



Alte Prüfungen zu Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

Teilweise mit Lösungsvorschlägen zu den Prüfungen

Diese Sammlung enthält:

- Herbst 2013 bis Herbst 2011:
Prüfungen sowie Lösungsvorschläge für die Rechenaufgaben.
Teilweise kommentiert
- Diese Klausuren sind „nach dem alten Schema“, d.h. ohne Lösungsblätter

Hinweise:

- Alle Lösungen ohne Gewähr
Sollten Sie Fehler entdecken, bitte eine email an eet@iew.uni-stuttgart.de
- Es wird fast immer nur ein Lösungsweg beschrieben.
Oft gibt es auch noch alternative Lösungswege...
- Zu den Verständnisfragen werden KEINE Lösungen veröffentlicht.
Diese Fragen sollten Sie alle (ggf. mit Hilfe des Skriptes und den sonstigen Vorlesungs- und Übungsmitschriften) beantworten und damit nachvollziehen können.
Ansonsten: Sprechstunden und/oder Betreutes Lernen nutzen
- Weitere Infos (Sprechstunden während der vorlesungsfreien Zeit, Betreutes Lernen, etc.) auch auf der Homepage www.iew.uni-stuttgart.de
- Bei Fragen rund um die Prüfung bitte nur die folgende E-Mail-Adresse nutzen: eet@iew.uni-stuttgart.de

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp...)
(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

12.09.2013

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie **jede Aufgabe** auf einem **neuen Blatt**.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.

Für die Aufgabe 4 gilt:

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.

Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Bild 1.1 dargestellte Spannungsteilerschaltung, bestehend aus den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 und dem veränderbaren Kondensator C , wird an einer sinusförmigen Wechselspannung mit dem Effektivwert U_1 und der Frequenz f betrieben. Nachfolgend soll das Verhalten der Schaltung in Abhängigkeit von der Kapazität des Kondensators C berechnet werden.

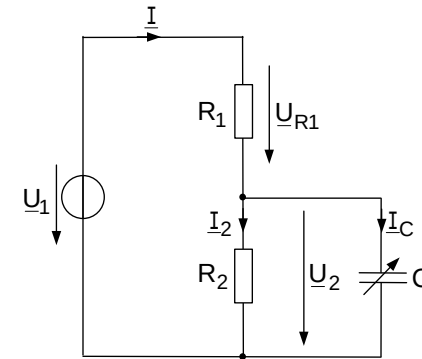


Bild 1.1: Ersatzschaltbild des Spannungsteilers

- Rechnen Sie allgemein (ohne Zahlenwerte) mit $\underline{U}_1 = U_1 e^{j0^\circ} = U_1$, R_1 , R_2 , C und der Kreisfrequenz ω (wobei $\omega = 2\pi f$ ist).
- Vereinfachen Sie sämtliche Ergebnisse soweit wie möglich!
- Ergebnisse müssen in der verlangten Form angegeben werden!

1.1 Impedanz und Spannungsverhältnis – (3 Punkte)

- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_2$ der Parallelschaltung aus R_2 und C allgemein in Abhängigkeit von R_2 , C sowie ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\underline{Z}_2(R_2, C, \omega) = \frac{a(R_2, C, \omega)}{1 + j \cdot b(R_2, C, \omega)}$ an, wobei a und b reelle Funktionen von R_2 , C , ω sind.

- Berechnen Sie das Verhältnis $\frac{U_2}{U_1}$ allgemein in Abhängigkeit von R_1 ,

R_2 , C sowie ω und geben Sie das Ergebnis in der Form

$$\frac{U_2}{U_1}(R_1, R_2, C, \omega) = \frac{1}{g(R_1, R_2, C, \omega) + j \cdot h(R_1, R_2, C, \omega)} \text{ an, wobei}$$

$g(R_1, R_2, C, \omega)$ und $h(R_1, R_2, C, \omega)$ reelle Funktionen sind.

1.2 Qualitatives Zeigerdiagramm – (4 Punkte)

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für die in Bild 1.1 dargestellte Schaltung, welches alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthält. Zeichnen Sie zusätzlich den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ ein (von $\underline{U}_1$ nach $\underline{U}_2$).
- Erklären Sie anhand des Zeigerdiagrammes bzw. mit Hilfe der Längen der Zeiger, welchen minimalen und welchen maximalen Wert der Winkel φ_{12} aufweisen kann.

Im Folgenden soll nur noch der Sonderfall $R_1 = R_2 = R$ betrachtet werden.

Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis in Aufgabe 1.1) die Beziehung $\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega) = \frac{1}{2 + j \cdot (\omega \cdot R \cdot C)}$ sowie für die Ableitung des Betrages nach der

$$\text{Kapazität die Beziehung } \frac{d}{dC} \left(\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega) \right) = \frac{-\omega^2 \cdot R^2 \cdot C}{\left[4 + (\omega \cdot R \cdot C)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}.$$

1.3 Betrag des Spannungsverhältnisses – (7 Punkte)

- Berechnen Sie die Betragsfunktion $\frac{U_2}{U_1} = \left| \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} \right| = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|}$ des Spannungsverhältnisses allgemein in Abhängigkeit von R , C sowie ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega) = [k(R, C, \omega)]^{-\frac{1}{2}}$ an, wobei $k(R, C, \omega)$ eine reelle Funktion ist.
- Berechnen Sie die Werte von $\frac{U_2}{U_1}$ für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$.
- Berechnen Sie die Steigung der Tangente der Betragsfunktion $\frac{U_2}{U_1}$ im Punkt $C = 0$, d.h. für $C = 0$, und im Punkt $C = \infty$, d.h. für $C \rightarrow \infty$.
- Stellen Sie den qualitativen Verlauf der Betragsfunktion des Spannungsverhältnisses in Abhängigkeit von der Kapazität C des Kondensators in einem Diagramm grafisch dar und berücksichtigen Sie dabei die Steigungen der Tangenten der Betragsfunktion in den Punkten für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$!

Hinweis: Die Ableitung einer Funktion $f'(x_0) = \frac{df(x)}{dx} \Big|_{x=x_0}$ entspricht der Steigung der Tangente der Funktion $f(x)$ im Punkt $x = x_0$.

1.4 Phasenwinkel φ_{12} – (6 Punkte)

- Berechnen Sie den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ (von $\underline{U}_1$ nach $\underline{U}_2$) allgemein in Abhängigkeit von R , C und ω .
- Erklären Sie anhand Ihrer Rechnung, welchen Wertebereich der Phasenwinkel φ_{12} annehmen kann.
- Vergleichen Sie Ihr Rechenergebnis mit dem Ergebnis des Zeigerdiagramms aus Aufgabe 1.2.
- Berechnen Sie den Phasenwinkel φ_{12} für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$.

Hinweis: Den Phasenwinkel können Sie unter anderem bestimmen, indem

Sie zunächst den Realteil $\operatorname{Re}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)$ sowie den Imaginärteil $\operatorname{Im}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)$

berechnen und daraus dann den Phasenwinkel.

Aufgabe 2: Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM)

Für einen kleinen Springbrunnen in einem Gartenteich soll eine permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM) dimensioniert werden. Diese wird an einer konstanten Spannungsquelle mit $U_A = 12 \text{ V}$ versorgt.

Von der GM sind die folgenden Daten bekannt:

Ankernennspannung:	$U_{A,N} = 12 \text{ V}$
Nennleistung:	$P_N = 2 \text{ W}$
Wirkungsgrad bei Nennbetrieb:	$\eta_N = 50\%$
Nenndrehzahl:	$n_N = 4000 \text{ min}^{-1}$

Reibung und Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.

Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden.

Alle Größen der GM sind Gleichgrößen

Lastkennlinie der Pumpe: $M_L(n) = n^2 \cdot 10^{-6} \text{ Nm} \cdot \text{s}^2$ für $n \geq 0$ (in s^{-1})

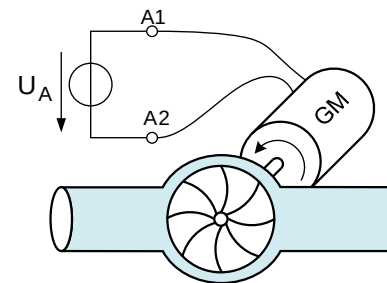


Bild 2.1: Übersicht der Anordnung

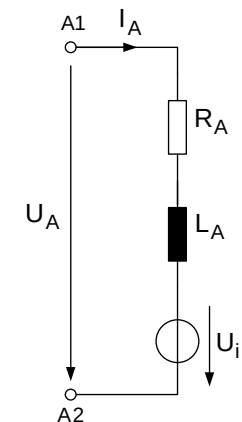


Bild 2.2: ESB des Ankerkreises der GM

2.1 Nennbetrieb der GM – (7 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine **für den Nennbetrieb**.

Geben Sie immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzen Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Aufgenommene Leistung $P_{A,N}$
- Ankerstrom $I_{A,N}$
- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$
- Ankerwiderstand R_A
- Induzierte Spannung $U_{i,N}$
- Abgegebenes Nennmoment M_N
- Produkt aus Maschinenkonstante und Fluss $c \cdot \Phi$

Hinweis: Wenn Sie die Aufgabe 2.1 nicht lösen konnten, dürfen Sie **in den folgenden Aufgabenteilen** $R_A = 18\Omega$ und $c \cdot \Phi = 14,324 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}$ verwenden.

2.2 Anlauf und Leerlauf – (4 Punkte)

Die Ankerspannung soll stets $U_A = 12 \text{ V}$ betragen.

- Berechnen Sie die Leerlaufdrehzahl n_0 der GM in der Einheit min^{-1} .
- Berechnen Sie den Stillstandsstrom $I_{A,st}$ sowie das Stillstandsmoment M_{st} der GM.
- Berechnen Sie das Verhältnis:
Verlustleistung im Ankerwiderstand im Stillstand bezogen auf die Verlustleistung im Ankerwiderstand bei Nennbetrieb,

$$\text{also } \frac{P_{VA,st}}{P_{VA,N}}.$$

2.3 Drehmoment in Abhängigkeit der Drehzahl – (4 Punkte)

- Stellen Sie ausgehend von der Maschengleichung im Ankerkreis $U_i = U_A - I_A \cdot R_A$ eine Formel für das abgegebene Moment der GM in der Form $M(n) = \frac{a-n}{b}$ auf und geben Sie Wert und Einheit der Parameter a und b an.

2.4 Stationäre Drehzahl bei Betrieb der Pumpe (AP) – (5 Punkte)

Die GM soll nun die Pumpe antreiben. Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Teilaufgabe 2.3) für die Berechnung des sich einstellenden Arbeitspunktes AP die folgende Näherung für die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie der

$$GM: M(n) = 0,01 Nm - \frac{n}{14000 \frac{1}{s \cdot Nm}}$$

- Ist dieser Arbeitspunkt (AP) stabil oder instabil?
Begründen Sie Ihre Antwort.
- Berechnen Sie die stationäre Drehzahl n_{AP} , welche sich einstellt.
- Darf die GM dauerhaft so betrieben werden?
Begründen Sie Ihre Antwort

Aufgabe 3: Schaltung zur Vermessung von Diodenkennlinien

Zur Vermessung der Strom-/Spannungskennlinie einer Leuchtdiode (LED) D_1 soll eine Schaltung dimensioniert werden. Dazu wird zunächst in TEIL I eine Stromquelle mit Hilfe eines NPN-Transistors realisiert. Anschließend werden in TEIL II die gemessenen Werte durch Operationsverstärkerschaltungen aufbereitet.

