

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge
fmt, mabau, mecha, medte, tema, tp, ...

06.03.2025

Allgemeine Hinweise:

- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Begründen Sie Ihre Annahmen und erläutern Sie, wenn Sie Zwischenschritte auslassen konnten.
- Wenn Sie Funktionen eines programmierbaren Taschenrechners (GTR) benutzen (z. B.: Umrechnung kartesischer Koordinaten in Exponentialform, Lösen einer quadratischen Gleichung, etc.), so kennzeichnen Sie dies bitte in Ihrer Lösung.
- Verwenden Sie für Ihre Lösungen die vorgefertigten Lösungsblätter.
- Wenn der vorgegebene Platz in den Lösungsblättern nicht ausreicht, dann vermerken Sie dies innerhalb des Lösungsfeldes der entsprechenden Teilaufgabe und verwenden Sie ein zusätzliches Blatt (beschriftet mit Namen und Matrikelnummer!) oder verwenden Sie die leere Rückseite des vorigen Lösungsblattes (von uns bevorzugt).
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht oder in die verlangte Form gebracht werden.
- Geben Sie Ihre Ergebnisse (soweit nicht anders verlangt als **Dezimalzahlen** an (z. B. 95,26) und **nicht** als Brüche (z. B. $4\frac{763}{50}$).
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) und darin die Lösungsblätter und ggf. noch zusätzlich beschriebene Blätter ab.
- Die Aufgabenblätter selbst müssen **nicht** mit abgeben.

Zugelassene Hilfsmittel:

- 6 Seiten Formelsammlung.
- Taschenrechner (auch programmierbar).

Hinweise:

- Die Hinzunahme fremder Hilfe bei Prüfungen ist ein Täuschungsversuch, der eine 5,0 als Prüfungsergebnis nach sich zieht.
- Die Benutzung kommunikationsfähiger Geräte während der Prüfung wird als Täuschungsversuch gewertet.

Aufgabe 1 Gleichstromnetzwerk (20 Punkte)

Im Bild 1.1 ist ein Gleichstromnetzwerk, bestehend aus den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 und R_4 sowie einer Spannungsquelle mit der eingprägten Spannung U_1 und einer Stromquelle mit dem Quellstrom I_0 gegeben. Der Widerstand R_4 kann über den Schalter S zu- bzw. abgeschaltet werden.

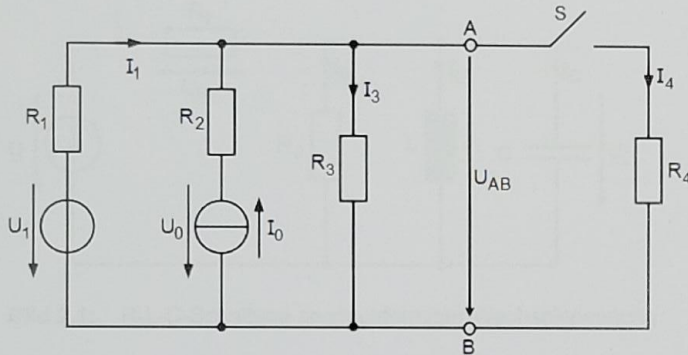


Bild 1.1: Gleichstromnetzwerk mit Spannungsquelle und Stromquelle

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle: $U_1 = 12 \text{ V}$

Quellstrom der Stromquelle: $I_0 = 4 \text{ A}$

Ohm'sche Widerstände: $R_1 = 6 \Omega$

$R_2 = 4 \Omega$

$R_3 = 10 \Omega$

$R_4 = 15 \Omega$

Zunächst sei der Schalter S offen (Leerlauf: Zusätzlicher Index „LL“).

Aufgabe 1.1 Leerlaufspannung, Ersatzwiderstand (9 Punkte)

- Berechnen Sie mit Hilfe des Überlagerungssatzes den Strom $I_{3,LL}$.
- Berechnen Sie die Spannung $U_{AB,LL}$ sowie die Spannung $U_{0,LL}$.
- Berechnen Sie den Ersatzwiderstand (Innenwiderstand) R_{AB} bezüglich der Klemmen A-B.
- Wie groß würde $U_{AB,LL}$ für $R_3 = \infty \Omega$?

