Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

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

29.08.2024

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 kartesische 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 Name 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. 4.763/50).
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) und darin die Lösungsblätter und ggf. noch zusätzlich beschriebene Blätter ab.
- Die Aufgabenblätter brauchen **nicht** abgegeben werden.

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: Gleichstrom (20 Punkte)

Im Bild 1.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit den ohmschen Widerständen R_1, R_2, R_3, R_4 und R_5 abgebildet. Das Widerstandsnetzwerk wird an der Gleichspannungsquelle U betrieben.

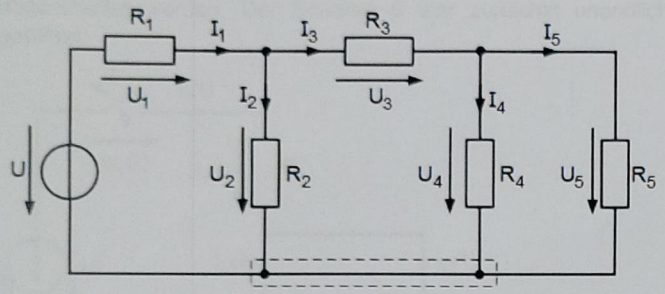

Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnern und Zählpfeilen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle	$U = 12\ V$
Ohmsche Widerstände	$R_1 = 8\ \Omega$
	$R_2 = 48\ \Omega$
	$R_3 = 10\ \Omega$
	$R_4 = 15\ \Omega$
	$R_5 = 10\ \Omega$

Im Folgenden sollen die Ströme, Spannungen und Leistungen berechnet werden.

Aufgabe 1.1 Netzwerkanalyse (5 Punkte)

a) Wie viele Knoten k und Zweige z hat das Netzwerk?

b) Wie viele Unbekannte gibt es und welche Größen sind unbekannt?

c) Wie viele unabhängige Knotengleichungen (KG) und unabhängige Maschengleichungen (MG) würde man für die Bestimmung der Unbekannten benötigen?

Die unbekannten Ströme und Spannungen sollen im Folgenden mit Hilfe der Netzwerkvereinfachung durch Zusammenfassen von Widerständen bestimmt werden.

Aufgabe 1.2 Ersatzwiderstände, Ströme und Spannungen (9 Punkte)

a) Fassen Sie zunächst alle Widerstände sukzessive zu einem Ersatzwiderstand zusammen, sodass Sie den Strom I_1 berechnen können. Zeichnen Sie nach jeder Vereinfachung das entsprechende Ersatzschaltbild!

b) Bestimmen Sie nun die restlichen Ströme und die Spannungen in der folgenden Reihenfolge:

- U_1, U_2, I_2, I_3, U_3, U_4, I_4, U_5 und I_5.

Aufgabe 1.3 Leistungen (6 Punkte)

a) Bestimmen Sie die elektrische Energie W_{Quelle} in J (Joule) die die Spannungsquelle in der Zeit $\Delta t = 15$ Minuten liefert.

b) Was passiert mit der von der Quelle gelieferten elektrischen Energie?

c) Um wieviel Grad Celsius könnte man 100 Gramm Wasser mit der Energiemenge W_{Quelle} erwärmen?

Hinweis: Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt

$$c = 4{,}2\ \frac{kJ}{kg \cdot K}.$$

Aufgabe 2: Schaltvorgänge – Verhalten der Spule (20 Punkte)

Im Bild 2.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit den ohmschen Widerständen R_1, R_2, einer Gleichspannungsquelle U und einer Spule L abgebildet. Über den Schalter S kann die Spannungsquelle zu- und abgeschaltet werden. Der Schalter S war zunächst unendlich lange Zeit geöffnet!

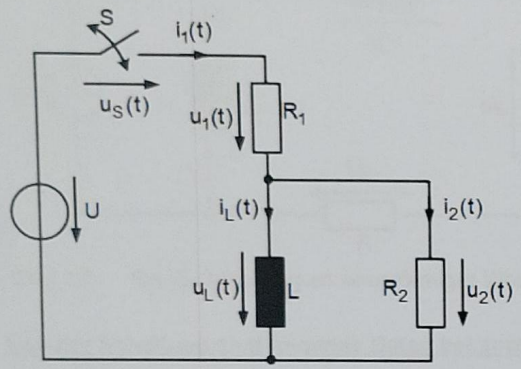

Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit einer Spule.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle	U = 12 V
Ohmsche Widerstände	R_1 = 12 Ω
	R_2 = 8 Ω
Induktivität der Spule	L = 200 mH

Hinweise:

- Sie müssen **keine** Einschwingvorgänge berechnen!
- Sie müssen **keine** Differentialgleichungen aufstellen und auch **keine** Differentialgleichungen lösen!
- Sie können die Aufgabe durch einfache Überlegungen anhand des Verhaltens der Spule zu den betrachteten Zeitpunkten lösen.

