

## Prüfung

# Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge

ee, fnt, mabau, mecha, medte, tema, tp, ...

**14.09.2017**

## 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 extra ausgeteilten 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 vorhergehenden Lösungsblattes.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) und darin die Lösungsblätter und ggf. noch zusätzlich beschriebene Blätter ab.
- Die Aufgabenblätter selbst bitte nicht mit abgeben.

## Aufgabe 1: Gleichstrom (20 Punkte)

In Abbildung 1-1 ist ein Gleichstromnetzwerk, bestehend aus ohmschen Widerständen einer Spannungsquelle und einer Stromquelle gegeben. Der Widerstand  $R_4$  kann über den Schalter  $S$  zu- bzw. abgeschaltet werden.

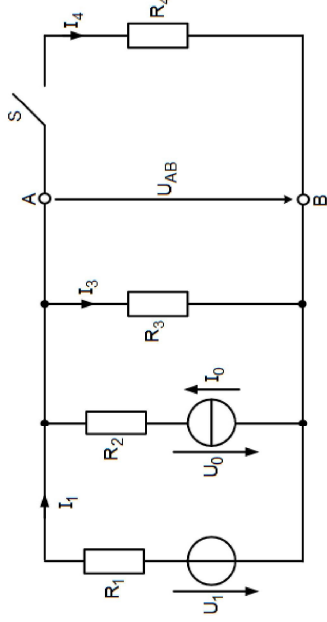


Abbildung 1-1: Gleichstromnetzwerk mit Spannungs- und Stromquelle

Rechnen Sie zunächst allgemein (d. h., ohne Zahlenwerte) mit  $U_1$ ,  $I_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$ .

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

### Aufgabe 1.1: Leerlaufspannung, Ersatzwiderstand (12 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 Ersatzinnenwiderstand  $R_{AB}$  bezüglich der Klemmen A-B.
- Zeichnen Sie den Schaltungsteil links der Klemmen A-B als Ersatzspannungsquelle (ESP) und geben Sie die Quellenspannung  $U_{q,ESP}$  und den Innenwiderstand  $R_{i,ESP}$  an.

e) Wie groß würde  $U_{AB,LL}$ , wenn  $R_3$  herausgenommen würde?

- Bilden Sie den Grenzwert  $\lim_{R_3 \rightarrow \infty} (U_{AB,LL})$ .
- Prüfen Sie das Ergebnis durch die Anwendung der Maschenregel in dem verbleibenden Netzwerk.

Die Klemmen A-B werden nun kurzgeschlossen.

#### Aufgabe 1.2: Kurzschlussstrom (4,5 Punkte)

a) Berechnen Sie mit Hilfe des Überlagerungssatzes den Strom  $I_K$ , der im Kurzschlusszweig A-B fließt. Pfeilen Sie den Strom in Richtung von A nach B.

Weshalb ist  $I_K$  unabhängig von  $R_3$ ?

b) Berechnen Sie mit Hilfe des Kurzschlussstromes  $I_K$  und des Ersatzwiderstandes  $R_{AB}$  aus Aufgabe 1.1 c) die Spannung  $U_{q,ESP}$  für die Ersatzspannungsquellen-Darstellung und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem aus Aufgabe 1.1 d).

Nun sei der Schalter S geschlossen.

#### Aufgabe 1.3: Leistung (3,5 Punkte)

a) Zeichnen Sie die Schaltung aus Abbildung 1-1 unter Verwendung der Ersatzspannungsquellen-Darstellung erneut auf.

- b) Berechnen Sie für  $U_{q,ESP} = 70 \text{ V}$ ,  $R_{i,ESP} = 5 \Omega$  und  $R_4 = 30 \Omega$
- den Strom  $I_4$ ,
  - die Spannung  $U_{AB}$ ,
  - die Leistung  $P_{R4}$ , die in  $R_4$  in Wärme umgesetzt wird.