Nun sei der Schalter S geschlossen.

Aufgabe 1.2 Ersatzspannungsquelle und Leistungen (7 Punkte)

- Zeichnen Sie die Schaltung aus Bild 1.1 unter Verwendung der Ersatzspannungsquellen-Darstellung mit U_q und R_i erneut auf und geben Sie U_q in Volt und R_i in Ohm an.
- Berechnen Sie
 - den Strom I_4 ,
 - die Spannung U_{AB} ,
 - die Leistung P_{R_4} , die in R_4 in Wärme umgesetzt wird.
 - die Leistung P_{R_i} , die in R_i in Wärme umgesetzt wird.
 - die Leistung P_q , die die Quelle liefert und führen Sie eine Leistungsbilanz durch.

Die Klemmen A-B werden nun kurzgeschlossen (d. h. $R_4 = 0 \Omega$).

Aufgabe 1.3 Kurzschlussstrom (4 Punkte)

- Berechnen Sie in der Schaltung im Bild 1.1 mit Hilfe des Überlagerungssatzes den Strom I_k , der im Kurzschlusszweig A-B fließt. Weshalb ist I_k unabhängig von R_3 ?
- Berechnen Sie den Kurzschlussstrom I_k mittels der Ersatzspannungsquellendarstellung aus Aufgabe 1.2 und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem aus Aufgabe 1.3 a).

Aufgabe 2 Wechselstromnetzwerk (20 Punkte)

Im Bild 2.1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule L , einem Kondensator C und zwei ohmschen Widerständen R_1 und R_2 gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben, die den Spannungseffektivwert U und die Frequenz f , bzw. die zugehörige Kreisfrequenz ω , aufweist.

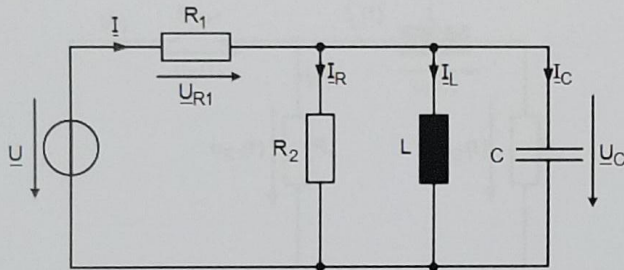


Bild 2.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Rechnen Sie allgemein (d. h. ohne Zahlenwerte) mit U , R_1 , R_2 , L , C und ω .

Aufgabe 2.1 Zeigerdiagramm (4 Punkte)

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, in welchem Sie $I_C / I_L = 8/3$ berücksichtigen und welches alle im Bild 2.1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält.
- Zeichnen Sie in das Zeigerdiagramm den Phasenverschiebungswinkel φ ein und geben Sie an, ob die Schaltung ohmsch, ohmsch-induktiv, ohmsch-kapazitiv, induktiv oder kapazitiv wirkt (kurze Begründung!).

Aufgabe 2.2 Admittanz und Impedanz (4 Punkte)

- Berechnen Sie die Ersatzadmittanz Y_{RLC} der Parallelschaltung von R_2 , L und C und geben Sie das Ergebnis in kartesischer Form an.
- Berechnen Sie aus Y_{RLC} die Ersatzimpedanz Z_{RLC} und geben Sie Z_{RLC} in kartesischer Form an.
- Berechnen Sie die Ersatzimpedanz Z für die gesamte Schaltung bestehend aus R_1 , R_2 , L und C , und geben Sie sie in kartesischer Form an.

Aufgabe 2.3 Frequenzverhalten (12 Punkte)

- Bestimmen Sie die Resonanzkreisfrequenz $\omega = \omega_0$, bei der die Impedanz Z rein reell wird.
- Wie groß wird die Impedanz Z für $\omega \rightarrow 0 \text{ s}^{-1}$, $\omega = \omega_0$ und $\omega \rightarrow \infty \text{ s}^{-1}$? Welchen Effektivwert I nimmt der Strom I in diesen Fällen jeweils an?
- Bestätigen Sie die Ergebnisse für die Impedanz Z bei $\omega \rightarrow 0 \text{ s}^{-1}$ und $\omega \rightarrow \infty \text{ s}^{-1}$ anhand des Verhaltens von L und C bei diesen Frequenzen (Begründung verbal ausreichend, keine Rechnung notwendig!).
- Wirkt die LC-Parallelschaltung bei $\omega = \omega_0$ wie ein Leerlauf oder wie ein Kurzschluss (Begründung)?