Die Aufgabenteile I und II sind unabhängig voneinander bearbeitbar.

TEIL I: Stromquelle

Bild 3.1 zeigt die Schaltung, mit welcher der Strom I_{LED} durch die LED mit Hilfe eines veränderbaren Vorwiderstands R_B eingestellt werden soll.

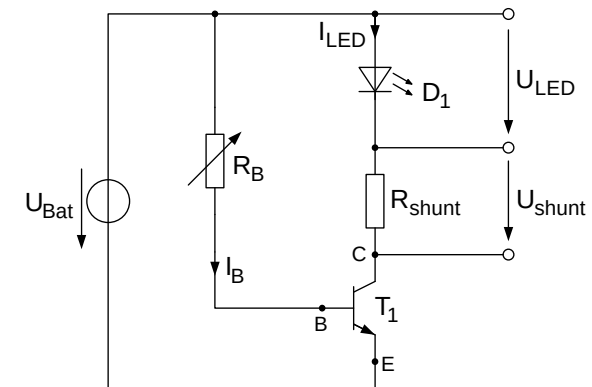


Bild 3.1: Schaltung zur Einstellung des Stromes durch die Diode

Es sind die folgenden Daten gegeben:

 Versorgungsspannung: $U_{\text{Bat}} = 5 \text{ V}$
Transistor T_1 :

 Basis-Emitter-Widerstand: $R_{\text{BE}} \rightarrow 0 \Omega$

 Kollektor-Emitter-Widerstand: $R_{\text{CE}} \rightarrow \infty$

 Basis-Emitter-Diffusionsspannung: $U_{\text{BE0}} = 0,6 \text{ V}$

 Gleichstromverstärkung: $B = 100$

 Der Strom I_{LED} soll auf Werte zwischen 20mA und 2A einstellbar sein.

3.1 Gleichstromersatzschaltbild – (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild (GS-ESB) der kompletten in Bild 3.1 dargestellten Schaltung inklusive aller Ströme und Spannungen sowie der Punkte (B,E,C). Zeichnen Sie zusätzlich auch alle Ströme und Spannungen an den Elementen der linearisierten Ersatzschaltbilder von Transistor und Diode ein. Elemente, die vernachlässigt werden können, sind NICHT mit einzuzeichnen.

3.2 Dimensionierung des Vorwiderstandes – (5 Punkte)

- Berechnen Sie allgemein den Kollektorstrom des Transistors bzw. den Strom $I_{\text{LED}} = f(U_{\text{Bat}}, U_{\text{BE0}}, R_{\text{B}}, B)$.
- Bestimmen Sie eine Berechnungsvorschrift für den Widerstand R_{B} in der Form $R_{\text{B}} = f(I_{\text{LED}}) = \frac{a}{I_{\text{LED}}}$. Geben Sie den Wert und die Einheit des Parameters a an.
- Berechnen Sie den minimalen und maximalen Wert für den Widerstand R_{B} . (Beachten Sie den Bereich, in welchem der Strom I_{LED} einstellbar sein soll.)

TEIL II: Signalaufbereitung

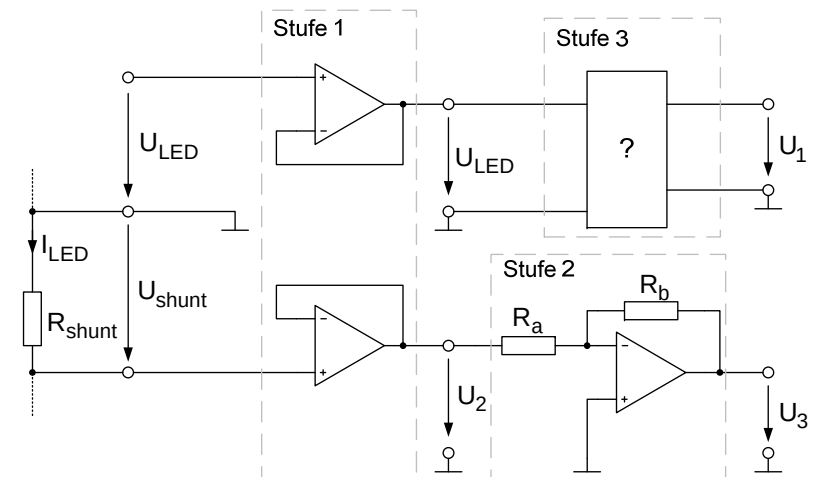
 Bild 3.2 zeigt die Schaltung, mit welcher die Spannungen U_{LED} und U_{shunt} aufbereitet werden sollen.


Bild 3.2: Schaltung zur Aufbereitung der Spannungen

Es sind die folgenden Daten gegeben:

Widerstand zur Strommessung:

$$R_{\text{shunt}} = 0,5 \Omega$$

Operationsverstärker:

 Versorgungsspannung (in Bild 3.2 nicht eingezeichnet): $\pm 15 \text{ V}$

 Maximale bzw. minimale Ausgangsspannung: $\pm 15 \text{ V}$

Die OPs dürfen als ideal angenommen werden.

Widerstände:

$$R_{\text{a}} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{b}} = 20 \text{ k}\Omega$$

3.3 Stufe 1 – (3 Punkte)

- Welche OP-Grundschialtung(en) wird/werden hier verwendet? Welchen Zweck hat dies?
- Berechnen Sie $U_2 = f(I_{LED}, R_{shunt})$

3.4 Stufe 2 – (4 Punkte)

- Welche OP-Grundschialtung wird hier verwendet?
- Berechnen Sie $U_3 = f(U_2, R_a, R_b)$
- Berechnen Sie $U_3 = f(I_{LED})$ in der Form $U_3 = x \cdot I_{LED}$ und geben Sie den Wert und die Einheit des Parameters x an.

3.5 Stufe 3 – (4 Punkte)

Für die Stufe 3 wird eine Schaltung gesucht, sodass gilt: $U_1 = 5 \cdot U_{LED}$.

Zur Verfügung stehen ein OP, ein Widerstand $R_c = 5 \text{ k}\Omega$ sowie ein weiterer Widerstand R_d .

- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung.
Tragen Sie die Beschriftungen für die Widerstände, sowie die beiden Spannungen U_1 und U_{LED} ein und geben Sie den Namen der Grundschialtung an.
- Berechnen Sie den Wert von R_d passend zu Ihrer Schaltung.

Aufgabe 4: Multiple Choice

- Pro Frage ist genau **eine** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
Richtige Antwort: +1 Punkt
Keine Antwort: 0 Punkte
Falsche Antwort: -1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)**4.1 Bei einer realen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung**

- a) nur abhängig von der Art der Belastung.
- b) abhängig vom Klemmenstrom.
- c) unabhängig vom Klemmenstrom.

4.2 Der Ersatzleitwert von n in Serie geschalteten ohmschen Widerständen ist

- a) die Summe der n Widerstände.
- b) der Kehrwert der Summe der n Widerstände.
- c) die Summe der Kehrwerte der n Widerstände.

4.3 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch

- a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.
- b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.
- c) die Permittivität des Werkstoffes.

4.4 Der von einer Spannungsquelle zu liefernde Strom bei Parallelschaltung von zwei Widerständen ist

- a) kleiner als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.
- b) größer als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.
- c) unabhängig von der Schaltung der Widerstände.

4.5 Die Klemmenspannung einer realen Gleichstromquelle

- a) nimmt mit nachlassender Belastung zu.
- b) ist immer konstant.
- c) nimmt mit nachlassender Belastung ab.

4.6 Der Überlagerungssatz kann nicht angewendet werden, wenn

- a) es sich um ein linearisiertes Netzwerk handelt.
- b) es sich um ein Netzwerk mit mehr als zwei Quellen handelt.
- c) im Netzwerk nichtlineare Elemente auftreten.

4.7 Welche Aussage stimmt bezüglich eines Kondensators? Sprungartig ändern kann sich

- a) nur der Kondensatorstrom.
- b) nur die Spannung am Kondensator.
- c) sowohl der Strom als auch die Spannung.

4.8 Bei der Resonanzfrequenz in einem RLC-Parallelschwingkreis an einer Wechselspannungsquelle

- a) ist die Stromstärke unabhängig von der angelegten Spannung.
- b) erreicht der von der Quelle zu liefernde Strom seinen Maximalwert.
- c) erreicht der von der Quelle zu liefernde Strom seinen Minimalwert.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)**4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls**

- a) dient der Erhöhung der Kapazität.
- b) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.
- c) dient der Erhöhung der Induktivität.

4.10 Ein p-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

- a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.
- b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.
- c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

- a) im 3. Quadranten der Strom-Spannungskennlinie der Diode.
- b) nur für spezielle Diodentypen.
- c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.12 Eine Schaltung mit einem Operationsverstärker ohne Rückkopplung

- a) wird den Operationsverstärker beschädigen.
- b) wird als Komparator-Schaltung bezeichnet.
- c) wird am Ausgang des Operationsverstärkers immer eine Spannung von exakt 0 V liefern.

4.13 Die Eingangskennlinie eines Bipolartransistors beschreibt

- a) die Kollektor-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Kollektorstrom und Kollektor-Emitterspannung an.
- b) die Basis-Kollektor-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Kollektorstrom an.
- c) die Basis-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Basis-Emitterspannung an.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker

- a) hat keinen Ausgangswiderstand und einen sehr niedrigen Verstärkungsfaktor.
- b) hat einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen vernachlässigbar kleinen Ausgangswiderstand.
- c) hat einen vernachlässigbar kleinen Eingangswiderstand und einen unendlich hohen Verstärkungsfaktor.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 In einer Leiterschleife kann eine Spannung induziert werden, wenn sich die Leiterschleife

- a) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet und ruht.
- b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht.
- c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Die Lorentzkraft beschreibt

- a) die Kraft auf sich in einem Magnetfeld bewegende Elektronen und ist unter anderem abhängig von der Elektronengeschwindigkeit.
- b) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.
- c) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unabhängig von der Stromstärke.

4.17 Bei einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist der magnetische Fluss in den Polschuhen des Stators unter Vernachlässigung der Sättigung

- a) abhängig von der Drehzahl.
- b) abhängig vom Ankerstrom.
- c) unabhängig von Drehzahl und Ankerstrom.

4.18 Durch das Verringern des Erregerstromes I_F einer fremderregten Gleichstrommaschine wird

- a) der Fluss ϕ im Stator verkleinert.
- b) die Leerlaufdrehzahl n_0 des Motors verkleinert.
- c) der Fluss ϕ im Stator vergrößert.

4.19 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

- a) die Ankerspannung U_A vergrößert wird.
- b) der magnetische Fluss durch den Rotor vermindert wird.
- c) der magnetische Fluss durch den Rotor vergrößert wird.

4.20 Die Leerlaufdrehzahl einer Drehstrom-Asynchronmaschine hängt

- a) quadratisch von der Spannung des speisenden Netzes ab.
- b) vom Quotient aus Spannung und Frequenz ab.
- c) linear von der Frequenz des speisenden Netzes ab.



Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

12.9.2013

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1 Impedanz und Spannungsverhältnis – (3 Punkte)

- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_2$ der Parallelschaltung aus R_2 und C allgemein in Abhängigkeit von R_2 , C und ω und geben Sie das

Ergebnis in der Form $\underline{Z}_2(R_2, C, \omega) = \frac{a(R_2, C, \omega)}{1 + j \cdot b(R_2, C, \omega)}$ an, wobei $a(\dots)$

und $b(\dots)$ rein reelle Funktionen sind.

$$\underline{Z}_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}{R_2 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} = \frac{R_2}{1 + j \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C}$$

(Geforderte Form beachten!)

Alternative über die Berechnung der Admittanz (komplexer Leitwert),

Kann bei Parallelschaltung die Rechnung vereinfachen

(Bei Parallelschaltung addieren sich die Leitwerte (Admittanzen))...

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{R_2} + j \cdot \omega \cdot C$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{1}{\underline{Y}_2} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j \cdot \omega \cdot C} = \frac{R_2}{1 + j \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C}$$

- Berechnen Sie mithilfe der Spannungsteilerregel das Verhältnis $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$

allgemein in Abhängigkeit von R_1 , R_2 , C und ω und geben Sie das Ergebnis in der Form

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}(R_1, R_2, C, \omega) = \frac{1}{g(R_1, R_2, C, \omega) + j \cdot h(R_1, R_2, C, \omega)} \text{ an, wobei } g(\dots)$$

und $h(\dots)$ rein reelle Funktionen sind.

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\underline{Z}_2}{R_1 + \underline{Z}_2} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{\underline{Z}_2}}$$

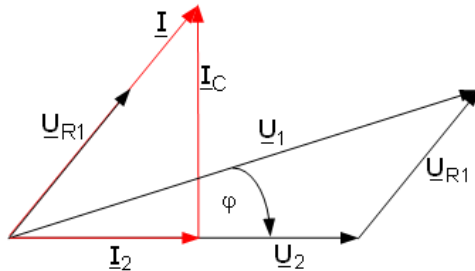
$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R_1}{R_2} \cdot (1 + j \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C) \right)}$$

$$= \frac{1}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + j \cdot (\omega \cdot R_1 \cdot C)}$$

(Geforderte Form beachten!)

1.2 Qualitatives Zeigerdiagramm– (4 Punkte)

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für die in Abbildung 1.1 dargestellte Schaltung, welches alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthält. Zeichnen Sie zusätzlich den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ ein.



(Einfachste Vorgehensweise: Beginnen mit $\underline{U}_2$,

Danach $\underline{I}_2$ (parallel $\underline{U}_2$) und $\underline{I}_C$ (recht Winkel zu $\underline{U}_2$), Summe ist $\underline{I}$

Danach $\underline{U}_{R1}$ (parallel $\underline{I}$)

$\underline{U}_R$ ist dann die Summe aus $\underline{U}_2$ und $\underline{U}_{R1}$,

Phasenwinkel nicht vergessen!)

- Erklären Sie an Hand des Zeigerdiagrammes, bzw. mit Hilfe der Längen der Stromzeiger, welchen Wert kann φ_{12} maximal/minimal aufweisen kann.

Wertebereich: $-90^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$

Beim Konstruieren sind die „Variablen“ die Längen der Zeiger:

$I_C \gg I_2$ und $U_{R1} \gg U_2 \rightarrow \varphi = -90^\circ$

$I_C \ll I_2$ und $U_{R1} \ll U_2 \rightarrow \varphi = 0^\circ$

Im Folgenden soll nur noch der Sonderfall $R_1 = R_2 = R$ betrachtet werden.

Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Aufgabe 1.1) die folgende

Beziehung: $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}(R, C, \omega) = \frac{1}{2 + j \cdot (\omega \cdot R \cdot C)}$

1.3 Betrag des Spannungsverhältnisses – (7 Punkte)

- Berechnen Sie die Betragsfunktion $\frac{U_2}{U_1} = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|} = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|}$ des Spannungsverhältnisses allgemein in Abhängigkeit von R , C und ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega) = [k(R, C, \omega)]^{-\frac{1}{2}}$ an.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|} = \frac{|1|}{|2 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C|}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{4 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = [4 + (\omega \cdot R \cdot C)^2]^{-\frac{1}{2}}$$

- Berechnen Sie die Werte von $\frac{U_2}{U_1}$ für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$

$$\left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{C=0} = \frac{1}{\sqrt{4+0}} = \frac{1}{2}$$

$$\left. \frac{U_2}{U_1} \right|_{C=\infty} = \frac{1}{\sqrt{4+\infty}} = 0$$

(falls je die Betragsfunktion nicht (richtig) berechnet wurde, oder auch als kurze Kontrolle, könnte man hier auch die Werte des Kondensators in die gegebene (komplexe) Funktion einsetzen und anschließend den Betrag bilden...)

- Berechnen Sie die Steigung der Tangente der Funktion $\frac{U_2}{U_1}$ im Punkt

$C = 0$, d.h. für $C = 0$.

$$\left. \frac{d}{dC} \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \right|_{C=0} = \frac{-0}{\left[4 + (0)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} = 0$$

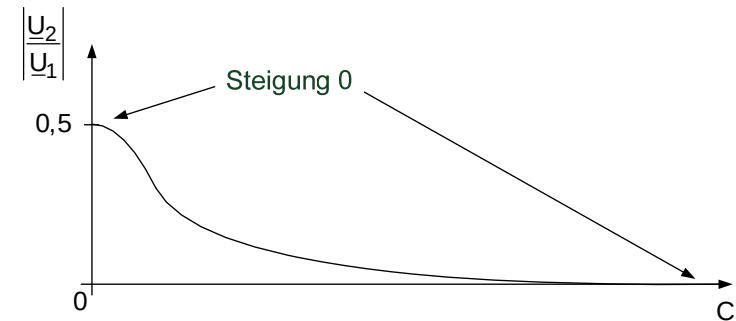
- Berechnen Sie die Steigung der Tangente der Funktion $\frac{U_2}{U_1}$ im Punkt

$C = \infty$, d.h. für $C \rightarrow \infty$.

$$\left. \frac{d}{dC} \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \right|_{C=\infty} = \frac{-\infty}{\left[4 + (\infty)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} = 0 \quad \text{Da Exponent im Nenner größer!}$$

- Stellen Sie den qualitativen Verlauf der Betragsfunktion des Spannungsverhältnisses in Abhängigkeit von der Kapazität C des Kondensators in einem Diagramm grafisch dar und berücksichtigen Sie dabei die Steigungen der Tangenten der Betragsfunktion in den Punkten für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$!

(Für den qualitativen Verlauf sind hier „nur“ die vorher berechneten Werte der Funktion (0,5 und 0) und der Ableitung (jeweils 0) wichtig. Also waagerechter Beginn und waagerechte Annäherung..)



1.4 Phasenwinkel φ_{12} – (6 Punkte)

- Berechnen Sie den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ allgemein in Abhängigkeit von R , C und ω .

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{2 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} \cdot \frac{2 - j \cdot \omega \cdot R \cdot C}{2 - j \cdot \omega \cdot R \cdot C} = \frac{2 - j \cdot \omega \cdot R \cdot C}{4 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}$$

$$\operatorname{Re}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right) = \frac{2}{4 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}$$

$$\operatorname{Im}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right) = \frac{-\omega \cdot R \cdot C}{4 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}$$

$$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)}{\operatorname{Re}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)}\right) = \arctan\left(\frac{-\omega \cdot R \cdot C}{2}\right)$$

Oder noch einfacher::

Phasenwinkel von Zähler und Nenner getrennt bestimmen und voneinander abziehen:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}(\text{Zähler})}{\operatorname{Re}(\text{Zähler})}\right) - \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}(\text{Nenner})}{\operatorname{Re}(\text{Nenner})}\right) \\ &= \arctan\left(\frac{0}{1}\right) - \arctan\left(\frac{\omega \cdot R \cdot C}{2}\right) \\ &= -\arctan\left(\frac{\omega \cdot R \cdot C}{2}\right) \\ &= \arctan\left(\frac{-\omega \cdot R \cdot C}{2}\right) \end{aligned}$$

- Erklären Sie an Hand Ihrer Rechnung welchen Wertebereich der Phasenwinkel φ annehmen kann.

ω, R, C sind alles reelle Zahlen ≥ 0 , somit liefert der $\arctan()$ Werte zwischen 0 und 90° . bzw. es gilt: $-90^\circ \leq \varphi_{12} \leq 0^\circ$

- Vergleichen Sie Ihr Rechenergebnis mit dem Ergebnis aus dem Zeigerdiagramm aus Aufgabe 1.2.

Passt ;-)

- Berechnen Sie für Phasenwinkel φ_{12} für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$.

$$\varphi|_{C=0} = \arctan\left(\frac{-0}{2}\right) = 0^\circ$$

$$\varphi|_{C=\infty} = \arctan(-\infty) = -90^\circ$$

Aufgabe 2: Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM) als

Antrieb für eine Teichpumpe

2.1 Nennbetrieb der GM – (7 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine für den Nennbetrieb.

Geben Sie immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzen Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Aufgenommene Leistung $P_{A,N}$

$$\text{Aus: } \eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{aufgewendet}}} \text{ ergibt hier: } P_{A,N} = \frac{1}{\eta_N} \cdot P_N$$

$$P_{A,N} = \frac{1}{0,5} \cdot 2W = 4W$$

- Ankerstrom $I_{A,N}$

$$\text{Aus: } P_{A,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} \text{ ergibt: } I_{A,N} = \frac{P_{A,N}}{U_{A,N}}$$

$$I_{A,N} = \frac{4W}{12V} = \frac{1}{3}A$$

- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$

$$\text{Aus: } P_{A,N} = P_N + P_{VA,N} \text{ ergibt: } P_{VA,N} = P_{A,N} - P_N$$

$$P_{VA,N} = 4W - 2W = 2W$$

- Ankerwiderstand R_A

$$\text{Aus: } P_{VA} = R_A \cdot (I_A)^2 \text{ ergibt: } R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2}$$

$$R_A = \frac{2W}{(\frac{1}{3}A)^2} = 18\Omega$$

- Induzierte Spannung $U_{i,N}$

$$U_{i,N} = U_{A,N} - I_{A,N} \cdot R_A$$

$$U_{i,N} = 12V - \frac{1}{3}A \cdot 18\Omega = 6V$$

$$\text{Alternativ aus Wirkungsgrad: } P_{A,N} = \frac{1}{\eta_N} \cdot P_N$$

$$U_{i,N} = \eta_N \cdot U_{A,N}$$

$$U_{i,N} = 0,5 \cdot 12V = 6V$$

- Abgegebenes Nennmoment M_N in der Einheit N·cm

$$M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{2\pi n_N}$$

$$M_N = \frac{2W}{2\pi \frac{4000}{60s}} = 4,77 \cdot 10^{-3}Nm = 0,477Ncm$$

- Produkt aus Maschinenkonstante und Fluss $c \cdot \Phi$

$$c\Phi = \frac{M_N}{I_{A,N}}$$

$$c\Phi = \frac{4,77 \cdot 10^{-3}Nm}{\frac{1}{3}A} = 14,324 \cdot 10^{-3}Vs$$

Alternativ:

$$c\Phi = \frac{U_{i,N}}{\Omega_N} = \frac{6V}{2\pi \frac{4000}{60s}} = 14,324 \cdot 10^{-3}Vs$$

Hinweis: Wenn Sie die Aufgabe 2.1 nicht lösen konnten, dürfen Sie im Folgenden $R_A = 18\Omega$ und $c \cdot \Phi = 14,324 \cdot 10^{-3}Vs$ verwenden.