#### Aufgabe 2: Wechselstrom (20 Punkte)

In Abbildung 2-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule, einem Kondensator und zwei ohmschen Widerständen gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben, die den Spannungseffektivwert  $\underline{U}$  und die Frequenz  $f$ , bzw. die zugehörige Kreisfrequenz  $\omega$ , aufweist.

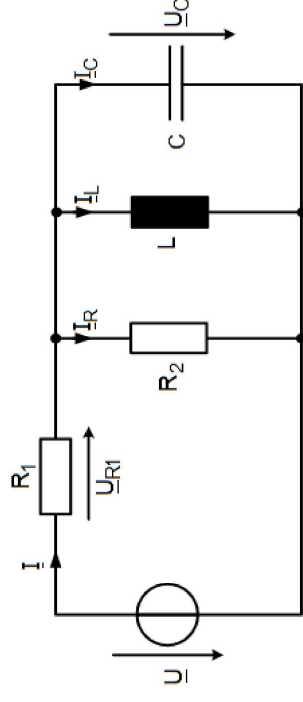


Abbildung 2-1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Rechnen Sie allgemein (d. h., ohne Zahlenwerte) mit den Variablen  $\underline{U}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L$ ,  $C$  und  $\omega$ .

#### Aufgabe 2.1: Zeigerdiagramm (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, in welchem Sie  $I_C > I_L$  berücksichtigen und welches alle in Abbildung 2-1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält.
- b) Zeichnen Sie in das Zeigerdiagramm den Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$  zwischen Strom  $\underline{I}$  und Spannung  $\underline{U}$  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  $\underline{Y}_{RLC}$  der Parallelschaltung von  $R_2$ ,  $L$  und  $C$  und geben Sie das Ergebnis in kartesischer Form an.
- Berechnen Sie aus  $\underline{Y}_{RLC}$  die Ersatzimpedanz  $\underline{Z}_{RLC}$  und geben Sie  $\underline{Z}_{RLC}$  in kartesischer Form an.
- Berechnen Sie die Ersatzimpedanz  $\underline{Z}$  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  $\omega = \omega_0$  in Abhängigkeit von  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L$ ,  $C$ , bei der die Impedanz  $\underline{Z}$  rein reell wird.
- Wie groß wird die Impedanz  $\underline{Z}$  für  $\omega \rightarrow 0 \text{ s}^{-1}$ ,  $\omega = \omega_0$  und  $\omega \rightarrow \infty \text{ s}^{-1}$ ? Welchen Effektivwert  $I$  nimmt der Strom  $\underline{I}$  in diesen Fällen an?
- Bestätigen Sie die Ergebnisse für die Impedanz  $\underline{Z}$  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!). Zum besseren Verständnis können Sie jeweils ein Ersatzschaltbild zeichnen (optional).
- Wirkt die LC-Parallelschaltung bei  $\omega = \omega_0$  wie ein Leerlauf oder wie ein Kurzschluss (Begründung)?

**Aufgabe 3: Einschwingvorgang (20 Punkte)**

In Abbildung 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 Gleichspannungsquelle  $U$  betrieben. Wird der Schalter  $S$  geöffnet oder geschlossen, kommt es in der Schaltung zu Einschwingvorgängen.

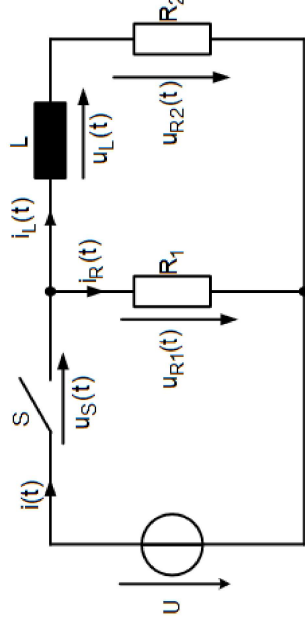


Abbildung 3-1: Elektrische Schaltung mit Spule und Widerständen

**Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:**

Spannung:  $U = 10 \text{ V}$

Ohm'sche Widerstände:  $R_1 = R_2 = 10 \, \Omega$

Induktivität der Spule:  $L = 25 \text{ mH}$

**Aufgabe 3.1: Stationäre Ströme und Spannungen 1 (4 Punkte)**

Zunächst sollen die stationären Ströme und Spannungen unter der Voraussetzung, dass der Schalter  $S$  bereits unendlich lange Zeit **offen** gewesen ist, berechnet werden (zusätzlicher Index „stat“).

