

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

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

05.03.2020

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 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 vorigen Lösungsblattes.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht oder in die verlangte Form gebracht werden.
- 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 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.

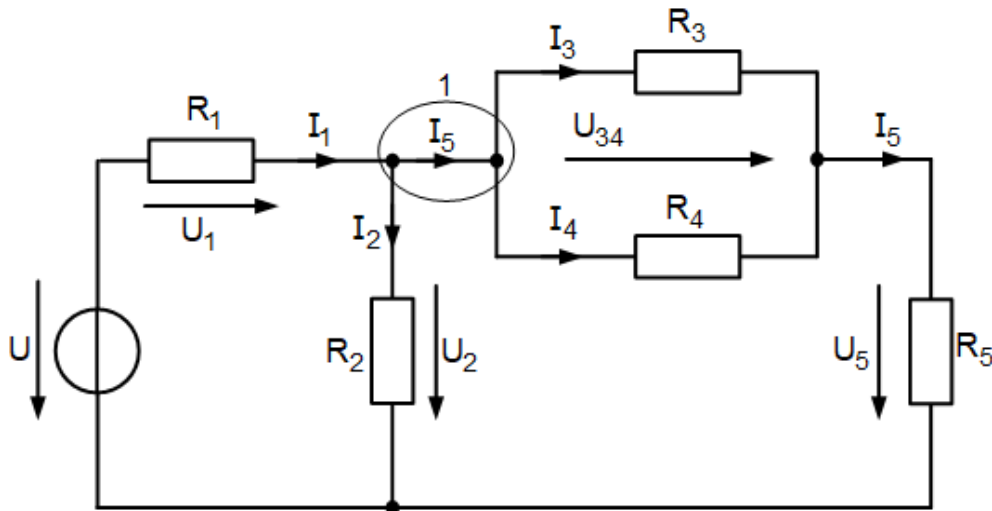


Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnern und Zählpfeilen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle $U = 24 \text{ V}$

Ohmsche Widerstände $R_1 = 6 \, \Omega$

$R_2 = 9 \, \Omega$

$R_3 = 20 \, \Omega$

$R_4 = 30 \, \Omega$

$R_5 = 6 \, \Omega$

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 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_3 und R_4 zum Ersatzwiderstand R_{34}
 - R_{34} und R_5 zum Ersatzwiderstand R_{345}
 - R_2 und R_{345} 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_2 , I_2 , I_5 , U_5 , U_{34} , I_3 und I_4 .
 - Wie könnten die Ströme I_3 und I_4 direkt aus dem Strom I_5 und den Widerständen R_3 , R_4 bestimmt werden?

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 , R_4 , einer Spannungsquelle U_1 und einer Stromquelle I_q abgebildet. Über den Schalter S lässt sich eine reale Spule mit der Induktivität L und dem ohmschen Widerstand R zuschalten.