Aufgabe 2.1 Grundgesetz für die Spule L (2 Punkte)

a) Wie lautet der Zusammenhang zwischen der Spulenspannung $u_L(t)$ und dem Spulenstrom $i_L(t)$?

b) Welche Größe – $i_L(t)$ oder $u_L(t)$ – ist die Energie kennzeichnende Größe und welche Bedingung muss für die Energie kennzeichnende Größe gelten?

Aufgabe 2.2 Der Schalter S wird geschlossen (4 Punkte)

Zum Zeitpunkt t = 0 s wird der zuvor unendlich lange geöffnete Schalter S geschlossen. Geben Sie für den Zeitpunkt $t = 0_+$ s (theoretisch unendlich kurz nachdem S geschlossen ist) folgende Größen an:

- $i_L(t = 0_+ \text{ s})$, $i_1(t = 0_+ \text{ s})$, $i_2(t = 0_+ \text{ s})$, $u_1(t = 0_+ \text{ s})$, $u_2(t = 0_+ \text{ s})$ und $u_L(t = 0_+ \text{ s})$.

Aufgabe 2.3 Schalter S sei unendlich lange geschlossen (7 Punkte)

Der Schalter sei theoretisch unendlich lange geschlossen.

a) Geben Sie folgende Größen an:

- $u_L(t = \infty \text{ s})$, $u_2(t = \infty \text{ s})$, $i_2(t = \infty \text{ s})$, $u_1(t = \infty \text{ s})$, und $i_L(t = \infty \text{ s})$.

b) Berechnen Sie die in der Spule gespeicherte Energie W_L in mJ.

Aufgabe 2.4 Schalter S wird wieder geöffnet (7 Punkte)

Der zuvor unendlich lange geschlossene Schalter S wird zum Zeitpunkt t' = 0 s wieder geöffnet.

a) Geben Sie für den Zeitpunkt $t' = 0_+$ s (theoretisch unendlich kurz nachdem S wieder offen ist) folgende Größen an:

- $i_1(t' = 0_+ \text{ s})$, $u_1(t' = 0_+ \text{ s})$, $i_L(t' = 0_+ \text{ s})$, $i_2(t' = 0_+ \text{ s})$, $u_2(t' = 0_+ \text{ s})$ und $u_L(t' = 0_+ \text{ s})$.
- Welche Spannung $u_S(t' = 0_+ \text{ s})$ kann am Schalter S gemessen werden?

b) Was geschieht mit der in L zuvor gespeicherten Energie, wenn der Schalter S unendlich lange Zeit geöffnet bleibt?

Aufgabe 3: Wechselstromrechnung (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit zwei Spulen, einem Kondensator und einem ohmschen Widerstand gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben.

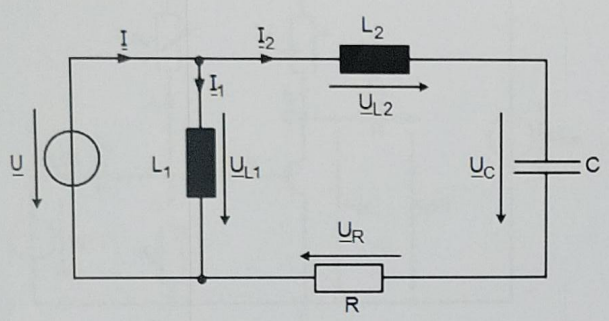

Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungseffektivwert der Kondensatorspannung:	$U_C = 18$ V
Nullphasenwinkel der Kondensatorspannung:	$\varphi_{UC} = 0°$
Frequenz der sinusförmigen Spannung:	$f = 50$ Hz
Ohm'scher Widerstand:	$R = 5\ \Omega$
Blindwiderstände der Spulen:	$X_{L1} = 10\ \Omega$
	$X_{L2} = 12\ \Omega$
Blindwiderstand des Kondensators:	$X_C = 9\ \Omega$

Aufgabe 3.1 Zeigerdiagramm (5 Punkte)

a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für $U_C = 0{,}5 \cdot U_{L2}$ welches alle im Bild 3.1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält.

b) 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 3.2 Ströme, Spannungen und Impedanz (8 Punkte)

a) Berechnen Sie folgende Ströme und Spannungen und geben Sie sie in kartesischer Form an: $\underline{I}_2$, $\underline{U}_R$, $\underline{U}_{L2}$, $\underline{U}_{L1}$, $\underline{I}_1$, $\underline{U}$ und $\underline{I}$.

b) Berechnen Sie den Effektivwert U der Spannung $\underline{U}$ sowie deren Nullphasenwinkel φ_U.

c) Berechnen Sie mittels $\underline{U}$ und $\underline{I}$ die Impedanz $\underline{Z}$ der Schaltung.

d) Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}$ der Schaltung aus R, X_{L1}, X_{L2} und X_C und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem aus der vorigen Teilaufgabe.