- 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 (3 Punkte)**

Nun sollen die stationäre Ströme und Spannungen unter der Voraussetzung, dass der Schalter S bereits unendlich lange Zeit geschlossen gewesen ist, berechnet werden (Zusätzlicher Index „stat2“).

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

**Aufgabe 3.3: Ausgleichvorgang 1 (6 Punkte)**

Nun soll der Ausgleichsvorgang untersucht werden, der abläuft, wenn der Schalter bei  $t = 0$  s vom offenen in den geschlossenen Zustand gebracht wird, d. h., der Übergang vom stationären Zustand 1 in den stationären Zustand 2.

- a) Stellen Sie anhand der Maschengleichung die Differentialgleichung für den Spulenstrom  $i_L(t)$  in der Form  $i_{L,stat2} = \tau_1 \cdot \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t)$  auf und berechnen Sie den Wert der Zeitkonstante  $\tau_1$  in ms.

- b) Bestimmen Sie mittels der Anfangsbedingung die Zeitfunktion

$$i_L(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + i_{L,stat2} \quad (\text{mit Zahlenwerten}), \text{ die den Ausgleichsvorgang für } t > 0 \text{ s beschreibt.}$$

- c) Skizzieren Sie den vollständigen Verlauf von  $i_L(t)$  in das vorbereitete Zeitdiagramm.

**Aufgabe 3.4: Ausgleichvorgang 2 (7 Punkte)**

Nun soll der Ausgleichsvorgang untersucht werden, der abläuft, wenn der Schalter bei  $t = 0$  s wieder vom geschlossenen in den offenen Zustand gebracht wird, d. h., der Übergang vom stationären Zustand 2 in den stationären Zustand 1.

(für die Zeitachse ab Beginn der erneuten Schalthandlung darf zur Vereinfachung dieselbe Variable  $t$  verwendet werden)

- a) Stellen Sie anhand der Maschengleichung die Differentialgleichung für den Spulenstrom  $i_L(t)$  in der Form  $i_{L,stat1} = \tau_2 \cdot \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t)$  auf und berechnen Sie den Wert der Zeitkonstante  $\tau_2$  in ms.

- b) Bestimmen Sie mittels der Anfangsbedingung die Zeitfunktion

$$i_L(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} + i_{L,stat1} \quad (\text{mit Zahlenwerten}), \text{ die den Ausgleichsvorgang für } t > 0 \text{ s beschreibt.}$$

- c) Skizzieren Sie den vollständigen Verlauf von  $i_L(t)$  in das vorbereitete Zeitdiagramm.

- d) Beschreiben Sie kurz (ohne Rechnung), was mit der anfangs in der Spule gespeicherten Energie während des Ausgleichsvorganges passiert.

#### Aufgabe 4: Schaltung mit Bipolartransistor (20 Punkte)

In Abbildung 4-1 ist eine Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor gegeben.

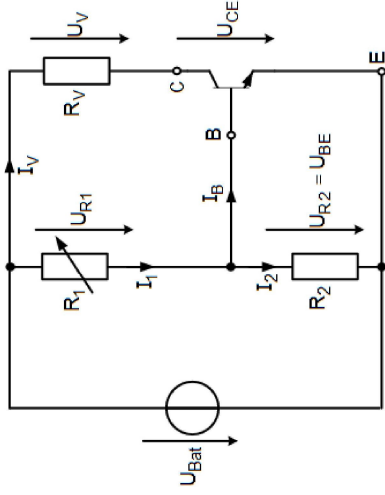


Abbildung 4-1: Schaltung mit npn-Bipolartransistor

#### Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

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

Verbraucherwiderstand:  $R_V = 100 \Omega$

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

nnp-Bipolartransistor:

Gleichstromverstärkung:  $B = 250$

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

Maximal zulässige Verlustleistung:  $P_{T,\text{max}} = 1.000 \text{ mW}$

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

#### Vernachlässigungen:

- $U_{\text{BE}}$  darf als konstant, d. h., unabhängig von  $I_B$  angenommen werden.
- $R_{\text{CE}}$  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 im Ersatzschaltbild des Transistors gilt die oben genannte Annahme, dass  $U_{\text{BE}} = \text{konstant}$ ?

#### Aufgabe 4.2: Betrieb bei Nennleistung (AP 1) - (9 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?
- e) Zeichnen Sie den Arbeitspunkt AP 1 in das Kennlinienfeld auf dem Lösungsblatt ein und konstruieren Sie die Arbeitsgerade.

#### Aufgabe 4.3: Arbeitspunkt AP 2 - (9 Punkte)

- a) Berechnen Sie, auf welchen Widerstandswert der Widerstand  $R_1$  eingestellt werden muss, damit die im Verbraucherwiderstand  $R_V$  umgesetzte Leistung 25 % der Nennleistung ist.
- b) Wie groß ist die im Transistor in Wärme umgewandelte Leistung  $P_{T,AP2}$  in diesem Arbeitspunkt?
- c) Darf der Transistor in diesem Arbeitspunkt dauerhaft betrieben werden (Begründung)?
- d) Zeichnen Sie den AP 2 in das Kennlinienfeld ein.

### Aufgabe 5: Schaltung mit Operationsverstärker (20 Punkte)

In Abbildung 5-1 ist eine Schaltung mit zwei idealen Operationsverstärkern (OP 1 und OP 2), drei Leuchtdioden, den Spannungsquellen  $U_1$  und  $U_2$  sowie der variablen Eingangsspannung  $u_e(t)$  dargestellt.

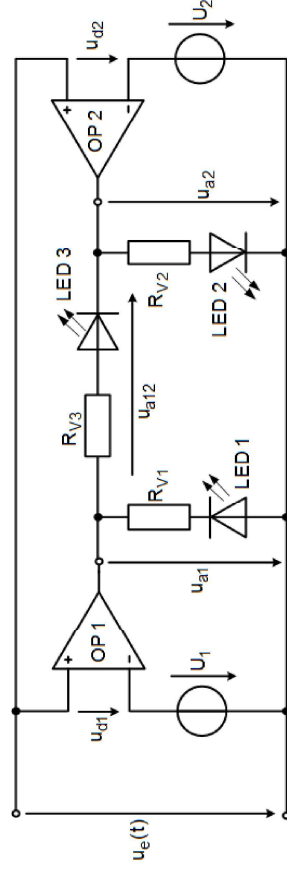


Abbildung 5-1: Schaltung mit idealen Operationsverstärkern

Zur Vereinfachung und weiteren Betrachtung wird der mittlere Schaltungsteil nochmals herausgezeichnet (siehe 5-2):

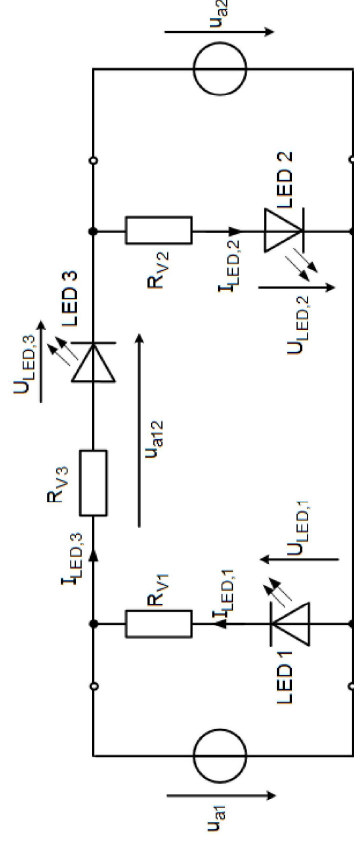


Abbildung 5-2: Schaltung mit idealen Operationsverstärkern

### Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Spannungen:  $U_1 = 5 \text{ V}$   $U_2 = 10 \text{ V}$

