

Prüfung**Einführung in die Elektrotechnik**

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

27.08.2020**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 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 vorigen Lösungsblattes.
- 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 zusätzliche beschriebene Blätter ab.

- Die Aufgabenblätter müssen nicht abgegeben werden.

Zugelassene Hilfsmittel:

- 6 Seiten handschriftliche 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.

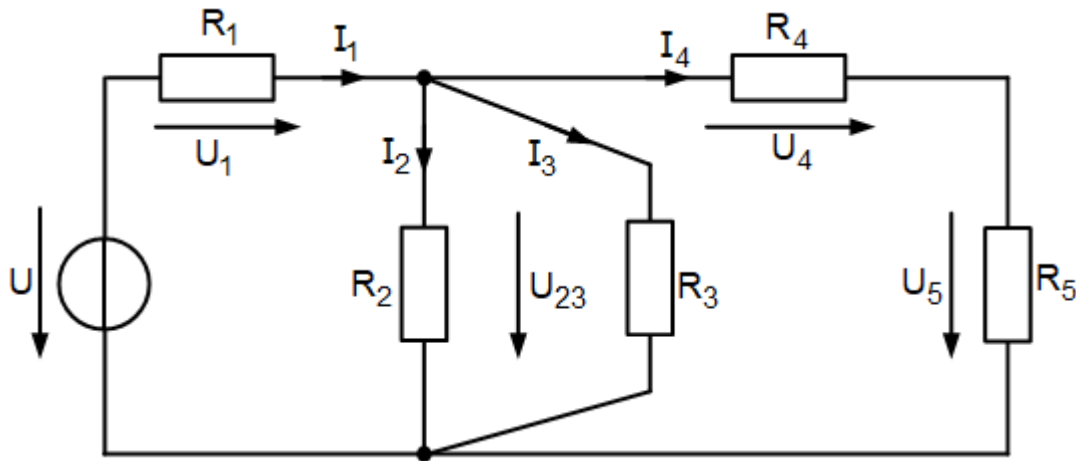


Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnern und Zählpfeilen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle $U = 30 \text{ V}$

Ohmsche Widerstände $R_1 = 6 \, \Omega$

$R_2 = 20 \, \Omega$

$R_3 = 30 \, \Omega$

$R_4 = 30 \, \Omega$

$R_5 = 6 \, \Omega$

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

Aufgabe 1.1 Netzwerkanalyse (4 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 Ströme 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 die Widerstände in der folgenden Reihenfolge zu den entsprechenden Ersatzwiderständen zusammen:
 - R_4 und R_5 zum Ersatzwiderstand R_{45}
 - R_2 und R_3 zum Ersatzwiderstand R_{23}
 - R_{23} und R_{45} zum Ersatzwiderstand R_{2345}
 - R_1 und R_{2345} zum Ersatzwiderstand R_{ges} .
- b) Bestimmen Sie die Ströme und Spannungen in der folgenden Reihenfolge:
 - I_1 , U_1 , U_{23} , I_2 , I_3 , I_4 , U_4 und U_5 .

Aufgabe 1.3 Leistungen (7 Punkte)

- a) Bestimmen Sie die in den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 , R_4 und R_5 auftretenden Verlustleistungen P_1 , P_2 , P_3 , P_4 und P_5 .
- b) Prüfen Sie anhand einer Leistungsbilanz, ob die Verlustleistungen der Widerstände der von der Spannungsquelle gelieferten Leistung entspricht.

Aufgabe 2: Gleichstrom (20 Punkte)

Im Bild 2.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 , einer Spannungsquelle U_0 und einer Stromquelle I_q abgebildet. Über den Schalter S lässt sich die Reihenschaltung aus dem ohmschen Widerstand R und dem Kondensator C zuschalten.