Anmerk.: Man kann auch mit Brüchen weiterrechnen... Wer bei dieser Aufgabe schlecht rundet, kriegt z.B. keine schönen Werte für den Ankerwiderstand oder die induzierte Spannung raus...

2.2 Anlauf und Leerlauf – (4 Punkte)

Die Ankerspannung soll stets ihren Nennwert aufweisen.

- Berechnen Sie die Leerlaufdrehzahl n_0 der GM.

Leerlauf (*keine Reibung*): $I_{A,0} = 0 \rightarrow U_{i,0} = U_A = 12V$

mit $c\Phi = \text{konstant}$:

$$n_0 = \frac{U_{i,0}}{U_{i,N}} \cdot n_N = \frac{12V}{6V} \cdot 4000 \text{min}^{-1} = 8000 \text{min}^{-1}$$

- Berechnen Sie den Stillstandsstrom $I_{A,st}$, sowie das Stillstandsmoment M_{st} der GM.

da Stillstand: $n = 0 \rightarrow U_{i,0} = 0V$ ist:

$$I_{A,st} = \frac{U_A}{R_A} = \frac{12V}{18\Omega} = \frac{2}{3}A$$

mit $c\Phi = \text{konstant}$: $M_{st} = \frac{I_{A,st}}{I_{A,N}} \cdot M_N$

$$M_{st} = \frac{\frac{2}{3}A}{\frac{1}{3}A} \cdot 4,775 \cdot 10^{-3} \text{Nm} = 9,55 \cdot 10^{-3} \text{Nm}$$

- Berechnen Sie das Verhältnis der Verlustleistungen im Ankerwiderstand, Stillstand bezogen auf Nennbetrieb, also $\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,n}}$.

$$\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,N}} = \frac{R_A \cdot (I_{A,st})^2}{R_A \cdot (I_{A,N})^2}$$

$$\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,N}} = \frac{(I_{A,st})^2}{(I_{A,N})^2} = \frac{(\frac{2}{3})^2}{(\frac{1}{3})^2} = 4$$

2.3 Drehmoment in Abhängigkeit der Drehzahl – (4 Punkte)

- Stellen Sie ausgehend von der Maschengleichung im Ankerkreis

$U_i = U_A - I_A \cdot R_A$ eine Formel für das abgegebene Moment der GM in

der Form $M(n) = \frac{a-n}{b}$ auf und geben Sie Wert und Einheit der

Parameter a und b an.

Zuerst Maschenregel, dann die bekannten Formeln einsetzen und Umformen, so dass nur noch „Variablen“ übrig bleiben die einen festen Wert haben, bzw. die selbst keine Abhängigkeit mehr von der Drehzahl haben)

$$U_i = U_A - I_A \cdot R_A$$

$$c\Phi \cdot \Omega = U_A - \frac{M}{c\Phi} \cdot R_A$$

$$\frac{R_A}{c\Phi} \cdot M = U_A - c\Phi \cdot \Omega$$

$$\frac{R_A}{2\pi \cdot (c\Phi)^2} \cdot M = \frac{U_A}{2\pi \cdot c\Phi} - n$$

$$M(n) = \frac{\left(\frac{U_A}{2\pi \cdot c\Phi} \right) - n}{\frac{R_A}{2\pi \cdot (c\Phi)^2}} \quad (\text{geforderte Form beachten})$$

Somit:

$$a = \frac{U_A}{2\pi \cdot c\Phi} = \frac{12V}{2\pi \cdot 14,324 \cdot 10^{-3} \text{Vs}} = 133,33 \frac{1}{s}$$

$$b = \frac{R_A}{2\pi \cdot (c\Phi)^2} = \frac{18\Omega}{2\pi \cdot (14,324 \cdot 10^{-3} \text{Vs})^2} \approx 13962,63 \frac{1}{\text{Nm} \cdot s}$$

(Es ist explizit gefordert die Parameter anzugeben...)

2.4 Stationäre Drehzahl bei Betrieb der Pumpe (AP1) – (5 Punkte)

Die GM soll nun die Pumpe antreiben. Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Teilaufgabe 2.3) die folgende Näherung für die Drehmoment-

Drehzahl-Kennlinie der GM: $M(n) = 0,01 \text{ Nm} - \frac{n}{14000 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{Nm}}}$ für die Berechnung

des sich einstellenden Arbeitspunktes AP1.

- Ist dieser Arbeitspunkt (AP1) stabil oder instabil?

Begründen Sie Ihre Antwort.

Stabil, da das Lastmoment für größere Drehzahlen größer wird, während das Moment der Maschine mit kleineren Drehzahlen steigt.

- Welche stationäre Drehzahl n_{AP1} stellt sich ein?

$$M(n) = M_L(n)$$

$$0,01 \text{ Nm} - \frac{n}{14000 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{Nm}}} = n^2 \cdot 10^{-6} \text{ Nm} \cdot \text{s}^2$$

$$n^2 + n \cdot \frac{1000}{14 \text{ s}} - 10^4 \text{ s}^{-2} = 0$$

$$n_{1,2} = -\frac{1000}{28 \text{ s}} \pm \sqrt{\left(\frac{1000}{28 \text{ s}}\right)^2 + 10^4 \text{ s}^{-2}}$$

$$n_{1,2} = -35,714 \frac{1}{\text{s}} \pm 106,186 \frac{1}{\text{s}}$$

$$n_1 = 70,47 \frac{1}{\text{s}} = 4228 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = -141,9 \frac{1}{\text{s}} \quad \text{unsinnig}$$

$$\rightarrow n_{AP} = 4228 \text{ min}^{-1}$$

- Darf die GM dauerhaft so betrieben werden?

Begründen Sie Ihre Antwort

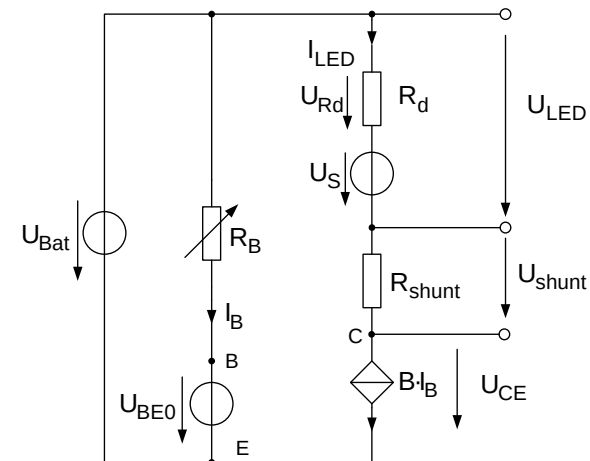
Ja, da $n_{AP} > n_N \rightarrow M_{AP} < M_N \rightarrow I_{AP} < I_N$

Aufgabe 3: Schaltung zur Vermessung von Diodenkennlinien

TEIL I: Stromquelle

3.1 Gleichstromersatzschaltbild – (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild (GS-ESB) der kompletten in Bild 3.1 dargestellten Schaltung inklusive aller Ströme und Spannungen sowie der Punkte (B,E,C). Zeichnen Sie zusätzlich auch alle Ströme und Spannungen an den Elementen der linearisierten Ersatzschaltbilder von Transistor und Diode ein. Elemente, die vernachlässigt werden können, sind NICHT mit einzuzeichnen.



3.2 Dimensionierung des Vorwiderstandes... – (5 Punkte)

- Berechnen Sie allgemein den Kollektorstrom des Transistors bzw. den Strom

$$I_{LED} = f(U_{Bat}, U_{BE0}, R_B, B)$$

$$I_{LED} = I_C = I_{C0} = B \cdot I_B$$

$$I_{LED} = B \cdot \frac{U_{RB}}{R_B} = B \cdot \frac{U_{Bat} - U_{BE0}}{R_B}$$

- Bestimmen Sie eine Berechnungsvorschrift für den Widerstand R_B in

der Form $R_B = f(I_{LED}) = \frac{a}{I_{LED}}$. Geben Sie den Wert und die Einheit des

Parameter a an.

$$R_B = B \cdot \frac{U_{Bat} - U_{BE0}}{I_{LED}}$$

$$R_B = \frac{100 \cdot (5V - 0,6V)}{I_{LED}} = \frac{440V}{I_{LED}}$$

$$a = 440V$$

$$[a] = V$$

- Berechnen Sie den minimalen und maximalen Wert für den Widerstand R_B . (Beachten Sie den Bereich in welchem der Strom I_{LED} einstellbar sein soll.)

$$R_{B,max} = R_B(I_{LED} = 20mA) = \frac{440V}{20mA} = 22k\Omega$$

$$R_{B,min} = R_B(I_{LED} = 2A) = \frac{440V}{2A} = 220\Omega$$

TEIL II: Signalaufbereitung

3.3 Stufe 1 – (3 Punkte)

- Welche OP-Grundschialtung wird verwendet? Welchen Zweck hat diese?

Impedanzwandler:

Hoher (unendlich großer) Eingangswiderstand, damit die gemessenen Spannungen nicht verfälscht werden.

- Berechnen Sie $U_2 = f(I_{LED}, R_{shunt})$

$$U_{shunt} = I_{LED} \cdot R_{shunt}$$

$$U_2 = -U_{shunt} = -(I_{LED} \cdot R_{shunt})$$

(Auf die Pfeilungsrichtung achten! Hier ist ein „-“ drin!)

3.4 Stufe 2 – (4 Punkte)

- Welche OP-Grundschialtung wird verwendet?

Invertierender Verstärker

- Geben Sie $U_3 = f(U_2, R_a, R_b)$ an

$$U_3 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot U_2$$

- Berechnen Sie $U_3 = f(I_{LED})$ in der Form $U_3 = x \cdot I_{LED}$ und geben Sie Wert und Einheit des Parameter x an.

$$U_3 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot U_2 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot (-(I_{LED} \cdot R_{shunt}))$$

$$U_3 = \frac{R_b \cdot R_{shunt}}{R_a} \cdot I_{LED} = \frac{20k\Omega \cdot 0,5\Omega}{2k\Omega} \cdot I_{LED} = 5\Omega \cdot I_{LED}$$

$$x = 5\Omega$$

$$[x] = \Omega$$

3.5 Stufe 3 – (4 Punkte)

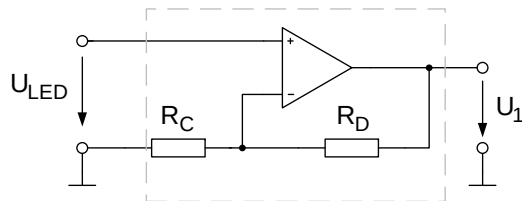
Für die Stufe 3 wird eine Schaltung gesucht, so dass gilt: $U_1 = 5 \cdot U_{LED}$.

Zur Verfügung stehen ein OP, ein Widerstand $R_C = 5 \text{ k}\Omega$, sowie ein weiterer Widerstand R_D .

- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung.

Tragen Sie die Beschriftungen für die Widerstände, sowie die beiden Spannungen U_1 und U_{LED} ein und geben Sie den Namen der Grundschialtung an.

Nichtinvertierender Verstärker (da $v=5$):



R_C und R_D können auch vertauscht werden

- Berechnen Sie den Wert von R_D passend zu Ihrer Schaltung.