Aufgabe 3.3 Schein-, Wirk- und Blindleistung (7 Punkte)

a) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P und die Blindleistung Q.

b) Berechnen Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q aus Teilleistungen und vergleichen Sie die Ergebnisse miteinander.
Um welche Art von Blindleistung handelt es sich?
Durch welchen zusätzlichen Zweipol könnte die Blindleistung kompensiert werden?

Aufgabe 4: Kleinsignalverstärker (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist die Schaltung eines Kleinsignalverstärkers mit einem npn-Bipolartransistor gegeben.

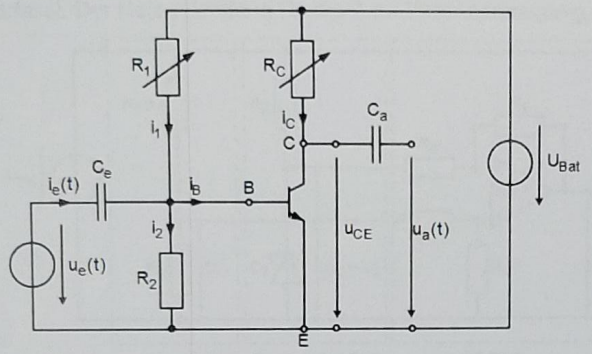

Bild 4.1: Kleinsignalverstärker mit npn – Bipolartransistor.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung:	$U_{Bat} = 12\ V$
Signalspannung:	$u_e(t) = 10\ mV \cdot \sin(\omega \cdot t)$
Stromverstärkungen:	$B = \beta = 300$
Basis-Emitter-Widerstand:	$R_{BE} = 200\ \Omega$
Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode:	$U_{BE0} = 0{,}6\ V$
Kollektorstrom im Arbeitspunkt:	$I_{C(AP)} = 30\ mA$

Annahmen und Vernachlässigungen:

- R_{CE} darf vernachlässigt werden, d. h., $R_{CE} \to \infty\ \Omega$
- Die Blindwiderstände der Kondensatoren dürfen bei der Wechselstrombetrachtung vernachlässigt werden.
- Bei den Größen $u_e(t)$, $u_a(t)$ und $i_e(t)$ handelt es sich um Wechselgrößen.
- Bei den anderen in Kleinschreibweise angegebenen Spannungen (z. B. u_{CE}) und Strömen (z. B. i_C) handelt es sich um Mischgrößen.

Aufgabe 4.1 Allgemeinverständnis (4 Punkte)

a) In welcher Grundschaltung wird hier der Transistor betrieben?

b) Welche Funktion hat die im Bild 4.1 gegebene Schaltung?

c) Zu welchem Zweck werden die Widerstände R_1, R_2 und R_C benötigt?

d) Wozu benötigt man die Kondensatoren C_e und C_a?

Aufgabe 4.2 Arbeitspunkteinstellung (7 Punkte)

a) Berechnen Sie die Widerstandswerte R_1 und R_2, sodass der Strom $I_2 = 5 \cdot I_{B(AP)}$ beträgt und im Kollektorkreis der geforderte Kollektorstrom $I_{C(AP)}$ fließt (I_2, $I_{B(AP)}$ und $I_{C(AP)}$ sind die Gleichanteile der Ströme i_2, i_B und i_C).

Durch eine Messung wird bei der angelegten Spannung $u_e(t)$ die Kollektor-Emitter-Spannung $u_{CE} = 9\ V - 1{,}5\ V \cdot \sin(\omega \cdot t)$ ermittelt.

b) Auf welchen Wert wurde R_C eingestellt?
Begründen Sie kurz, weshalb der eingestellte Arbeitspunkt nicht optimal ist.

c) Auf welchen Wert muss R_C eingestellt werden, damit der Arbeitspunkt optimal ist?

Rechnen Sie im Folgenden mit den unter Aufgabe 4.2 a) berechneten Werten für R_1 und R_2, sowie mit dem unter Aufgabe 4.2 c) berechneten Wert für R_C weiter.