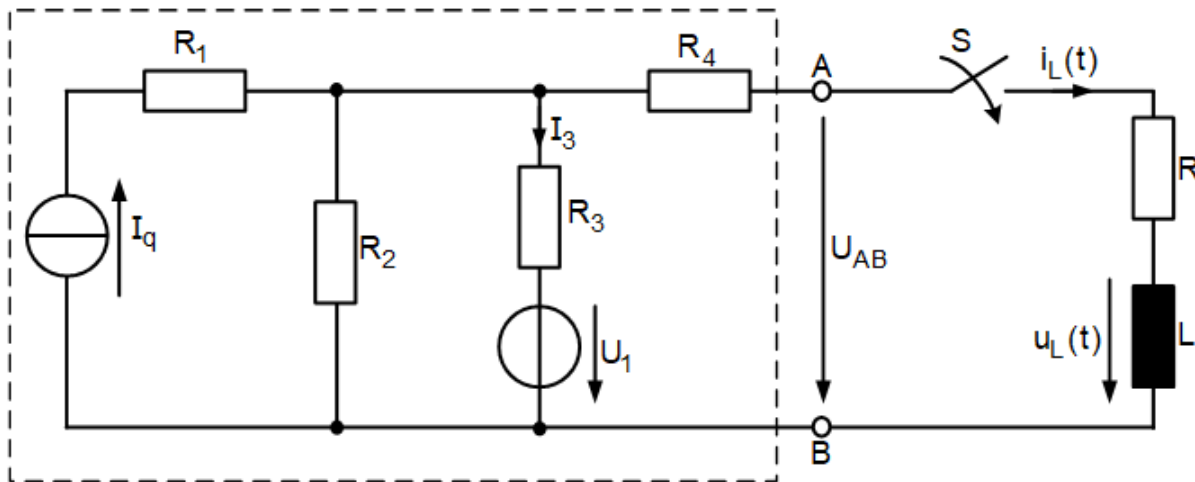


Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle	U_1
Quellstrom der Stromquelle	I_q
Ohmsche Widerstände	R_1, R_2, R_3, R_4

Rechnen Sie allgemein, d. h. ohne Zahlenwerte, mit den gegebenen Größen U_1 , I_q , R_1 , R_2 , R_3 und R_4 und geben Sie die verlangten Ergebnisse in Abhängigkeit dieser Größen an.

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.

- Weshalb darf der Überlagerungssatz angewendet werden?
- Berechnen Sie den Teilstrom I_{31} des Stromes I_3 , der sich aus der alleinigen Wirksamkeit der Stromquelle I_q ergibt.
- Berechnen Sie den Teilstrom I_{32} des Stromes I_3 , der sich aus der alleinigen Wirksamkeit der Spannungsquelle U_1 ergibt.
- Berechnen Sie den Strom I_3 und die Spannung U_{AB} .
- Berechnen Sie den Strom I_q , sodass I_3 null wird und geben Sie die Spannung U_{AB} für diesen Fall an.
- Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich der Klemmen A-B.

Aufgabe 2.2 Ersatzspannungsquelle (2 Punkte)

- Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle, bestehend aus der Spannungsquelle U_q und dem Innenwiderstand R_i und zeichnen Sie die Klemmen A-B ein.
- Wie hängen U_q und R_i mit den in der Aufgabe 2.1 berechneten Werten zusammen?

Für den Schaltungsteil links der Klemmen A-B seien die Parameter der Ersatzspannungsquellendarstellung zu $U_q = 20 \text{ V}$ und $R_i = 0,5 \Omega$ ermittelt worden. Der Strom $i_L(t)$ ist vor dem Schließen von S null!

Aufgabe 2.3 Allgemeinverständnis (6 Punkte)

- Erklären Sie, weshalb es nach dem Schließen des Schalters S zu einem Einschwingvorgang kommt und weshalb der Strom $i_L(t)$ durch die Spule keinen Sprung aufweisen kann.
- Erklären Sie, weshalb kurz nach dem Schließen von S die gesamte Spannung $U_q = 20 \text{ V}$ an der Spule gemessen wird.
- Wie groß ist der Widerstand R wenn nach sehr langer Zeit (d. h. für $t \rightarrow \infty \text{ s}$) nachdem S geschlossen wurde ein konstanter Spulenstrom $I_L = i_L(t \rightarrow \infty \text{ s}) = 5 \text{ A}$ gemessen wird?

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.