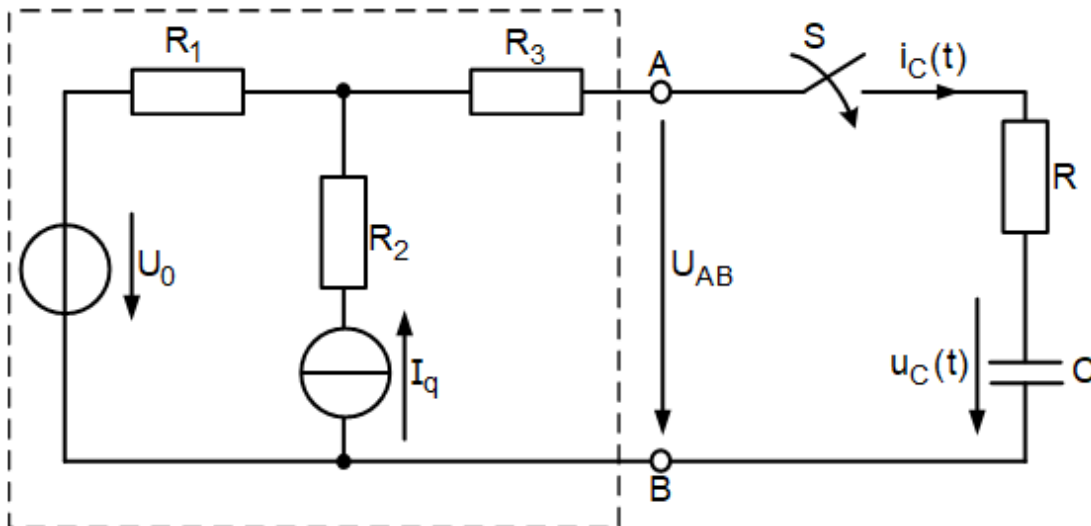


Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle $U_0 = 20 \text{ V}$

Quellstrom der Stromquelle $I_q = 0,5 \text{ A}$

Ohmsche Widerstände $R_1 = 12 \text{ } \Omega$

$R_2 = 6 \text{ } \Omega$

$R_3 = 6 \text{ } \Omega$

$R = 8 \text{ } \Omega$

Kapazität des Kondensators C (Es wird kein Wert benötigt)

Der Kondensator sei zunächst ungeladen, d. h. es gilt $u_C(t < 0 \text{ s}) = 0 \text{ V}$.

Er wird nach dem Schließen des Schalters S zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ kontinuierlich aufgeladen.

Aufgabe 2.1 Überlagerungssatz – Spannung U_{AB} (12 Punkte)

Der Schalter S sei offen! Es wird nur der Schaltungsteil links der Klemmen A-B (gestrichelt umrahmt) betrachtet (Leerlauf).

- a) Weshalb darf der Überlagerungssatz angewendet werden und weshalb darf die Spannung U_{AB} aus Teilspannungen überlagert werden?
- b) Wie werden Spannungsquellen und wie werden Stromquellen wirkungslos gemacht?
- c) Berechnen Sie die Teilspannung $U_{AB,1}$ der Spannung U_{AB} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit der Spannungsquelle U_0 ergibt.
- d) Berechnen Sie die Teilspannung $U_{AB,2}$ der Spannung U_{AB} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit der Stromquelle I_q ergibt.
- e) Berechnen Sie die Spannung U_{AB} und den Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich der Klemmen A-B.

Aufgabe 2.2 Ersatzspannungsquelle (2 Punkte)

- a) Zeichnen Sie die im Bild 2.1 dargestellte Schaltung erneut auf, indem Sie den gestrichelt umrahmten Schaltungsteil durch die Ersatzspannungsquelle (ESQ) ersetzen und tragen Sie für sämtliche Größen Bezeichner und Zählpfeile ein.
- b) Wie hängen die Quellspannung und der Innenwiderstand der ESQ mit den in der Aufgabe 2.1 berechneten Werten zusammen?

Zum Zeitpunkt $t = 0$ s wird der Schalter S geschlossen.

Aufgabe 2.3 Allgemeinverständnis (6 Punkte)

- a) Erklären Sie, weshalb es nach dem Schließen des Schalters S zu einem Einschwingvorgang kommt.
- b) Welche Größe ist Energie kennzeichnend (Begründung) und welche Bedingung gilt für die Energie kennzeichnende Größe?
- c) Wie groß ist der Strom $i_C(t)$ durch den Kondensator kurz nachdem der Schalter S geschlossen wurde?
- d) Welchen Endwert erreicht der Kondensatorstrom und welchen Endwert erreicht die Kondensatorspannung (Begründung)?

Hinweis: Sie müssen keinen Einschwingvorgang berechnen!

Aufgabe 3: Wechselstrom (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist eine R-L-C-Schaltung dargestellt, die an einer idealen Spannungsquelle mit sinusförmiger Spannungsform betrieben wird.