Aufgabe 3 Gleichungsvorgänge (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule L , zwei ohmschen Widerständen R_1 und R_2 und einem Schalter S gegeben. Die Schaltung wird an einer idealen Gleichspannungsquelle U betrieben. Wird der Schalter S geöffnet oder geschlossen, kommt es in der Schaltung zu Ausgleichsvorgängen (Einschwingvorgänge).

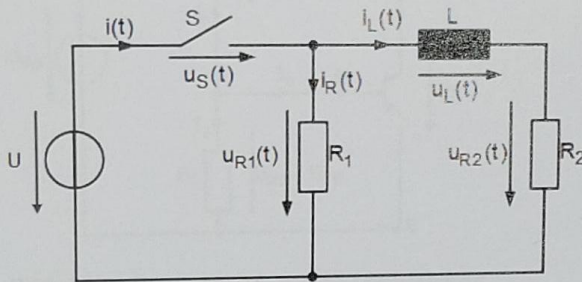


Bild 3.1: Elektrische Schaltung mit Spule und Widerständen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung:	$U = 12 \text{ V}$
Ohm'sche Widerstände:	$R_1 = 6 \Omega$
	$R_2 = 4 \Omega$
Induktivität der Spule:	$L = 24 \text{ mH}$
Der Schalter S ist ideal.	

Hinweis: Sie müssen keine Differentialgleichung (DGL) lösen!

Aufgabe 3.1 Stationäre Ströme und Spannungen 1 (4 Punkte)

Der Schalter S sei bereits unendlich lange Zeit offen gewesen (Stationärer Zustand 1 - zusätzlicher Index „stat1“).

- Geben Sie die Ströme $i_{R,stat1}$, $i_{L,stat1}$ und i_{stat1} an.
- Geben Sie die Spannungen $u_{R1,stat1}$, $u_{R2,stat1}$, $u_{L,stat1}$ und $u_{S,stat1}$ an.

Aufgabe 3.2 Stationäre Ströme und Spannungen 2 (4 Punkte)

Der Schalter S sei bereits unendlich lange Zeit geschlossen gewesen (Stationärer Zustand 2 - zusätzlicher Index „stat2“).

- Geben Sie die Ströme $i_{R,stat2}$, $i_{L,stat2}$ und i_{stat2} an.
- Geben Sie die Spannungen $u_{R1,stat2}$, $u_{R2,stat2}$, $u_{L,stat2}$ und $u_{S,stat2}$ an.

Aufgabe 3.3 Ausgleichvorgang (12 Punkte)

Nun soll der Ausgleichsvorgang untersucht werden, der abläuft, wenn der Schalter bei $t = 0 \text{ s}$ vom offenen in den geschlossenen Zustand gebracht wird.

- Stellen Sie die Differentialgleichung für den Spulenstrom $i_L(t)$ in der Form $\dot{i}_{L,stat} = \tau \cdot \frac{di_L(t)}{dt} + i_{L,stat}$ auf und berechnen Sie den Wert der Zeitkonstante τ in ms und den Wert des sich stationär einstellenden Spulenstroms $i_{L,stat}$ in V.

Der Spulenstrom verläuft für den betrachteten Ausgleichsvorgang nach der Zeitfunktion $i_L(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + i_{L,stat}$.

- Bestimmen Sie den Wert der Konstante k in Ampere (A) und geben Sie die Zeitfunktion $i_L(t)$ mit den Zahlenwerten für k , τ und $i_{L,stat}$ an. Berechnen Sie:
 - Die Zeitspanne Δt in ms in welcher der Strom $i_L(t)$ von 2,8 A auf 2,9995 A ansteigt.
 - Die Zunahme ΔW_L der während Δt in der Spule gespeicherten Energie W_L .
 - Um welchen Betrag Δu_L nimmt die Spannung $u_L(t)$ in der Zeit Δt ab?
 - Bestimmen Sie die für $t \rightarrow \infty \text{ s}$ in der Spule L gespeicherte Energie W_L .