Aufgabe 4.3 Wechselstromanalyse (9 Punkte)

Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (mit Bezeichnern und Zählpfeilen für $u_e(t)$, $i_e(t)$, $i_B(t)$, $i_{C0}(t)$, $i_C(t)$, $u_{CE}(t)$) und berechnen Sie:

- Die Amplitude $\hat{i}_B$ des Wechselanteils des Basisstromes i_B.
- Die Amplitude $\hat{i}_e$ des Wechselanteils des Stromes $i_e(t)$.
- Die Amplitude $\hat{u}_{CE}$ des Wechselanteiles der Spannung u_{CE} und geben Sie die Zeitfunktion für u_{CE} an.
- Die Spannungsverstärkung v_U.

Aufgabe 5: Operationsverstärker (20 Punkte)

Im Bild 5.1 ist die Schaltung einer Temperaturregelung dargestellt.
Mit dem temperaturabhängigen Widerstand $R_1(\vartheta)$ wird die Ist-Temperatur erfasst. Der Heizwiderstand R_H dient zur Wärmeerzeugung.

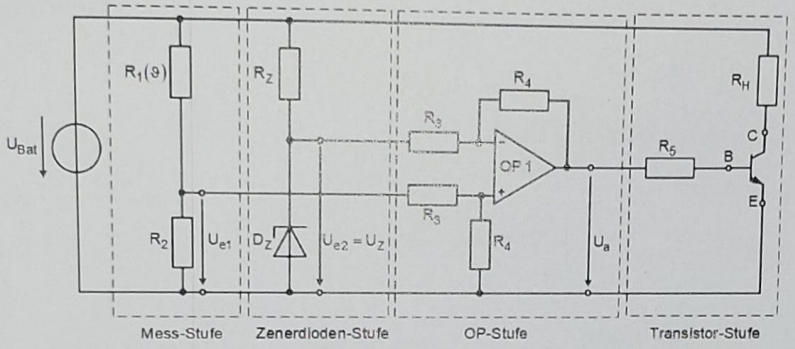

Bild 5.1: Schaltung zur Temperaturregelung eines Wärmeschrankes.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Batteriespannung	$U_{Bat} = 12\ V$
Temperaturabhängiger Widerstand	$R_1(\vartheta) = 100\ \Omega \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20°C}{100°C}\right)$
Widerstände	$R_2 = 500\ \Omega$, $R_3 = 100\ k\Omega$, $R_4 = 400\ k\Omega$, $R_5 = 100\ \Omega$, $R_H = 10\ \Omega$
Zenerspannung der Zenerdiode	$U_{Z0} = 9{,}90\ V$
Dynamischer Widerstand der Zenerdiode	$R_{DZ} = 10\ \Omega$
Transistor-Gleichstromverstärkung	$B = 100$
Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Diode	$U_{BE0} = 0{,}6\ V$
Basis-Emitter-Widerstand	$R_{BE} = 100\ \Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand	$R_{CE} \rightarrow \infty\ \Omega$

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannung des OP von ± 12 V ist im Bild 5.1 nicht eingezeichnet.
- Der OP darf als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für OP-Grundschaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung" genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Mess-Stufe (5 Punkte)

a) Berechnen Sie $R_1(11{,}13°C)$, $R_1(-16{,}5°C)$ und $R_1(-20°C)$.

b) Geben Sie $U_{e1}(\vartheta)$ in Abhängigkeit von U_{Bat}, $R_1(\vartheta)$ und R_2 an und erklären Sie kurz, weshalb R_3 und R_4 bei der Berechnung von U_{e1} vernachlässigt werden können.

c) Berechnen Sie $U_{e1}(11{,}13°C)$, $U_{e1}(-16{,}5°C)$ und $U_{e1}(-20°C)$.

Aufgabe 5.2 Zenerdioden-Stufe (6 Punkte)

a) Geben Sie $U_Z = U_{e2}$ in Abhängigkeit von U_{Bat}, U_{Z0}, R_{DZ}, und R_Z an.

b) Geben Sie R_Z in Abhängigkeit von U_{Bat}, U_{Z0}, U_Z und R_{DZ} an.
Berechnen Sie den Wert für R_Z, sodass $U_{e2} = U_Z = 10\ V$ wird.

c) Prüfen Sie anhand der Gleichung aus Teilaufgabe a), ob für das unter Teilaufgabe b) berechnete R_Z tatsächlich $U_{e2} = U_Z = 10\ V$ ist.