Bei Schaltung wie in Zeichnung:

$$\left(1 + \frac{R_D}{R_C}\right) = 5$$

$$R_D = 4 \cdot R_C = 4 \cdot 5 \text{ k}\Omega = 20 \text{ k}\Omega$$

Wenn R_C und R_D vertauscht:

$$\left(1 + \frac{R_C}{R_D}\right) = 5$$

$$R_D = \frac{1}{4} \cdot R_C = \frac{1}{4} \cdot 5 \text{ k}\Omega = 1,25 \text{ k}\Omega$$

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp...)
(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

07.03.2013

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie **jede Aufgabe** auf einem **neuen Blatt**.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Komplexe Größen $\underline{G}$ sind, soweit nicht explizit anders verlangt, in kartesischer Form ($\underline{G} = \text{Re}(\underline{G}) + j\text{Im}(\underline{G})$) anzugeben.

Für die Aufgabe 4 gilt:

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.

Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung, bestehend aus den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 und R_3 sowie der Spule L , wird an der sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben. Der Brückenzweig AB ist stets unbelastet.

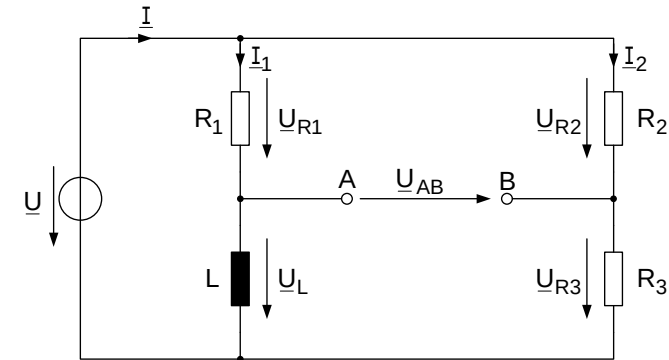


Abbildung 1-1: Brückenschaltung an Wechselspannung

Nachfolgend soll allgemein (ohne Zahlenwerte) mit $\underline{U} = U \cdot e^{j0^\circ} = U$,

R_1 , R_2 , R_3 und X_L mit $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$, berechnet werden.

1.1 Impedanzen und Ströme – (4 Punkte)

- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_1$ des ersten Zweiges, bestehend aus der Reihenschaltung von R_1 und L , allgemein in Abhängigkeit von R_1 und X_L .
- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_2$ des zweiten Zweiges, bestehend aus der Reihenschaltung von R_2 und R_3 , allgemein in Abhängigkeit von R_2 und R_3 .
- Berechnen Sie die Zweigströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ sowie den Gesamtstrom $\underline{I}$ jeweils allgemein in Abhängigkeit von U , R_1 , R_2 , R_3 und X_L .

1.2 Teilspannungen und Spannung $\underline{U}_{AB}$ – (6 Punkte)

- Berechnen Sie mit Hilfe der Spannungsteilerregel die Spannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_{R3}$ und $\underline{U}_L$ jeweils allgemein in Abhängigkeit von $\underline{U}$, R_1 , R_2 , R_3 und X_L .
- Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenweig allgemein in Abhängigkeit von $\underline{U}$, R_1 , R_2 , R_3 und X_L .
- Wie groß muss X_L in Abhängigkeit von R_1 , R_2 und R_3 gewählt werden, damit die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenweig der Spannung $\underline{U}$ um 90° voreilt? Geben Sie für diesen Fall die Spannung $\underline{U}_{AB}$ allgemein in Abhängigkeit von $\underline{U}$, R_2 und R_3 an.

Hinweis: Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ um 90° vor, wenn der Realteil der Spannung $\underline{U}_{AB}$ verschwindet.

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ soll im Folgenden der Spannung $\underline{U}$ stets um 90° voreilen.

Für diesen Fall gilt:

$$\underline{U}_{AB}(R_2) = j \cdot \underline{U} \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3} = j \cdot \underline{U} \cdot \frac{u(R_2)}{v(R_2)}$$

$$\text{mit } u(R_2) = \sqrt{R_2 \cdot R_3} \text{ und } v(R_2) = R_2 + R_3$$

1.3 Maximum der Spannung $\underline{U}_{AB}$ – (5 Punkte)

- Berechnen Sie R_2 in Abhängigkeit von R_3 , so dass der Betrag (Effektivwert) $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}_{AB}$ maximal wird.
- Wie groß ist $\underline{U}_{AB}$ für diesen Fall, wenn $\underline{U} = 20\text{V}$ beträgt?

Hinweis: Das Maximum der Funktion $\underline{U}_{AB}(R_2)$ erhalten Sie, indem Sie die

erste Ableitung $\frac{d\underline{U}_{AB}(R_2)}{dR_2} = \underline{U}'_{AB}(R_2)$ zu Null setzen! Die Ableitung

einer Funktion $f(x) = \frac{u(x)}{v(x)}$ erhalten Sie nach der Quotientenregel zu:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{u'(x) \cdot v(x) - u(x) \cdot v'(x)}{v(x)^2}$$

$$\text{Dabei ist } u'(x) = \frac{du(x)}{dx} \text{ und } v'(x) = \frac{dv(x)}{dx}.$$

1.4 Zeigerdiagramm – (5 Punkte)

- Zeichnen Sie für den Fall $X_L = R_1$ und $R_2 = R_3$ ein längen- und winkelgetreues Zeigerdiagramm für die Spannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_L$, $\underline{U}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_{R3}$ und $\underline{U}_{AB}$ unter der Vorgabe, dass die Länge des Zeigers der Spannung $\underline{U}_{R1}$ gleich 8 cm beträgt

Hinweis: Verwenden Sie ein Lineal. Freihandskizzen werden grundsätzlich mit null Punkten bewertet!

Hinweis: Längen- und winkelgetreu bedeutet, dass die Längen- und Winkelverhältnisse des Zeigerdiagramms der Realität entsprechen und lediglich der Maßstab unbekannt ist. Aus der Zeigerlänge für die Spannung $\underline{U}_{R1}$ und den anderen Vorgaben ergeben sich alle weiteren Zeigerlängen und daraus dann die Winkelverhältnisse!

Aufgabe 2: Kreissäge

Eine Kreissäge soll durch eine Asynchronmaschine mit Käfigläufer (ASM) direkt an einem symmetrischen, dreiphasigen Drehstromnetz in Dreieckschaltung betrieben werden.

Als Pumpenantrieb für das Kühlsystem der Säge dient eine permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM).

Die Aufgabenteile I und II sind unabhängig voneinander lösbar.

TEIL I: Asynchronmaschine als Sägeblattantrieb**Von der ASM sind die folgenden Daten bekannt:**

Nenndrehzahl:	$n_N = 970 \text{ min}^{-1}$
Kippschlupf:	$s_K = 10\%$
Stillstandsmoment:	$M_{el,st} = 17,71 \text{ Nm}$
Leistungsfaktor bei Nennbetrieb:	$\cos(\varphi_N) = 0,94$
Wirkungsgrad bei Nennbetrieb:	$\eta_N = 97\%$

Innerhalb der ASM müssen nur die Kupferverluste des Rotors berücksichtigt werden. Sämtliche anderen Verluste (auch die Reibung) sind zu vernachlässigen.

Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden.

Vom speisenden Netz sind die folgenden Daten bekannt:

Netzfrequenz:	$f_{\text{Netz}} = 50 \text{ Hz}$
Außenleiterspannung:	$U_L = 400 \text{ V}$

2.1 Maschinendaten: Drehzahl und Schlupf – (3 Punkte)

- Welche Polpaarzahl p besitzt die ASM, wenn der Nennschlupf einen Wert im einstelligen Prozentbereich besitzt? Begründen Sie Ihre Antwort und geben Sie die Synchrondrehzahl n_{sync} der Maschine in der Einheit min^{-1} an.
- Berechnen Sie den Nennschlupf s_N .

2.2 Maschinendaten: Drehmomente – (3 Punkte)

- Berechnen Sie das Kippmoment $M_{el,K}$ der ASM.

Hinweis: Nutzen Sie die Kloss'sche Formel $\frac{M_{el}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$ sowie einen bekannten (gegebenen) Betriebspunkt.

- Berechnen Sie das Nennmoment M_N der ASM.

Hinweis: Wenn Sie die Aufgabe 2.2 nicht lösen konnten, dürfen Sie im Folgenden $M_N = 49,3 \text{ Nm}$ und $M_{el,K} = 89,5 \text{ Nm}$ verwenden.

2.3 Nennbetrieb der ASM (Sägen) – (6 Punkte)

- Berechnen Sie die Nennleistung P_N der ASM.
- Berechnen Sie die Luftspaltleistung $P_{\delta,N}$, die aufgenommene elektrische Wirkleistung $P_{\text{auf},N}$ sowie die gesamte in der Maschine auftretende Verlustleistung $P_{V,N}$ bei Nennbetrieb.
- Berechnen Sie den Effektivwert I_L des Leiterstroms an den Anschlussklemmen der ASM bei Nennbetrieb.
- Berechnen Sie die von der ASM aufgenommene Blindleistung $Q_{\text{auf},N}$ bei Nennbetrieb.

2.4 Betrieb ohne Werkstück (AP1) – (2 Punkte)

Wenn kein Werkstück gesägt wird (AP1), wird die ASM mit einem Moment von $M_{\text{AP1}} = 5 \text{ Nm}$ belastet.

- Berechnen Sie die Drehzahl n_{AP1} der ASM in der Einheit min^{-1} .

TEIL II: Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine als Kühlmittelpumpe**Von der GM sind die folgenden Daten bekannt:**

Ankernennspannung:	$U_{A,N} = 24 \text{ V}$
Ankernennstrom:	$I_{A,N} = 2,5 \text{ A}$
Wirkungsgrad bei Nennbetrieb:	$\eta_N = 85\%$
Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung:	$n_{0,N} = 2000 \text{ min}^{-1}$
Reibungs- und Eisenverluste sind zu vernachlässigen.	
Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden.	
Alle Größen der GM sind Gleichgrößen.	

2.5 Nennbetrieb der GM – (6 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine und geben Sie dabei immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzen Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Nennleistung P_N (abgegebene Leistung)
- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{V,A,N}$ bei Nennbetrieb
- Ankerwiderstand R_A
- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb $U_{i,N}$
- Nenndrehzahl des Motors n_N in min^{-1}
- Abgegebenes Nennmoment M_N

Aufgabe 3: Temperaturmessung und Heizung

Für eine Heizungssteuerung soll die Temperatur ϑ über einen temperaturabhängigen Widerstand $R_4(\vartheta)$ gemessen und abhängig davon über einen Transistor T_1 ein Heizdraht R_H angesteuert werden. Bild 3.1 zeigt die Schaltung.