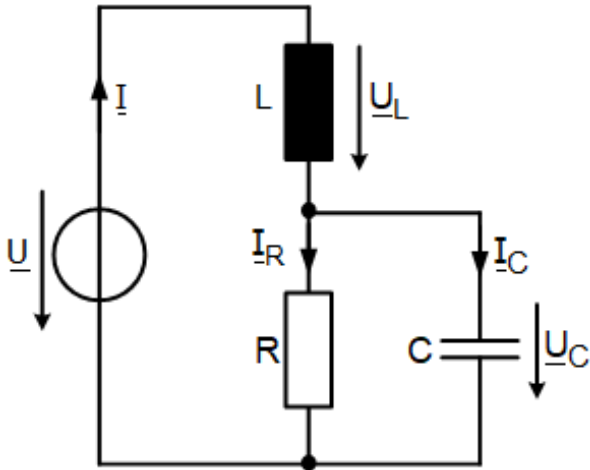


Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Spannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle	$\underline{U} = U = 20 \text{ V}$
Induktivität der Spule	$L = 100 \text{ mH}$
Kapazität des Kondensators	$C = 166,67 \text{ }\mu\text{F}$
Impedanz des Kondensators	$\underline{Z}_C = -jX_C = -j30 \text{ }\Omega$
Ohmscher Widerstand	$R = 60 \text{ }\Omega$

Lösen Sie die Aufgabe mit der komplexen Wechselstromrechnung!

Unterstrichene Größen (z. B. $\underline{Z}$, $\underline{U}$, $\underline{I}$) sind komplexe Größen!

Aufgabe 3.1 Frequenz und Impedanzen (6 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Frequenz f der sinusförmigen Spannung.
- b) Berechnen Sie
- den Blindwiderstand X_L und die Impedanz $\underline{Z}_L$ der Spule.
 - die Impedanz $\underline{Z}_{RC}$ der Parallelschaltung aus R und C .
 - die Impedanz $\underline{Z}$ der gesamten Schaltung.

Aufgabe 3.2 Ströme und Spannungen (5 Punkte)

- a) Berechnen Sie
- den Strom $\underline{I}$.
 - die Spannungen $\underline{U}_L$ und $\underline{U}_C$.
 - die Ströme $\underline{I}_R$ und $\underline{I}_C$.

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 P und Q auf eine zu a) alternative Weise.

Aufgabe 4: Transistorschaltung (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist eine elektrische Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor dargestellt. Mit der Schaltung soll die Leistung eines kleinen Heizwiderstandes (dargestellt als ohmscher Widerstand R_L) eingestellt werden.

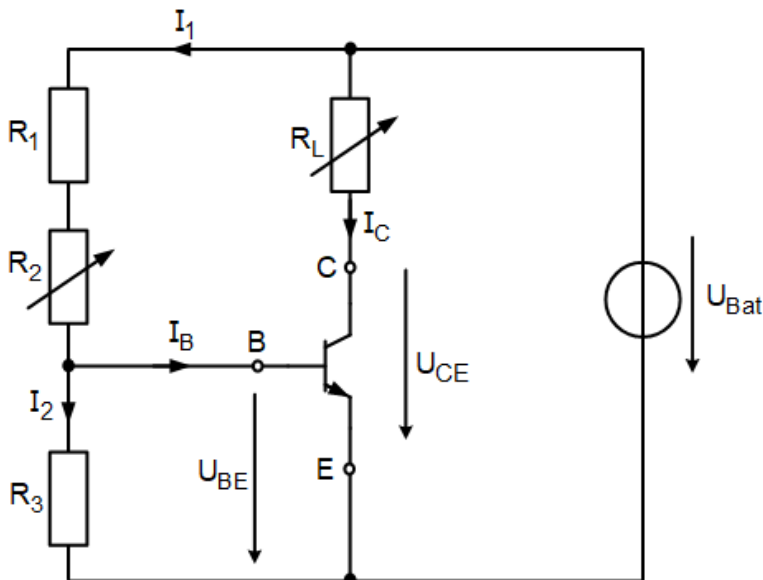


Bild 4.1: Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Batteriespannung

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

Widerstände

$$R_1 = 1.000 \, \Omega$$

$$R_3 = 100 \, \Omega$$

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

$I_C = f(I_B, U_{\text{CE}})$ mit der eingezeichneten Verlustleistungshyperbel 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.
- c) Berechnen Sie die Leistungen $P_{L,AP1}$ in R_L und die Verlustleistung $P_{VT,AP1}$ des Transistors im Arbeitspunkt AP 1.
- d) Auf welchen Wert muss R_2 eingestellt werden damit sich der unter b) bestimmte Arbeitspunkt AP 1 einstellt?