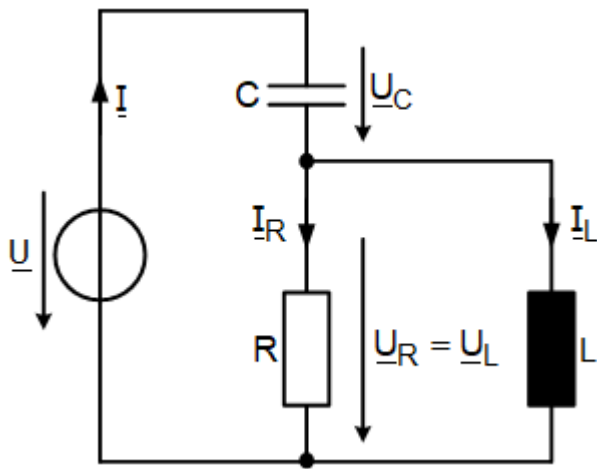


Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Spannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Ohmscher Widerstand	$R = 60 \, \Omega$
Blindwiderstand des Kondensators	$X_C = 9 \, \Omega$
Kapazität des Kondensators	$C = 160,76 \, \mu\text{F}$
Induktivität der Spule	$L = 115,75 \, \text{mH}$
<u>Wirkleistungsaufnahme der Schaltung</u>	$P_W = 240 \, \text{W}$

Die Wirkleistungsaufnahme der Schaltung in Höhe von $P_W = 240 \, \text{W}$ wird mit einem Wirkleistungsmesser gemessen. Der Wirkleistungsmesser ist im Ersatzschaltbild in Bild 3.1 nicht eingezeichnet.

Lösen Sie die Aufgabe mit der komplexen Wechselstromrechnung!

Unterstrichene Größen (z. B. Z, U, I) sind komplexe Größen!

Aufgabe 3.1 Frequenz und Impedanzen (6 Punkte)

a) Berechnen Sie

- die Frequenz f der sinusförmigen Spannung.
- den Blindwiderstand X_L und die Impedanz $\underline{Z}_L$ der Spule.
- die Impedanz $\underline{Z}_C$ des Kondensators.

Aufgabe 3.2 Ströme und Spannungen (5 Punkte)

a) Berechnen Sie

- den Strom $\underline{I}_R$.
- die Spannungen $\underline{U}_R = \underline{U}_L$.
- die Ströme $\underline{I}_L$ und $\underline{I}$.
- die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}$.
- den Effektivwert U der Spannung $\underline{U}$.
- den Phasenverschiebungswinkel φ_{U,U_C} zwischen der Spannung $\underline{U}_C$ und der Spannung $\underline{U}$ (gemessen von $\underline{U}_C$ nach $\underline{U}$).

Geben Sie die komplexen Ströme und Spannungen jeweils in kartesischer Form und in Exponentialform an.

Aufgabe 3.3 Leistungen (9 Punkte)

- a) Berechnen Sie – direkt aus $\underline{U}$ und $\underline{I}$ – die Scheinleistung $\underline{S}$ und geben Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q an.
Handelt es sich um induktive oder kapazitive Blindleistung (kurze Begründung!)?
- b) Bestimmen Sie Q auf eine zu a) alternative Weise (über die Teil-Leistungen) und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem aus der Teilaufgabe a).

Aufgabe 4: Transistorschaltung (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist eine elektrische Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor dargestellt. Mit der Schaltung soll die Spannung am Lastwiderstand R_L eingestellt werden.

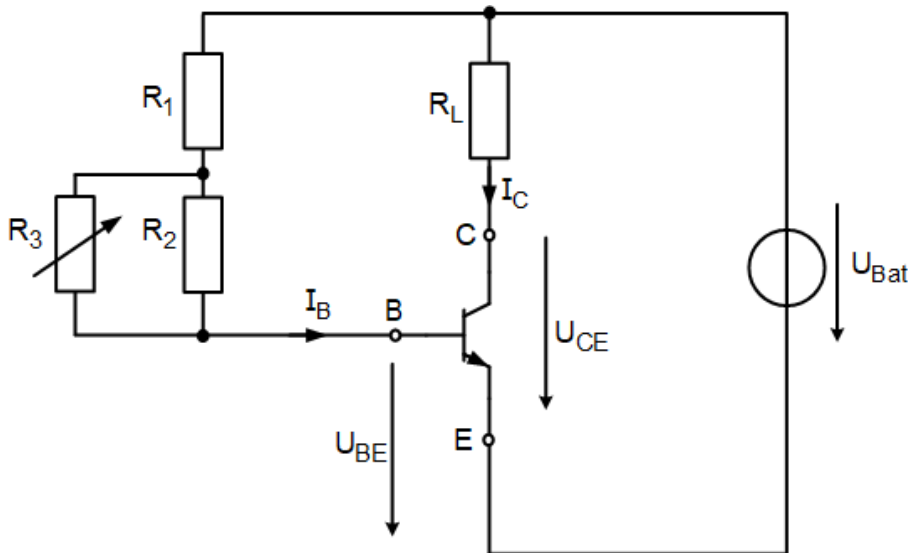


Bild 4.1: Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Batteriespannung

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

Widerstände

$$R_1 = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 25 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 0 \dots 25 \text{ k}\Omega$$