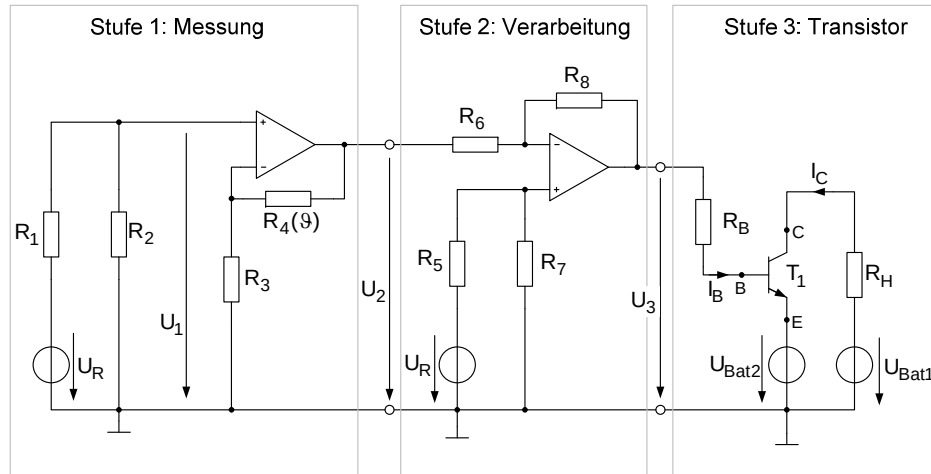


Bild 3.1: Schaltung zur Temperaturmessung und Ansteuerung des Transistors

Es sind die folgenden Daten gegeben:

Widerstände:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$

$$R_4(\vartheta) = R \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20^\circ \text{C}}{1000^\circ \text{C}} \right)$$

$$R_5 = R_6 = R$$

$$R_7 = R_8 = R_G$$

Referenzspannungsquelle:

$$U_R = 5 \text{ V}$$

Versorgungsspannungen (Transistorstufe):

$$U_{Bat1} = +15 \text{ V}$$

$$U_{Bat2} = -15 \text{ V}$$

Operationsverstärker:

Versorgungsspannung (in Bild 3.1 nicht eingezeichnet): $\pm 15 \text{ V}$

Maximale Ausgangsspannung: $\pm 15 \text{ V}$

Die OPs dürfen als ideal angenommen werden.

Transistor:

Versorgungsspannungen:

$$U_{Bat1} = +15 \text{ V}$$

$$U_{Bat2} = -15 \text{ V}$$

Basis-Emitter-Widerstand:

$$R_{BE} = 140 \Omega$$

Kollektor-Emitter-Widerstand:

$$R_{CE} \rightarrow \infty$$

Basis-Emitter-Diffusionsspannung:

$$U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$$

Gleichstromverstärkung:

$$B = 100$$

3.1 Stufe 1: Messung – (4 Punkte)

- Welche Operationsverstärker-Grundschiung enthält die Stufe 1?

Hinweis: Betrachten Sie die Spannung U_1 als Eingangsspannung der OP-Schaltung.

- Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_2 der Stufe 1 allgemein in Abhängigkeit von U_R , R und ϑ . Vereinfachen Sie das Ergebnis so weit wie möglich.
- Handelt es sich bei dem temperaturabhängigen Widerstand $R_4(\vartheta)$ um einen Heißeiter oder um einen Kaltleiter? (Kurze Begründung)

3.2 Stufe 2: Verarbeitung (4 Punkte)

- Welche Operationsverstärker-Grundsaltung wird in Stufe 2 verwendet?
- Berechnen Sie U_3 allgemein in Abhängigkeit von U_R , R , R_G und U_2 .
- Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_3 der Stufe 2 allgemein in Abhängigkeit von U_R , R , R_G und ϑ . Vereinfachen Sie das Ergebnis so weit wie möglich.

Die Verstärkung dieser Stufe soll so eingestellt werden, dass $U_3(\vartheta = 0^\circ \text{C}) = 15 \text{ V}$ ist, ohne dass der OP in Begrenzung geht.

- Berechnen Sie den Wert von R_G für $R = 1 \text{ k}\Omega$.

3.3 Stufe 3: Transistor – Gleichstromersatzschaltbild (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild (GS-ESB) der Stufe 3 inklusive der Ströme und Spannungen, welche auch in Bild 3.1 eingezeichnet sind. Tragen Sie zusätzlich noch die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} ein. Elemente, die vernachlässigt werden können sind NICHT mit einzuzeichnen.

Hinweis: Beachten Sie, dass die Emitter-Klemme des Transistors NICHT auf dem Bezugspotential der Spannung U_3 liegt!

3.4 Stufe 3: Transistor – Dimensionierung (5 Punkte)

Im Folgenden soll R_B so dimensioniert werden, dass der Kollektorstrom $I_{C,AP} = 1 \text{ A}$ beträgt, wenn die Spannung $U_{3,AP} = +15 \text{ V}$ ist.

- Berechnen Sie den Basisstrom $I_{B,AP}$.
- Berechnen Sie den Wert des Basis-Vorwiderstandes R_B .

Hinweis: Beachten Sie, dass die Emitter-Klemme des Transistors NICHT auf dem Bezugspotential der Spannung U_3 liegt!

- Berechnen Sie die Spannung U_3 , welche unterschritten werden muss, damit im Heizwiderstand R_H keine Leistung mehr umgesetzt wird.
- Ab welcher Temperatur ϑ_1 wird in R_H keine Leistung mehr umgesetzt?

3.5 Erzeugung der Referenzspannung – (3 Punkte)

Die in den Stufen 1 und 2 benötigte Referenzspannung $U_R = 5 \text{ V}$ soll durch eine geeignete Schaltung aus der Versorgungsspannung $U_{Bat1} = +15 \text{ V}$ gewonnen werden (siehe Bild 3.2). Dabei soll die Referenzspannung U_R auch bei Belastung stabil bleiben.

Zur Verfügung stehen ein OP, sowie drei Widerstände mit jeweils $5 \text{ k}\Omega$.

- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung und begründen Sie, warum Sie diese Schaltung gewählt haben.

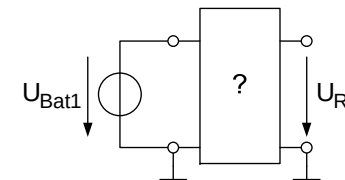


Bild 3.2: Erzeugung der Referenzspannung

Aufgabe 4: Multiple Choice

- Pro Frage ist genau **eine** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
Richtige Antwort: +1 Punkt
Keine Antwort: 0 Punkte
Falsche Antwort: -1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)**4.1 Der Ersatzleitwert von n in Serie geschalteten ohmschen Widerständen ist**

- a) die Summe der n Widerstände.
- b) der Kehrwert der Summe der n Widerstände.
- c) die Summe der Kehrwerte der n Widerstände.

4.2 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch

- a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.
- b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.
- c) die Permittivität des Werkstoffes.

4.3 Bei einer realen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung

- a) abhängig vom Klemmenstrom.
- b) unabhängig vom Klemmenstrom.
- c) nur abhängig von der Art der Belastung.

4.4 Der von einer Spannungsquelle zu liefernde Strom bei Parallelschaltung von zwei Widerständen ist

- a) kleiner als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.
- b) größer als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.
- c) unabhängig von der Schaltung der Widerstände.

4.5 Der Strom an den Klemmen einer realen Gleichstromquelle

- a) nimmt mit steigender Klemmenspannung ab.
- b) ist immer konstant.
- c) nimmt mit steigender Klemmenspannung zu.

4.6 Der Überlagerungssatz kann nicht angewendet werden, wenn

- a) es sich um ein linearisiertes Netzwerk handelt.
- b) es sich um ein Netzwerk mit mehr zwei Quellen handelt.
- c) im Netzwerk nichtlineare Elemente enthalten sind.

4.7 Welche Aussage bezüglich einer Spule stimmt? Sprungartig ändern kann sich

- a) nur der Spulenstrom.
- b) nur die Spannung an der Spule.
- c) sowohl der Strom als auch die Spannung.

4.8 Bei der Resonanzfrequenz in einem RLC-Parallelschwingkreis an einer Wechselspannungsquelle

- a) erreicht der Strom durch die Schaltung seinen Maximalwert.
- b) erreicht der Strom durch die Schaltung seinen Minimalwert.
- c) ist die Stromstärke unabhängig von der angelegten Spannung.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)**4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls**

- a) dient der Erhöhung der Kapazität.
- b) dient der Erhöhung der Induktivität.
- c) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.

4.10 Ein p-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

- a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.
- b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.
- c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

- a) im 3. Quadranten der Strom-Spannungskennlinie der Diode.
- b) nur für spezielle Diodentypen.
- c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.12 Eine Schaltung mit einem Operationsverstärker ohne Rückkopplung

- a) wird den Operationsverstärker beschädigen.
- b) wird als Komparator-Schaltung bezeichnet.
- c) wird am Ausgang des Operationsverstärkers immer eine Spannung von exakt 0 V liefern.

4.13 Die Eingangskennlinie eines Bipolartransistors beschreibt

- a) die Kollektor-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Kollektorstrom und Kollektor-Emitterspannung an.
- b) die Basis-Kollektor-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Kollektorstrom an.
- c) die Basis-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Basis-Emitterspannung an.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker

- a) hat einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen vernachlässigbar kleinen Ausgangswiderstand.
- b) hat einen vernachlässigbar kleinen Eingangswiderstand und einen unendlich hohen Verstärkungsfaktor.
- c) hat keinen Ausgangswiderstand und einen sehr niedrigen Verstärkungsfaktor.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 In einer Leiterschleife kann keine Spannung induziert werden, wenn sich die Leiterschleife

- a) in einem zeitlich wechselnden Magnetfeld befindet und ruht.
- b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht.
- c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Welche der Aussagen ist für die Dreiecksschaltung richtig?

- a) Der Leiterstrom ist gleich dem Strangstrom.
- b) Die Außenleiterspannung ist gleich der Strangspannung.
- c) Der Strom im Neutralleiter ist immer gleich dem Strangstrom.

4.17 Bei einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist der magnetische Fluss im Stator unter Vernachlässigung der Sättigung

- a) abhängig von der Drehzahl.
- b) abhängig vom Ankerstrom.
- c) unabhängig von Drehzahl und Ankerstrom.

4.18 Durch das Verringern des Erregerstromes I_F einer fremderregten Gleichstrommaschine wird

- a) der Fluss ϕ im Stator verkleinert.
- b) die Leerlaufdrehzahl n_0 des Motors verkleinert.
- c) der Fluss ϕ im Stator vergrößert.

4.19 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

- a) die Ankerspannung U_A vergrößert wird.
- b) der magnetische Fluss durch den Rotor vermindert wird.
- c) der magnetische Fluss durch den Rotor vergrößert wird.

4.20 Die Synchrongeschwindigkeit einer Drehstrom-Asynchronmaschine hängt

- a) quadratisch von der Spannung des speisenden Netzes ab.
- b) vom Produkt aus Spannungsquadrat und Frequenz ab.
- c) linear von der Frequenz des speisenden Netzes ab.



Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

7.3.2013

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1. Impedanzen und Ströme

(Komplexe Größen sind gefragt!)