Aufgabe 4 Schaltung mit npn-Bipolartransistor (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist eine Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor gegeben.

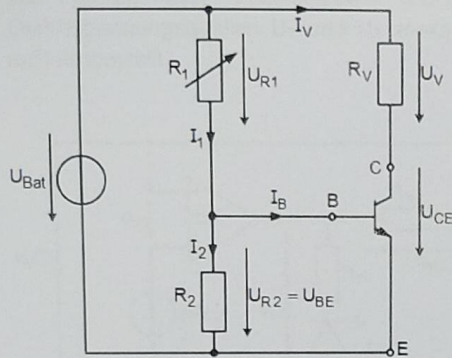


Bild 4.1: Schaltung mit npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung: $U_{\text{Bat}} = 24 \text{ V}$

Verbraucherwiderstand: $R_V = 100 \Omega$

Nennleistung des Verbrauchers: $P_{V,N} = 4 \text{ W}$

npn-Bipolartransistor:

Gleichstromverstärkung: $B = 250$

Basis-Emitter-Spannung: $U_{\text{BE}} = 0,6 \text{ V}$

Maximal zulässige Verlustleistung: $P_{T,\text{max}} = 1 \text{ W}$

Ausgangskennlinienfeld $I_C = f(U_{\text{CE}})$ siehe Lösungsblatt.

Vernachlässigungen:

- U_{BE} darf als konstant, d. h. unabhängig von I_B angenommen werden.
- R_{CE} darf vernachlässigt werden, d. h. $R_{\text{CE}} \rightarrow \infty \Omega$

Aufgabe 4.1 Allgemeinverständnis - (2 Punkte)

- a) Welchen Zweck erfüllt der Transistor in dieser Schaltung?
- b) Unter welcher Vereinfachung (denken Sie an das Ersatzschaltbild des Transistors) gilt die oben genannte Annahme $U_{\text{BE}} = \text{konstant} \neq f(I_B)$?

Aufgabe 4.2 Betrieb bei Nennleistung (AP 1) - (8 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Nennstrom $I_{V,N} = I_{C,N}$ und die Nennspannung $U_{V,N}$ des Verbrauchers R_V .
- b) Berechnen Sie den erforderlichen Basisstrom $I_{B,N}$.
- c) Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2 des Basisspannungsteilers unter der Maßgabe, dass der Strom I_2 zehn Mal größer ist als der Basisstrom I_B .
- d) Wie groß ist die Verlustleistung $P_{T,AP1}$ im Transistor? Ist dieser AP für den Dauerbetrieb zulässig (Begründung!)?
- e) Zeichnen Sie den Arbeitspunkt AP 1 in das Ausgangskennlinienfeld auf dem Lösungsblatt ein und konstruieren Sie die Arbeitsgerade.

Aufgabe 4.3 Arbeitspunkt AP 2 - (10 Punkte)

- a) Auf welchen Widerstandswert muss der Widerstand R_1 eingestellt werden, damit die im Verbraucherwiderstand R_V umgesetzte Leistung 25 % der Nennleistung beträgt.
- b) Wie groß ist die im Transistor in Wärme umgewandelte Leistung $P_{T,AP2}$ in diesem Arbeitspunkt? Darf der Transistor in diesem Arbeitspunkt dauerhaft betrieben werden (Begründung!)?
- c) Zeichnen Sie den AP 2 in das Ausgangskennlinienfeld ein.
- d) Berechnen Sie den Bereich für den Basisstrom I_B , in dem der Transistor nicht dauerhaft betrieben werden darf (d. h. $I_{B,1} < I_B < I_{B,2}$).
Hinweis: Die Grenzen $I_{B,1}$ und $I_{B,2}$ ergeben sich aus den Schnittpunkten der Arbeitsgerade mit der Verlustleistungs-hyperbel.