Transistor:

Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode

$$U_{\text{BE0}} = 0,62 \text{ V}$$

Basis-Emitter-Widerstand

$$R_{\text{BE}} = 100 \Omega$$

Auf dem Lösungsblatt zu dieser Aufgabe ist das Ausgangskennlinienfeld

$I_C = f(I_B, U_{\text{CE}})$ gegeben.

Aufgabe 4.1 Daten aus dem Kennlinienfeld (3 Punkte)

- a) Ermitteln Sie aus dem gegebenen Kennlinienfeld
- den Gleichstromverstärkungsfaktor B .
 - den Kollektor-Emitter-Widerstand R_{CE} im nicht gesättigten Bereich des Transistors.
 - die maximal zulässige Verlustleistung P_{tot} des Transistors.

Hinweis: In der Verlustleistungshyperbel wurden die Verluste im Basis-Emitter-Kreis vernachlässigt.

Sie dürfen diese Vernachlässigung übernehmen!

Aufgabe 4.2 Arbeitsgerade, Arbeitspunkte (13 Punkte)

- a) Zeichnen Sie in das Kennlinienfeld auf dem Lösungsblatt die Arbeitsgerade ein, bei der der Lastwiderstand R_L seinen minimal zulässigen Wert $R_{L,min}$ annimmt, bei dem gerade noch kein Arbeitspunkt im unzulässigen Bereich zu liegen kommen kann und berechnen Sie für diesen Fall den minimal zulässigen Lastwiderstand $R_{L,min}$.

Hinweis: Die Batteriespannung U_{Bat} beträgt konstant 12 V.

- b) Bestimmen Sie für $R_L = R_{L,min}$ den mindestens notwendigen Basisstrom $I_{B,min}$, sodass sich der Arbeitspunkt AP 1, in dem in R_L die maximale Leistung auftritt, einstellt. Zeichnen Sie den Arbeitspunkt AP 1 in das Kennlinienfeld ein und geben Sie U_{CE} und I_C für den AP 1 an.
- c) Auf welchen Wert muss R_3 eingestellt werden, damit sich der AP 1 einstellt?
- d) Welcher Arbeitspunkt AP 2 stellt sich ein, wenn R_3 auf $0\ \Omega$ eingestellt wird (AP 2 ins Kennlinienfeld einzeichnen!)?
Geben Sie I_B , U_{CE} und I_C für den Arbeitspunkt AP 2 an.
Ist der AP 2 für den Dauerbetrieb zulässig (Begründung)?
- e) Welcher Arbeitspunkt AP 3 stellt sich ein, wenn R_3 auf $25\ k\Omega$ eingestellt wird (AP 3 ins Kennlinienfeld einzeichnen!)?
Geben Sie I_B , U_{CE} und I_C für den Arbeitspunkt AP 3 an.
Ist der AP 3 für den Dauerbetrieb zulässig (Begründung)?

Aufgabe 5: Operationsverstärkerschaltung (20 Punkte)

Mit der im Bild 5.1 dargestellten Schaltung mit den Operationsverstärkern OP 1 und OP 2 soll eine Spannung $U_e(x)$ überwacht werden.