Aufgabe 4.3 Arbeitspunkt 2 (4 Punkte)

Nun wird ein neuer Arbeitspunkt AP 2 ($R_L = R_{L,min}$ wie oben!) eingestellt, bei dem die halbe Batteriespannung am Lastwiderstand R_L abfällt.

- a) Wie kann der AP 2 eingestellt werden?
- b) Berechnen Sie die Leistungen $P_{L,AP2}$ in R_L und $P_{VT,AP2}$ im Transistor im Arbeitspunkt AP 2.
- c) Darf der Transistor bei dieser Verlustleistung für längere Zeit betrieben werden (Begründung)?

Aufgabe 5: Operationsverstärkerschaltung (20 Punkte)

In einem Flüssigkeitsbehälter soll der Füllstand überwacht werden. Sobald ein bestimmter Füllstand erreicht wird soll eine Leuchtdiode (LED) aufleuchten. Im Bild 5.1 sind das Funktionsprinzip der Füllstandumsetzung über das Potentiometer R (Widerstand mit Schleifkontakt) in das elektrische Signal $U_e(x)$ und die entsprechende Ersatzschaltung als Spannungsteiler dargestellt.

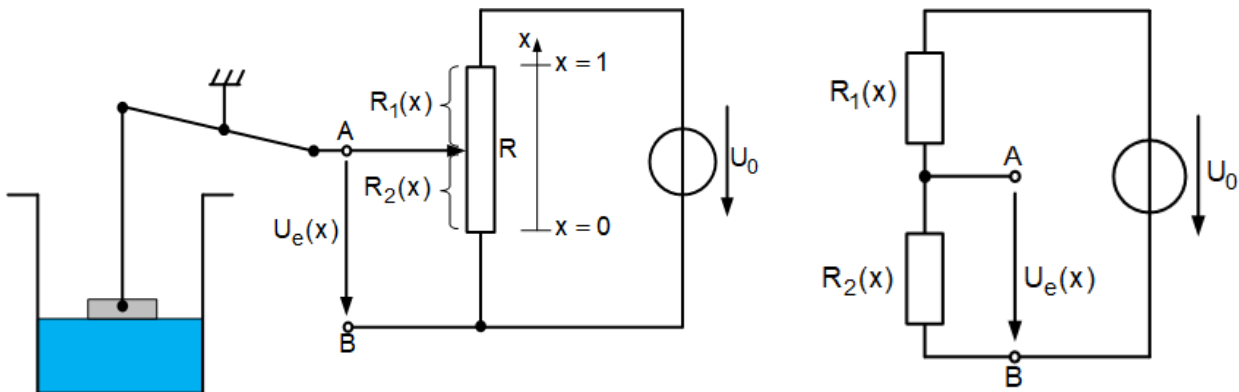


Bild 5.1: *Links:* Prinzip des Füllstandumsetzers mit Schwimmer, Hebel, Potentiometer und dem Ausgangssignal $U_e(x)$. *Rechts:* Das Ersatzschaltbild der Füllstandumsetzung als Spannungsteiler.

Die Signalspannung $U_e(x)$ wird von einer nachgeschalteten Elektronik mit zwei Operationsverstärkerschaltungen (OP1 und OP2) weiterverarbeitet (siehe Bild 5.2).