### Annahmen:

- Die Operationsverstärker dürfen als **ideal** betrachtet werden.
- Die Versorgungsspannung  $\pm U_V = \pm 15 \text{ V}$  der beiden Operationsverstärker ist in Abbildung 5-1 **nicht** eingezeichnet.
- Bekannte Zusammenhänge für die OP-Grundschaltungen dürfen **ohne** erneute Herleitung verwendet werden.

### Aufgabe 5.1: Grundschaltungen (6 Punkte)

- Um welche OP-Grundschaltungen handelt es sich bei OP 1 und OP 2?
- 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 (14 Punkte)

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

Verwenden Sie für die Beantwortung der weiteren Fragen das in Abbildung 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) und  $U_2$  (grün) oder größer als  $U_2$  (gelb) ist.

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

### Aufgabe 6: Gleichstrommaschine (20 Punkte)

In Abbildung 6-1 ist das Übersichtsschaltbild eines Ventilators dargestellt. Der Gebläseflügel (Lüfter) wird von einer Permanentmagnet-erregten Gleichstrommaschine angetrieben, die über einen verstellbaren Vorwiderstand an eine Batterie angeschlossen ist.

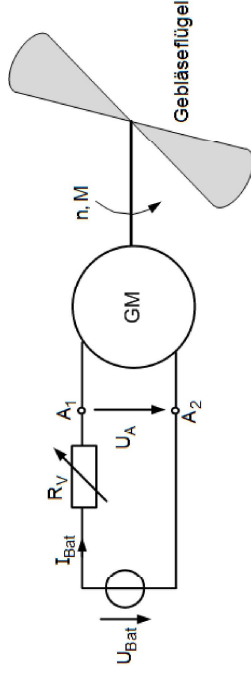


Abbildung 6-1: Übersichtsschaltbild des Ventilators

#### Es sind folgende Daten bekannt:

#### Spannungsquelle und Gleichstrommaschine

Batteriespannung:  $U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$

Ankernennspannung:  $U_{\text{AN}} = 12 \text{ V}$

Ankernennstrom:  $I_{\text{AN}} = 0,5 \text{ A}$

Wirkungsgrad im Nennbetrieb:  $\eta_N = 0,60$

Nennzahl:  $n_N = 1.200 \text{ min}^{-1}$

#### Gebläseflügel

Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik:

$$M_G(n) = k_G \cdot n^2$$

#### 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)

a) Berechnen Sie für  $R_V = 0$  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  $\Omega$ .
- Die Konstante  $c\Phi$  in mVs.
- Das Nennrehmoment  $M_N$  in mNm.
- Die Leerlaufdrehzahl  $n_0$  in  $\text{min}^{-1}$ .

b) Berechnen Sie unter der Bedingung, dass sich bei  $n = n_N$  ein stabiler Arbeitspunkt einstellt, die Konstante  $k_G$  für die Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik des Gebläseflügels und geben Sie den Wert in  $\text{mNm/min}^{-2}$  an.

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.

### Aufgabe 6.2: Arbeitspunkt AP 1 (10 Punkte)

a) Berechnen Sie folgende Größen für den Arbeitspunkt AP 1:

- Das Drehmoment  $M_{\text{AP1}}$  der Gleichstrommaschine in mNm.
- Den Wert in  $\Omega$ , auf welchen der Vorwiderstand  $R_V$  eingestellt werden muss.

b) Sind die mittels  $R_V$  einstellbaren Arbeitspunkte stabil oder instabil (kurze Begründung anhand der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien – nicht maßstäblich, d. h., es genügen die prinzipiellen Kennlinienverläufe)?