Aufgabe 5: Schaltung mit Operationsverstärker (20 Punkte)

Im Bild 5.1 ist eine Schaltung mit zwei idealen Operationsverstärkern (OP 1 und OP 2), drei Leuchtdioden (LED 1, LED 2 und LED 3), den Gleichspannungsquellen U_1 und U_2 sowie der variablen Eingangsspannung $u_e(t)$ dargestellt.

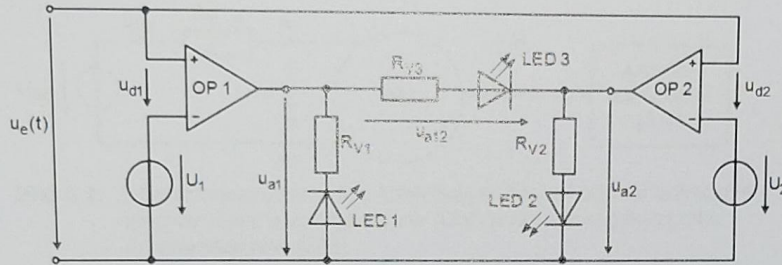


Bild 5.1: Schaltung mit idealen Operationsverstärkern

Für spätere Betrachtungen (siehe Aufgabenstellung) wird der mittlere Schaltungsteil nochmals herausgezeichnet (siehe Bild 5.2):

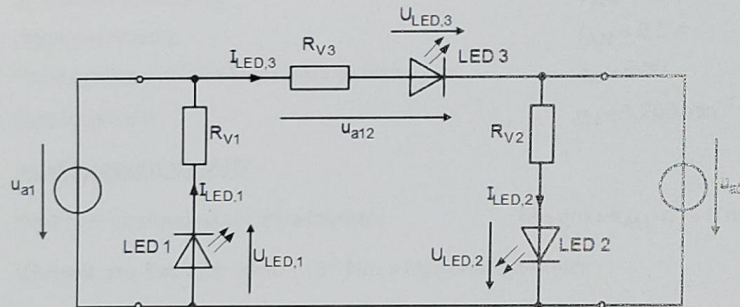


Bild 5.2: Mittlerer Schaltungsteil aus Bild 5.1

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Spannungen: $U_1 = 10 \text{ V}$ $U_2 = 20 \text{ V}$

Annahmen:

- Die Operationsverstärker (OP) dürfen als **ideal** betrachtet werden.
- Die Versorgungsspannung von $\pm U_V = \pm 15 \text{ V}$ der beiden OP ist im Bild 5.1 **nicht** eingezeichnet.
- Bekannte Zusammenhänge für die OP-Grundsaltungen dürfen **ohne** erneute Herleitung verwendet werden.

Aufgabe 5.1 Grundsaltungen (8 Punkte)

- Um welche OP-Grundsaltungen handelt es sich?
- Geben Sie u_{d1} und u_{d2} in Abhängigkeit von u_e , U_1 und U_2 an. Geben Sie u_{a1} und u_{a2} in Abhängigkeit von u_e , U_1 und U_2 an.

Aufgabe 5.2 Linear ansteigende Eingangsspannung (12 Punkte)

- Zeichnen Sie in das vorgefertigte Diagramm für $u_e(t)$ auf dem Lösungsblatt die zugehörigen Spannungsverläufe U_1 , U_2 , u_{d1} , u_{d2} , u_{a1} und u_{a2} ein.

Verwenden Sie für die Beantwortung der weiteren Fragen das in Bild 5.2 gegebene Ersatzschaltbild.

- Ergänzen Sie die vorgefertigte Tabelle auf dem Lösungsblatt.
- Berechnen Sie die Werte der erforderlichen Vorwiderstände R_{V1} , R_{V2} und R_{V3} (Daten der Leuchtdioden siehe Lösungsblatt).

Durch die Leuchtdioden soll farblich angezeigt werden, ob die Spannung u_e kleiner als U_1 (rot) zwischen U_1 und U_2 (gelb) oder größer als U_2 (grün) ist.

- Geben Sie die Farbuordnung für die LED 1, LED 2 und LED 3 an. Ergänzen Sie dafür die vorgefertigte Tabelle auf dem Lösungsblatt.