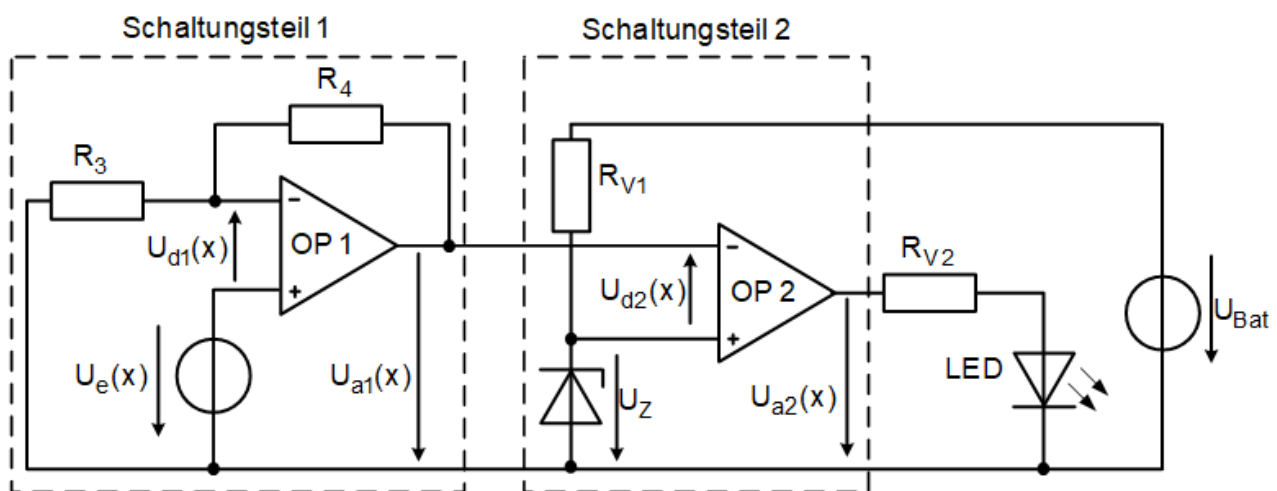


Bild 5.2: OP-Schaltungen zur Weiterverarbeitung der Signalspannung $U_e(x)$

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Betriebsspannung des Füllstandumsetzers	$U_0 = 10 \text{ V}$
Batteriespannung	$U_{\text{Bat}} = 15 \text{ V}$
Spannung an der Zenerdiode (konstant!)	$U_Z = U_{Z0} = 9,7 \text{ V}$
Widerstand	$R_4 = 220 \text{ k}\Omega$

x ist die Position des Schleifkontaktes A des Potentiometers – siehe Bild 5.1.

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannungen der Operationsverstärker von $\pm 15 \text{ V}$ sind im Bild 5.2 nicht eingezeichnet.
- Die Zenerdiode darf als ideal betrachtet werden (d. h. $U_Z = \text{konstant}$).
- 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 Füllstandsignal $U_e(x)$ (5 Punkte)

- a) Geben Sie die Widerstände $R_1(x)$ und $R_2(x)$ in Abhängigkeit von R und x an (Hinweis: Für R wird im Folgenden kein konkreter Wert benötigt!).
- b) Geben Sie die Spannung $U_e(x)$ in Abhängigkeit von U_0 und x an.

Aufgabe 5.2 OP-Schaltungen (15 Punkte)

- a) Verständnisfragen:
 - Um welche OP-Grundsaltungen handelt es sich in den beiden Schaltungsteilen?
 - Welchen Zweck erfüllt die Zenerdiode und wozu dient R_{V1} ?
 - Welche Spannungswerte kann die Spannung $U_{a2}(x)$ annehmen?
- b) Geben Sie die Spannung $U_{d2}(x)$ in Abhängigkeit von U_Z und $U_{a1}(x)$ an. Bei welchem Wert von $U_{a1}(x)$ liegt die Schaltschwelle des OP2?
- c) Bestimmen Sie den Widerstand R_3 , sodass für $x = 0,1$ die Schaltschwelle des OP2 erreicht wird.
- d) Für welche Werte von x leuchtet die LED?

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine (20 Punkte)

An einem Maschinenprüfstand wird eine fremderregte Gleichstrommaschine (GSM) untersucht. Der Ankerkreis der Maschine ist über zwei Leitungen (Zuleitung und Rückleitung) mit den Leitungswiderständen R_L an die ideale Spannungsquelle U_q angeschlossen. Mittels der Prüfstandmaschine können unterschiedliche Arbeitspunkte der GSM eingestellt werden. Im Bild 6.1 ist das Übersichtsschaltbild der Prüfanordnung dargestellt.