Impedanz des ersten Zweiges:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L = R_1 + j \cdot X_L$$

Impedanz des zweiten Zweiges:

$$\underline{Z}_2 = R_1 + R_2$$

Strom im ersten Zweig:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_1} = \frac{\underline{U}}{R_1 + j \cdot X_L} = \frac{\underline{U}}{R_1 + j \cdot X_L} \cdot \frac{R_1 - j \cdot X_L}{R_1 - j \cdot X_L} = \underline{U} \cdot \left[\frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} - j \cdot \frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

Strom im zweiten Zweig:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{\underline{U}}{R_2 + R_3}$$

Gesamtstrom:

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{U} \cdot \left[\left(\frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} + \frac{1}{R_2 + R_3} \right) - j \cdot \frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

1.2. Teilspannungen und Spannung $\underline{U}_{AB}$

Anmerkung: Wie in den Hinweisen angegeben, sind alle komplexen Größen in der Form:

Realteil + $j \cdot$ Imaginärteil

anzugeben! Also darauf achten, dass kein „j“ irgendwo im Nenner steht...

$$\frac{\underline{U}_{R1}}{\underline{U}} = \frac{R_1}{\underline{Z}_1} = \frac{R_1}{R_1 + j \cdot X_L} = \frac{R_1^2 - j \cdot R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2}$$

$$\underline{U}_{R1} = \underline{U} \cdot \left[\frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} - j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

$$\frac{\underline{U}_{X_L}}{\underline{U}} = \frac{j \cdot X_L}{\underline{Z}_1} = \frac{j \cdot X_L}{R_1 + j \cdot X_L} = \frac{X_L^2 + j \cdot R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2}$$

$$\underline{U}_L = \underline{U} \cdot \left[\frac{X_L^2}{R_1^2 + X_L^2} + j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{U} \cdot \left[\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right]$$

$$\underline{U}_{R3} = \underline{U} \cdot \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right]$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_{R1} = \underline{U} \cdot \left[\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right] - \underline{U} \cdot \left[\frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} - j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U} \cdot \left[\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} - \frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} \right) + j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

Aus dem gegebenen Hinweis:

$$\operatorname{Re}(\underline{U}_{AB}) = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} - \frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} \right) = 0$$

$$\frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2}$$

$$X_L^2 = R_1^2 \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

$$X_L = R_1 \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}$$

$$\underline{U}_{AB} \Big|_{X_L = R_1 \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}} = j \cdot U \cdot \frac{R_1 \cdot R_1 \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}}{R_1^2 + R_1^2 \cdot \frac{R_3}{R_2}} = j \cdot U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3}$$

1.3. Maximum der Spannung $\underline{U}_{AB}$

$$\underline{U}_{AB} = j \cdot U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3}$$

Erst einmal den Betrag bilden:

$$|\underline{U}_{AB}| = U_{AB} = U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3}$$

$$u(R_2) = \sqrt{R_2 \cdot R_3} \quad u'(R_2) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}$$

$$v(R_2) = R_2 + R_3 \quad v'(R_2) = 1$$

$$\frac{1}{U} \cdot \frac{dU_{AB}}{dR_2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}} \cdot (R_2 + R_3) - \sqrt{R_2 \cdot R_3} \cdot 1}{(R_2 + R_3)^2}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}} \cdot (R_2 + R_3) - \sqrt{R_2 \cdot R_3} \cdot 1 = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{R_3}}{\sqrt{R_2}} \cdot (R_2 + R_3) = \sqrt{R_2} \cdot \sqrt{R_3}$$

$$\frac{1}{2} \cdot (R_2 + R_3) = R_2$$

$$R_2 = R_3 \quad R_2 \text{ und } R_3 \text{ müssen gleich groß sein!}$$

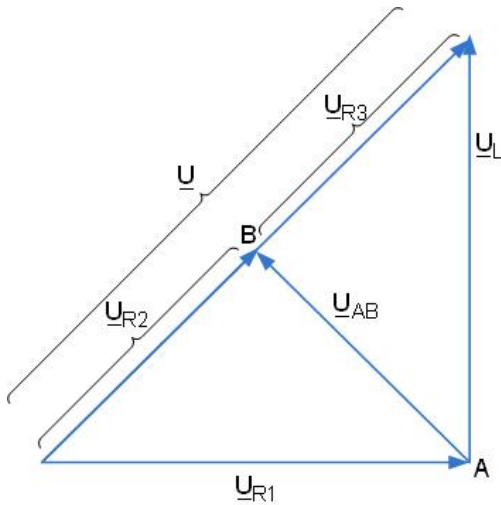
1.4. Zeigerdiagramm

Da $X_L = R_1$ folgt $U_{R1} = U_L \hat{=} 8 \text{ cm}$ (die ZeigerLÄNGEN sind gleich)

Da $R_2 = R_3$ folgt, dass die Teilspannungen gleich groß sind.

Da der Zweig rein ohmsch ist, folgt: $U_{R2} = U_{R3} = \frac{U}{2}$

Das Zeigerdiagramm kann somit längen- und winkelgetreu konstruiert werden:



Aufgabe 2: Kreissäge

TEIL I: Asynchronmaschine als Sägeblattantrieb

2.1 Maschinendaten: Drehzahl und Schlupf – (3 Punkte)

- Es gilt: $n_{\text{sync}} = \frac{f_{\text{Netz}}}{p}$

$$p = 1 \rightarrow n_{\text{sync}} = 3000 \text{ min}^{-1} \rightarrow s_N = 67\%$$

$$p = 2 \rightarrow n_{\text{sync}} = 1500 \text{ min}^{-1} \rightarrow s_N = 35,3\%$$

$$p = 3 \rightarrow n_{\text{sync}} = 1000 \text{ min}^{-1} \rightarrow s_N = 3\%$$

$$p = 4 \rightarrow n_{\text{sync}} = 750 \text{ min}^{-1} \rightarrow s_N = -29,3\%$$

Also: $p = 3 \rightarrow n_{\text{sync}} = 1000 \text{ min}^{-1}$ alles andere ist unsinnig

- $s_N = \frac{n_{\text{sync}} - n_N}{n_{\text{sync}}} = 3\%$.

2.2 Maschinendaten: Momente – (3 Punkte)

- Mit Stillstandspunkt:

$$n_{st} = 0 \text{ min}^{-1} \rightarrow s_{st} = 1$$

$$M_{el,st} = 17,71 \text{ Nm}$$

In Kloss'sche Formel eingesetzt:

$$\frac{M_{el,st}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s_{st}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{st}}} \rightarrow M_{el,K} = \frac{M_{el,st}}{2} \left(\frac{s_{st}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{st}} \right)$$

$$M_{el,K} = \frac{17,71 \text{ Nm}}{2} \left(\frac{1}{0,1} + \frac{0,1}{1} \right) = 89,4355 \text{ Nm}$$

- Nennmoment M_N der ASM über Kloss:

$$\frac{M_{el,N}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N}} \rightarrow M_{el,N} = \frac{2 \cdot M_{el,K}}{\frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N}} \stackrel{\text{Keine Reibung}}{=} M_N$$

$$M_N = \frac{2 \cdot 89,4355 \text{ Nm}}{\frac{0,03}{0,1} + \frac{0,1}{0,03}} = 49,23 \text{ Nm}$$

Anmerkung: Sind Ersatzwerte gegeben, so dürfen diese in den FOLGENDEN Aufgaben verwendet werden, jedoch NICHT INNERHALB der momentanen Teilaufgabe

2.3 Nennbetrieb der ASM (Sägen) – (6 Punkte)

- Berechnen Sie die Nennleistung P_N der ASM.

$$P_N = \Omega_N \cdot M_N = 2\pi \cdot n_N \cdot M_N$$

$$P_N = 2\pi \cdot \frac{970 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{s}{min}} \cdot 49,23 \text{ Nm} = 5 \text{ kW}$$

- Luftspaltleistung $P_{\delta,N}$ und aufgenommene Wirkleistung $P_{auf,N}$:

Aus Wirkungsgrad:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{auf,N}} \rightarrow P_{auf,N} = \frac{P_N}{\eta_N}$$

$$P_{auf,N} = \frac{5000 \text{ W}}{0,97} = 5154,6 \text{ W}$$

Da keine Verluste im Stator: $P_{auf,N} = P_{\delta,N} = 5154,6 \text{ W}$

Verlustleistung $P_{V,N}$ bei Nennbetrieb:

$$P_{V,N} = P_{auf,N} - P_N$$

$$P_{V,N} = 5154,6 \text{ W} - 5000 \text{ W} = 154,6 \text{ W}$$

- Berechnen Sie den Effektivwert I_L des Leiterstroms an den Anschlussklemmen der ASM bei Nennbetrieb:

Es gilt (mit Leitergrößen):

$$P_{auf,N} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi_N)$$

$$I_L = \frac{P_{auf,N}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos(\varphi_N)}$$

$$I_L = \frac{5154,6 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,94} = 7,91 \text{ A}$$

- Blindleistung $Q_{auf,N}$ bei Nennbetrieb:

$$Q_{auf,N} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin(\varphi_N)$$

$$Q_{auf,N} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 7,91 \text{ A} \cdot \sin(\arccos(0,94)) = 1870 \text{ var (induktiv)}$$

2.4 Realer Leerlauf der ASM (AP1) – (2 Punkte)

Wenn kein Werkstück gesägt wird (AP1), wird die ASM mit einem Moment von $M_{AP1} = 5 \text{ Nm}$ belastet.

- Berechnen Sie die Drehzahl n_{AP1} der ASM in der Einheit min^{-1} .

Über Kloss'sche Formel:

$$\frac{M_{AP1}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s_{AP1}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{AP1}}} \rightarrow \frac{s_{AP1}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{AP1}} = \frac{2 \cdot M_{el,K}}{M_{AP1}}$$

$$\frac{s_{AP1}}{0,1} + \frac{0,1}{s_{AP1}} = \frac{2 \cdot 89,4355 \text{ Nm}}{5 \text{ Nm}} = 35,7742$$

$$(s_{AP1})^2 - 357,742 \cdot s_{AP1} + 1 = 0$$

$$s_{AP1,1,2} = \frac{357,742}{2} \pm \frac{\sqrt{(357,742)^2 - 4}}{2} = 178,871 \pm 178,868$$

$$s_{AP1} = 0,28\%$$

$$(s_{AP1} = 357,7 \text{ ist unsinnig})$$

$$n_{AP1} = n_{\text{sync}}(1 - s_{AP1}) = 997,2 \text{ min}^{-1}$$

TEIL II: Gleichstrommaschine als Förderantrieb ODER Kühlmittelpumpe

2.5 Nennbetrieb der GM – (6 Punkte)

- Nennleistung P_N (abgegebene Leistung):

$$\eta_N = \frac{P_N}{U_{A,N} \cdot I_{A,N}} \rightarrow P_N = U_{A,N} \cdot I_{A,N} \cdot \eta_N$$

$$P_N = 24 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A} \cdot 0,85 = 51 \text{ W}$$

Kontrolle:

*Anmerkung: Die abgegebene Leistung muss kleiner sein als die aufgenommene Leistung (also hier: kleiner als $24\text{V} \cdot 2,5\text{A} = 60\text{W}$). Desweiteren arbeitet die Maschine als Motor, daher wird die Leistung mechanisch abgegeben (also NICHT an den Ankerklemmen)
Wer hier $P_N = 24\text{V} \cdot 2,5\text{A} = 60\text{W}$ berechnet, versaut sich die halbe Aufgabe...*

- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$:

$$P_{VA,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} - P_N$$

$$P_{VA,N} = 24 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A} - 51 \text{ W} = 9 \text{ W}$$

Auch möglich (aber Vorsicht, die „Formel“ gilt nur hier, also bei permanentmagnetisch erregter GM im Motorbetrieb):

$$P_{VA,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} \cdot (1 - \eta_N)$$