Aufgabe 6 PM-erregte Gleichstrommaschine (20 Punkte)

Im Bild 6.1 ist das Übersichtsschaltbild eines kleinen 12 V-Antriebssystems dargestellt. Die Arbeitsmaschine (AM) wird von einer starr angekuppelten permanentmagnet-erregten Gleichstrommaschine (GM) angetrieben. Die GM ist über einen verstellbaren Vorwiderstand an eine ideale Batterie mit der Spannung U_{Bat} angeschlossen.

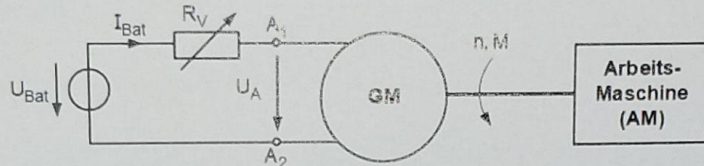


Bild 6.1: Übersichtsschaltbild des Antriebssystems mit permanentmagnet-erregter Gleichstrommaschine (GM) und starr angekuppelter Arbeitsmaschine (AM)

Es sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquelle und Gleichstrommaschine (GM)

Batteriespannung:	$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$
Ankernennspannung:	$U_{\text{A,N}} = 12 \text{ V}$
Ankernennstrom:	$I_{\text{A,N}} = 0,5 \text{ A}$
Wirkungsgrad der GSM im Nennbetrieb:	$\eta_{\text{N}} = 0,60$
Nenndrehzahl	$n_{\text{N}} = 1.200 \text{ min}^{-1}$

Arbeitsmaschine (AM)

Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik:	$M_{\text{AM}}(n) = k_{\text{AM}} \cdot n^2 + 5 \text{ mNm}$
-------------------------------------	--

Hinweis zur Einheit: $\text{mNm} = 10^{-3} \text{ Nm} = \text{Milli-Newton-Meter}$

Annahmen:

- Es werden stets stationäre Verhältnisse vorausgesetzt.
- Bis auf die ohmschen Verluste im Ankerkreis der Gleichstrommaschine dürfen alle weiteren Maschinen-Verluste vernachlässigt werden.

Aufgabe 6.1 Gesamtbetrachtung (10 Punkte)

- Berechnen Sie für $R_V = 0 \Omega$ (Nennbetrieb) die folgenden Größen für die Gleichstrommaschine:
 - Die vom Anker elektrisch aufgenommene Leistung $P_{\text{A,N}}$ in W.
 - Die mechanisch abgegebene Leistung $P_{\text{mech,N}}$ in W.
 - Den Ankerwiderstand R_A in Ω .
 - Die Konstante $c \Phi$ in mVs.
 - Das Nenndrehmoment M_N in mNm.
 - Die Leerlaufdrehzahl n_0 in min^{-1} .
 - Das Anzugsmoment (Stillstandmoment) M_{St} in mNm.
- Berechnen Sie unter der Bedingung, dass sich bei $n = n_N$ ein stabiler Arbeitspunkt einstellt, die Konstante k_{AM} für die Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik der Arbeitsmaschine (AM) und geben Sie den Wert in mNm/min^{-2} an.

Aufgabe 6.2 Arbeitspunkt AP 1 (7 Punkte)

Mittels des Vorwiderstandes R_V soll nun ein neuer Arbeitspunkt AP 1 bei einer Drehzahl von $n_{\text{AP1}} = 800 \text{ min}^{-1}$ eingestellt werden. Berechnen Sie folgende Größen für den Arbeitspunkt AP 1:

- Das Drehmoment M_{AP1} der Gleichstrommaschine in mNm.
- Den Wert in Ohm, auf welchen der Vorwiderstand R_V eingestellt werden muss.
- Die von der GM im AP1 abgegebene mechanische Leistung $P_{\text{mech,AP1}}$.
- Den Wirkungsgrad $\eta_{\text{ges,AP1}}$ des Antriebssystems im AP1.

Aufgabe 6.3 Anlauf der GM (3 Punkte)

Prüfen Sie, ob bei einem Vorwiderstand R_V in Höhe von 150Ω ein Anlauf des Antriebssystems noch möglich ist (Begründung!).