Aufgabe 5.3 OP-Stufe (3 Punkte)

a) Um welche OP-Grundschaltung handelt es sich?

b) Geben Sie $U_a(\vartheta)$ in Abhängigkeit von $U_{e1}(\vartheta)$, U_{e2}, R_3 und R_4 an.

c) Berechnen Sie $U_a(11{,}13°C)$, $U_a(-16{,}5°C)$ und $U_a(-20°C)$.

Aufgabe 5.4 Transistor-Stufe (6 Punkte)

a) Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB) für diesen Schaltungsteil und versehen Sie es mit Zählpfeilen und den Bezeichnern für die Größen U_{Bat}, U_a, U_{BE}, U_{BE0}, I_B, I_{C0} und I_C.

b) Berechnen Sie den Kollektorstrom I_C, den Basisstrom I_B und die erforderliche Eingangsspannung U_a, sodass die Heizleistung P_H in R_H 10 W beträgt.

c) Bei welcher Temperatur ϑ_x wird die Heizleistung $P_H = 10\ W$ erreicht?

d) Nimmt die Heizleistung für Temperaturen $\vartheta > \vartheta_x$ zu oder ab (kurze Begründung)?

Aufgabe 6 Gleichstrommaschine (20 Punkte)

Im Bild 6.1 ist ein Antriebssystem für ein batteriebetriebenes Elektrowerkzeug dargestellt. Der Antrieb besteht aus einer permanentmagneterregten Gleichstrommaschine GM, die mittels eines variablen Vorwiderstandes R_V aus einer Batterie mit der konstanten Batteriespannung U_{Bat} versorgt werden kann.

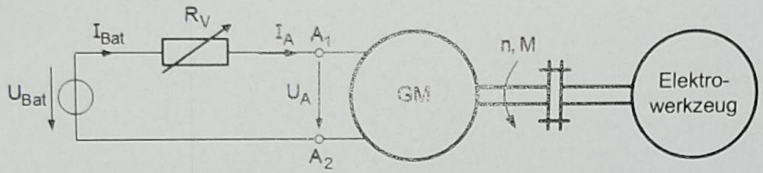

Bild 6.1 Übersichtsschaltbild des Antriebssystems.

Für die Batterie gilt:

Batteriespannung:	$U_{Bat} = 12$ V

Von der GM sind folgende Daten bekannt:

Nennspannung	$U_{A,N} = 12$ V
Nennstrom	$I_{A,N} = 10$ A
Nenndrehzahl	$n_N = 4.000$ min^{-1}
Motorwirkungsgrad im Nennbetrieb	$\eta_{M,N} = 80$ %

Vereinfachungen:

- Die Batterie darf als ideale Spannungsquelle betrachtet werden.
- Außer den Kupferverlusten in der Ankerwicklung dürfen alle weiteren Motorverluste vernachlässigt werden.
- Reibungsverluste werden vernachlässigt.
- Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.

Aufgabe 6.1 Verständnisfragen (5 Punkte)

a) Zu welchem Zweck wird der Vorwiderstand R_V verwendet?

b) Welchen Nachteil hinsichtlich des Gesamtwirkungsgrades bringt die Verwendung eines Vorwiderstandes R_V mit sich?
Was könnte man anstelle des Vorwiderstandes verwenden, um diesen Nachteil zu vermindern (Stichwort genügt)?

Aufgabe 6.2 Nennbetrieb der GM (8 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen für den Nennbetrieb (Index „N") des Motors:

- Die aufgenommene elektrische Leistung $P_{el,N}$ in W.
- Die abgegebene mechanische Leistung $P_{mech,N}$ W.
- Die Motorverluste $P_{V,N}$ in W.
- Den Wicklungswiderstand R_A in Ω.
- Die induzierte Spannung $U_{i,N}$ in V.
- Das Nenndrehmoment M_N in Nm.
- Die Maschinenkonstante $(c \cdot \Phi)_N$ in mVs.
- Die Leerlaufdrehzahl $n_{0,N}$ in min^{-1}.

Im Folgenden soll der Arbeitspunkt AP 1 (Index „AP1") mit $n_{AP1} = 3.000$ min^{-1} und $M_{AP1} = 0{,}8 \cdot M_N$ eingestellt werden.

Aufgabe 6.3 Arbeitspunkt AP 1 (7 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen für den Arbeitspunkt AP 1:

- Die vom Motor abgegebene mechanische Leistung $P_{mech,AP1}$ in W.
- Die induzierte Spannung $U_{i,AP1}$ in V.
- Die Spannung $U_{A,AP1}$ in V.
- Den Wert des Vorwiderstandes $R_{V,AP1}$ in Ω.
- Den Wirkungsgrad η_{AP1} des Antriebssystems.