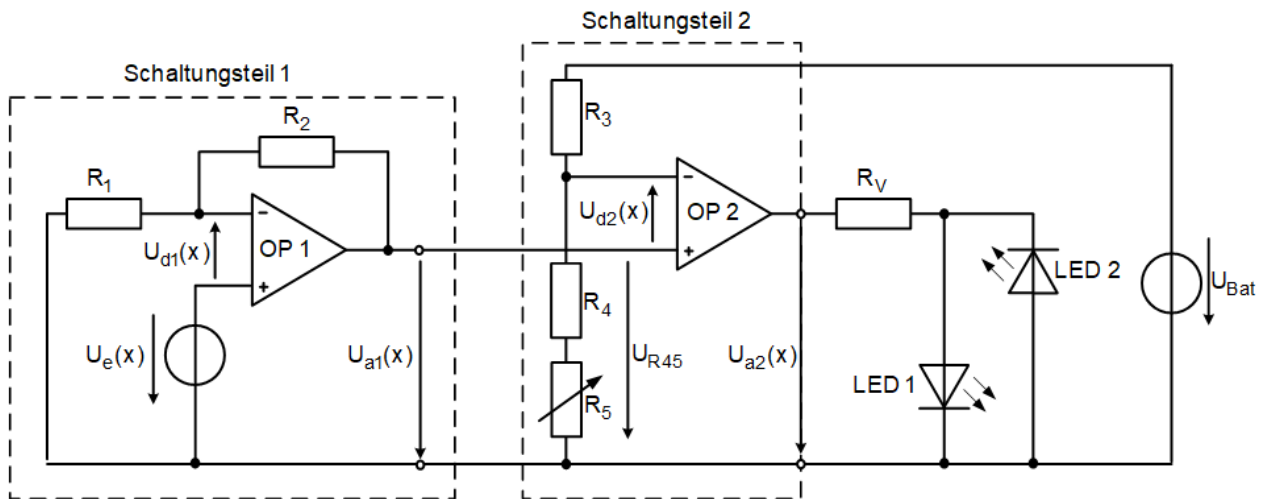


Bild 5.1: OP-Schaltungen zur Weiterverarbeitung und Überwachung der Spannung $U_e(x)$

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Batteriespannung $U_{\text{Bat}} = 15 \text{ V}$

Widerstände $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 60 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 0 \dots 200 \text{ k}\Omega$

Leuchtdioden (LED) $U_{\text{AP}} = 2 \text{ V}$, $I_{\text{AP}} = 20 \text{ mA}$

Spannung $U_e(x) = 0,1 \text{ V} \cdot x$ mit $0 \leq x \leq 1$

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannungen der Operationsverstärker von $\pm 15 \text{ V}$ sind im Bild 5.1 nicht eingezeichnet.
- Die Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für die OP-Grundsaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung“ genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Schaltungsteil 1 mit OP 1 (5 Punkte)

- a) Durch welche drei Eigenschaften ist ein idealer OP gekennzeichnet?
- b) Um welche OP-Grundschialtung handelt es sich beim Schaltungsteil 1?
- c) Bestimmen Sie die Spannungsverstärkung v_{U1} , sodass für $x = 1$ die Ausgangsspannung $U_{a1}(x)$ den Wert 12 V annimmt.
- d) Auf welchen Wert muss der Widerstand R_2 eingestellt werden (in $k\Omega$)?

Aufgabe 5.2 Schaltungsteil 2 mit OP 2 (15 Punkte)

- a) Um welche OP-Grundschialtung handelt es sich beim Schaltungsteil 2?
- b) Geben Sie die Spannung $U_{d2}(x)$ in Abhängigkeit von $U_{a1}(x)$, U_{Bat} , R_3 , R_4 und R_5 an.
- c) Bestimmen Sie den Widerstand R_5 , sodass für $x = 0,5$ die Schaltschwelle des OP 2 (d. h. $U_{d2}(x = 0,5) = 0$ V) erreicht wird.
Wie groß ist die Spannung U_{R45} an R_4 und R_5 ?
- d) Ergänzen Sie die Diagramme für $U_e(x)$, $U_{a1}(x)$, $U_{d2}(x)$ und $U_{a2}(x)$.
Tragen Sie an den Achsen auch die entsprechenden Spannungswerte ein.
- e) Für $x < 0,5$ soll eine rote LED leuchten und für $x > 0,5$ soll eine grüne LED leuchten. Ordnen Sie die Farben „rot“ und „grün“ den Leuchtdioden LED 1 und LED 2 zu.
- f) Welchen Zweck erfüllt der Widerstand R_V ?
Berechnen Sie R_V , sodass die LEDs – falls sie leuchten – jeweils in ihrem Arbeitspunkt (mit $U_{AP} = 2$ V und $I_{AP} = 20$ mA) betrieben werden

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine (20 Punkte)

An einem Maschinenprüfstand wird eine fremderregte Gleichstrommaschine (GSM) untersucht. Der Ankerkreis der Maschine ist an die ideale Spannungsquelle U_A angeschlossen. Mittels der Prüfstandmaschine können unterschiedliche Arbeitspunkte der GSM eingestellt werden. Im Bild 6.1 ist das Übersichtsschaltbild der Prüfanordnung dargestellt.

