ein Gleichstromsteller habe die Übertragungsfunktion $G_{SR}(s) = \frac{15}{1+T_t \cdot s}$

- (9) Zeichnen Sie das regelungstechnische Ersatzschaltbild eines Stromregelkreises einer Gleichstrommaschine mit begrenzter Ankerspannung $U_a = 400 \text{ V}$. (4 Punkte)

- (10) Der PI-Regler für Aufgabe (9) wird mit Anti-Windup verwendet. Wie hoch muss der Begrenzungsfaktor im PI-Regler eingestellt werden? (2 Punkte)