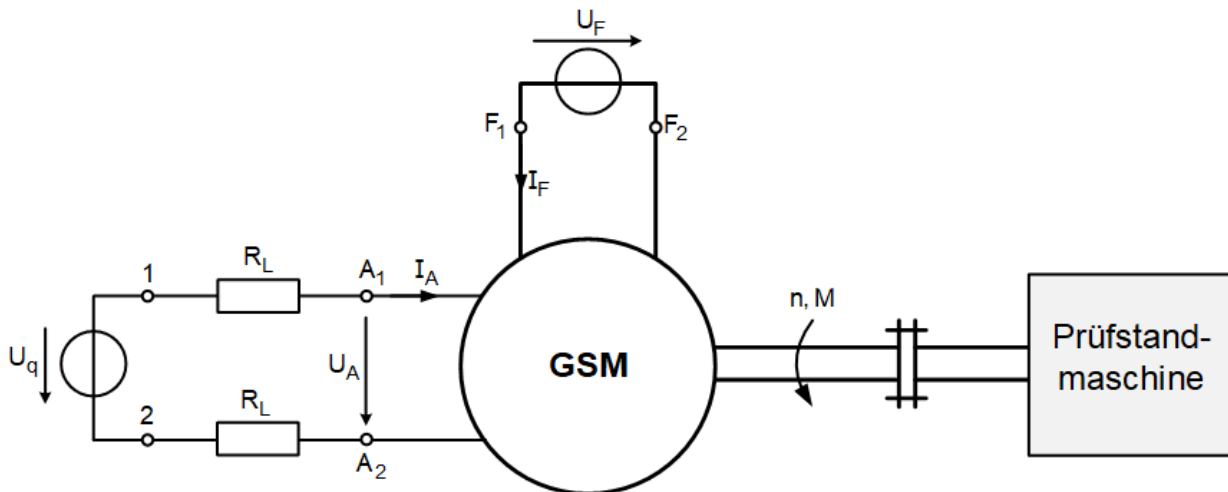


Bild 6.1: Übersichtsschaltbild der Prüfanordnung

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

Drehzahl	$n_{AP1} = 2.250 \text{ min}^{-1}$
Abgegebene <u>mechanische</u> Leistung	$P_{\text{mech},AP1} = 11,7 \text{ kW}$
Induzierte Spannung	$U_{i,AP1} = 260 \text{ V}$
Ankerspannung	$U_{A,AP1} = 296 \text{ V}$

Weiterhin sind folgende Daten bekannt:

Erregerstrom (bleibt konstant!)	$I_F = 6 \text{ A}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 2 \Omega$
Leitungswiderstände	$R_L = 100 \text{ m}\Omega$

Es dürfen die folgenden Vereinfachungen angenommen werden:

- Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
- Alle Ströme und Spannungen an der GSM sind Gleichgrößen.
- Reibungsverluste und Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.

Aufgabe 6.1 Allgemeines (4 Punkte)

- a) Nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil der fremderregten GSM gegenüber der permanentmagneterregten GSM.

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 dürfen die Induktivitäten vernachlässigt werden?

Aufgabe 6.3 Maschinendaten (6 Punkte)

- a) Berechnen Sie mit den gegebenen Daten des Arbeitspunktes AP1
- den Wert von $(C \cdot \Phi)_{AP1}$.
 - den Ankerwiderstand R_A .
 - die Spannung $U_{q,AP1}$.

Aufgabe 6.4 Nennbetrieb (6 Punkte)

Die GSM arbeitet im Nennbetrieb wenn der Ankerstrom $I_{A,N} = 52 \text{ A}$ beträgt. Die Spannung U_q muss dazu auf den Wert $U_q = U_{q,N} = 380 \text{ V}$ eingestellt werden.

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