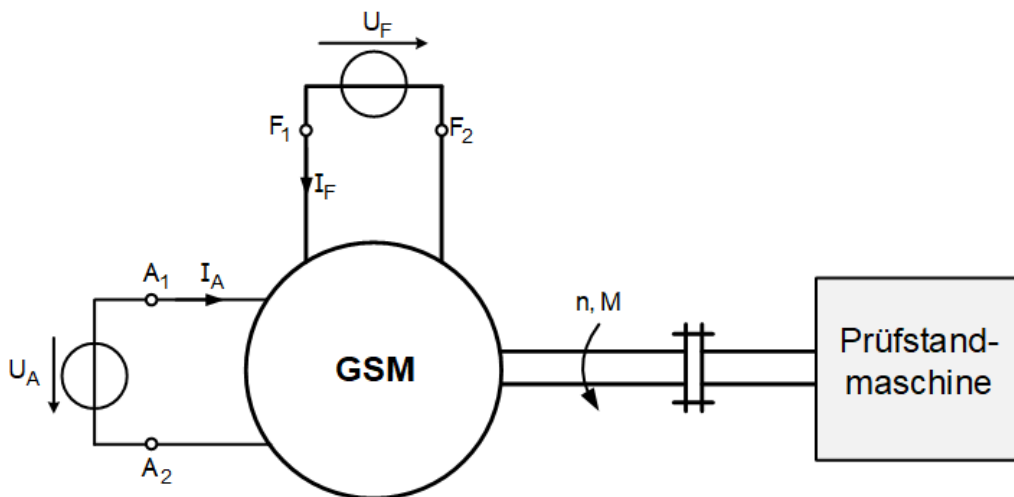


Bild 6.1: Übersichtsschaltbild der Prüfanordnung

Für den Arbeitspunkt 1 (Index „AP1“) sind folgende Werte bekannt:

Drehzahl	$n_{AP1} = 2.250 \text{ min}^{-1}$
Abgegebene <u>mechanische</u> Leistung	$P_{\text{mech},AP1} = 11,2 \text{ kW}$
Induzierte Spannung	$U_{i,AP1} = 260 \text{ V}$
Ankerspannung	$U_{A,AP1} = 296 \text{ V}$
Ankerstrom	$I_{A,AP1} = 45 \text{ A}$

Weiterhin sind folgende Daten bekannt:

Erregerstrom (bleibt konstant!)	$I_F = 5 \text{ A}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 15 \Omega$

Das Reibungsmoment M_R (muss in der Aufgabe noch berechnet werden!) ist drehzahlunabhängig, d. h. konstant.

Es dürfen die folgenden Vereinfachungen angenommen werden:

- Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
- Alle Ströme und Spannungen an der GSM sind Gleichgrößen.
- Außer den Verlusten im Ankerwiderstand R_A , im Erregerwiderstand R_F und den Reibungsverlusten P_{VR} dürfen alle anderen Verluste vernachlässigt werden.

Aufgabe 6.1 Allgemeines (4 Punkte)

- a) Nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil von Gleichstrommaschinen.

Aufgabe 6.2 Elektrisches ESB (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild für die GSM aus Abbildung 6.1 inklusive aller Strom- und Spannungszählpfeile sowie der zugehörigen Bezeichner in das Lösungsblatt ein.
- b) Weshalb darf die Ankerinduktivität L_A vernachlässigt werden?

Aufgabe 6.3 Arbeitspunkt AP 1 (6 Punkte)

- a) Berechnen Sie mit den gegebenen Daten des Arbeitspunktes AP 1
- die innere mechanische Leistung $P_{\text{mech},i,AP1}$.
 - die Reibungsverlustleistung $P_{VR,AP1}$ und das Reibungsmoment M_R .
 - den Wert von $(c \cdot \Phi)_{AP1}$.
 - den Ankerwiderstand R_A .

Aufgabe 6.4 Nennbetrieb (6 Punkte)

Die GSM arbeitet im Nennbetrieb wenn der Ankerstrom $I_{A,N} = 50 \text{ A}$ und die Ankerspannung $U_{A,N} = 380 \text{ V}$ betragen. Der Erregerstrom bleibt unverändert $I_F = 6 \text{ A}$. (Hinweis: Reibung berücksichtigen!!).

- a) Berechnen Sie für den Nennbetrieb (Index „N“ steht für Nenn):
- das Nenndrehmoment M_N .
 - die Nenndrehzahl n_N und die abgegebene mechanische Leistung $P_{\text{mech},N}$ sowie den Wirkungsgrad $\eta_{GSM,N}$.