- Ankerwiderstand R_A :

$$P_{VA,N} = (I_{A,N})^2 \cdot R_A \rightarrow R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2}$$

$$R_A = \frac{9 \text{ W}}{(2,5 \text{ A})^2} = 1,44 \Omega$$

- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb $U_{i,N}$

$$U_{i,N} \cdot I_{A,N} = P_{i,mech,N} \stackrel{\text{keine Reibung}}{=} P_N \rightarrow U_{i,N} = \frac{P_N}{I_{A,N}}$$

$$U_{i,N} = \frac{51 \text{ W}}{2,5 \text{ A}} = 20,4 \text{ V}$$

- Nennndrehzahl des Motors n_N in min^{-1} :

aus $c\Phi = \text{konstant}$ da permanentmagnetisch erregt

und $U_{i,0} = U_{A,N}$ da $I_A = 0$

$$\frac{\Omega_N}{\Omega_0} = \frac{U_{i,N}}{U_{i,0}} = \frac{n_N}{n_0} \rightarrow n_N = n_0 \frac{U_{i,N}}{U_{i,0}}$$

$$n_N = 2000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{20,4 \text{ V}}{24 \text{ V}} = 1700 \text{ min}^{-1}$$

- Abgegebenes Nennmoment M_N

$$P_N = \Omega_N \cdot M_N \rightarrow M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N}$$

$$M_N = \frac{51 \text{ W}}{2\pi \cdot \frac{1700 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}} = 0,286 \text{ Nm}$$

Aufgabe 3: Temperaturmessung und Heizung

3.1 Stufe 1: Messung – (4 Punkte)

- Nichtinvertierender Verstärker (mit Vorspannungsteiler)

- Aus Formelsammlung:

$$\begin{aligned} U_2 &= U_R \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \underbrace{\left(1 + \frac{R_4(9)}{R_3}\right)}_{v_1} \\ &= U_R \cdot \frac{R}{R + R} \cdot \left(1 + \frac{R \cdot \left(1 + \frac{9 - 20^\circ \text{C}}{1000^\circ \text{C}}\right)}{R}\right) \\ &= U_R \cdot \frac{R}{2R} \left(1 + 1 + \frac{9 - 20^\circ \text{C}}{1000^\circ \text{C}}\right) \\ &= U_R \cdot \left(1 + \frac{9 - 20^\circ \text{C}}{2000^\circ \text{C}}\right) \end{aligned}$$

*Anmerkung: Eine Einheitenkontrolle schadet nie... Es soll eine Funktion für eine Spannung bestimmt werden, also muss auch etwas in Volt dabei rauskommen
Bleibt z.B. ein einzelner Widerstand nach der Vereinfachung übrig (oder kommt eben nicht Volt als Einheit heraus), so ist das das allerbeste Anzeichen dafür das man sich verrechnet hat...
Wenn bei einem Ergebnis nicht einmal die Einheit stimmt, so tendiert die Chance auf Folgefehler noch Punkte zu bekommen gegen Null...*

- Aus der Berechnungsvorschrift für R_4 ist erkennbar, dass der Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt, daher ist es ein KALTLEITER
(je kälter es ist, desto besser leitet der Widerstand, daher der Name KaltLEITER))

3.2 Stufe 2: Verarbeitung – (4 Punkte)

- Subtrahierer
- Aus Formelsammlung:

$$U_3 = \frac{R_G}{R} \cdot (U_R - U_2)$$

- Somit mit Ergebnis aus 3.1:

$$U_3 = \frac{R_G}{R} \left(U_R - U_R \cdot \left(1 + \frac{9 - 20^\circ\text{C}}{2000^\circ\text{C}} \right) \right)$$

$$= -\frac{R_G}{R} U_R \left(\frac{9 - 20^\circ\text{C}}{2000^\circ\text{C}} \right)$$

(auch hier: siehe Anmerkung 3.1)

- Einstellung der Verstärkung:

$$U_3(\vartheta = 0^\circ \text{C}) = 15 \text{ V}$$

$$15 \text{ V} = -\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(\frac{0^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}}{2000^\circ \text{C}} \right)$$

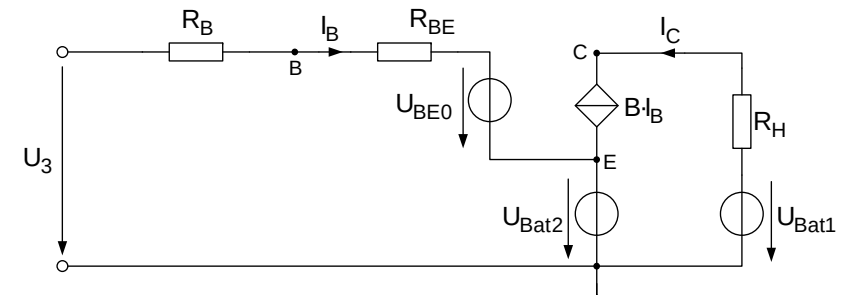
$$15 \text{ V} = -\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(-\frac{1}{100}\right)$$

$$R_G = \frac{15 \text{ V}}{U_R} \cdot 100 \cdot R$$

$$R_G = \frac{15 \text{ V}}{5 \text{ V}} \cdot 100 \cdot 1 \text{ k}\Omega = 300 \text{ k}\Omega$$

3.3 Stufe 3: Transistor – Gleichstromersatzschaltbild (4 Punkte)

- GS-ESB:



(„einfach“ nur den Transistor rausnehmen und dafür sein ESB einzeichnen...

Und: Hinweise beachten!

Der Emitter liegt hier eben NICHT auf Masse.

Nur die Elemente einzeichnen, die auch berücksichtigt werden.)

3.4 Stufe 3: Transistor – Dimensionierung (5 Punkte)

- Basisstrom:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \rightarrow I_{B,AP} = \frac{I_{C,AP}}{\beta}$$

$$I_{B,AP} = \frac{1 \text{ A}}{100} = 10 \text{ mA}$$

- Maschengleichung B-E-Kreis:

$$U_3 = R_B \cdot I_{B,AP} + R_{BE} \cdot I_{B,AP} + U_{BE0} + U_{Bat2}$$

$$U_3 - U_{BE0} - U_{Bat2} = (R_B + R_{BE}) \cdot I_{B,AP}$$

$$R_B + R_{BE} = \frac{U_3 - U_{BE0} - U_{Bat2}}{I_{B,AP}}$$

$$R_B + 100 \Omega = \frac{+15 \text{ V} - 0,6 \text{ V} - (-15 \text{ V})}{10 \text{ mA}}$$

$$R_B = 2940 \Omega - 100 \Omega = 2,8 \text{ k}\Omega$$

- Keine Heizleistung bei $I_C = 0$, also muss auch $I_B = 0$ sein.

Aus GS-ESB:

$$U_3 \leq U_{Bat2} + U_{BE0} \text{ damit kein Strom in die Basis fließt}$$

$$U_3 \leq (-15 \text{ V} + 0,6 \text{ V})$$

$$U_3 \leq -14,4 \text{ V}$$

- Welche Temperatur?:

$$U_3(\vartheta_1) \leq -14,4 \text{ V}$$

$$-\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(\frac{\vartheta - 20^\circ \text{C}}{2000^\circ \text{C}} \right) \leq -14,4 \text{ V}$$

$$\left(\frac{\vartheta - 20^\circ \text{C}}{2000^\circ \text{C}} \right) \geq 14,4 \text{ V} \cdot \frac{R}{R_G \cdot U_R}$$

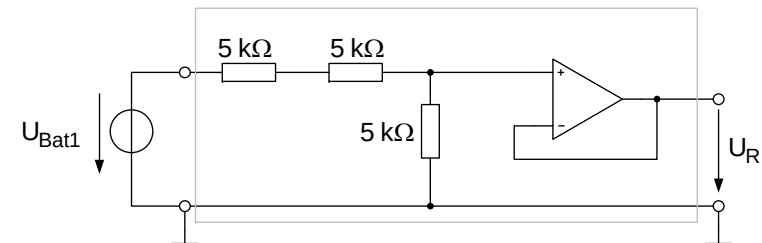
$$\left(\frac{\vartheta - 20^\circ \text{C}}{2000^\circ \text{C}} \right) \geq 14,4 \text{ V} \cdot \frac{1 \text{ k}\Omega}{300 \text{ k}\Omega \cdot 5 \text{ V}}$$

$$\left(\frac{\vartheta - 20^\circ \text{C}}{2000^\circ \text{C}} \right) \geq 9,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\vartheta_1 \geq 39,2^\circ \text{C}$$

3.5 Erzeugung der Referenzspannung – (3 Punkte)

- Spannungsteiler auf 5V mit anschließendem Impedanzwandler, da Impedanzwandlerschaltung einen geringen Ausgangswiderstand und hohen Eingangswiderstand besitzt und dadurch der Spannungsteiler nicht durch die weiteren Schaltungsteile belastet wird



Anmerkung: Es muss eine positive Verstärkung kleiner 1 realisiert werden... Dies ist weder mit den Nichtinvertierenden Verstärker (ist zwar positive Verstärkung, jedoch nur GRÖßER 1) noch mit dem Invertierenden Verstärker (zwar betragsmäßig kleiner 1, jedoch negative Verstärkung) möglich

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp...)
 (Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
 (Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

13.09.2012

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Für die Aufgabe 4 gilt:

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.

Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung (bestehend aus zwei ohmschen Widerständen R_1 und R_2 , einer Spule L und einem Kondensator C) wird an einer sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben. Der Brückenweig AB ist stets unbelastet.

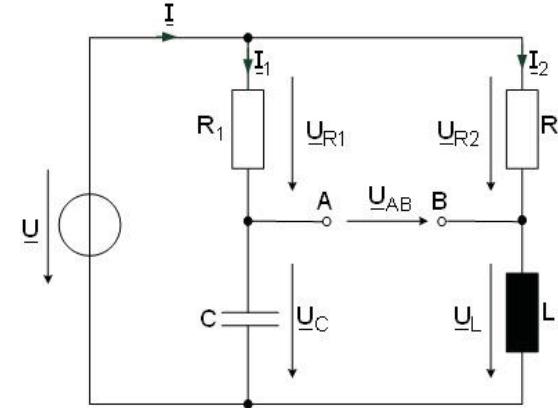


Abbildung 1-1: Wechselstromschaltung

Zuerst soll das maßstäbliche Zeigerdiagramm der Schaltung erstellt werden.

Anschließend soll dann die Abhängigkeit der Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenweig genauer untersucht werden.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung	$\underline{U} = U \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$
Widerstände	$R_1 = R_2 = R$
Blindwiderstand der Spule	$X_L = \omega \cdot L$
Blindwiderstand des Kondensators	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$
Konkrete Werte sind in den jeweiligen Fragen gegeben.	

Fragen:

Zunächst sei $R_1 = R_2 = R = 200 \, \Omega$, $X_L = X_C = 400 \, \Omega$ und $I_1 = I_2 = 1 \, \text{A}$.

1.1 Zeigerdiagramm – (7 Punkte)

Berechnen Sie die Effektivwerte U_{R1} , U_{R2} , U_C , U_L der Spannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_C$, $\underline{U}_L$ und zeichnen Sie ein maßstäbliches Zeigerdiagramm, welches sämtliche Ströme und Spannungen enthält; verwenden Sie als Spannungsmaßstab $50 \, \text{V} \triangleq 1 \, \text{cm}$ und als Strommaßstab $1 \, \text{A} \triangleq 5 \, \text{cm}$.

Bestimmen Sie aus dem maßstäblichen Zeigerdiagramm den Effektivwert U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$, den Effektivwert U der Spannung $\underline{U}$ und den Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$.

Wie groß ist der Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$?

Wie ist die Phasenlage der Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Vergleich zur Spannung $\underline{U}$?

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $\underline{U} = U = 450 \, \text{V}$ weiter.

Nun sei allgemein $R_1 = R_2 = R$ und $X_L = X_C$.

1.2 Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenweig AB – (4 Punkte)

Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_{AB}$ allgemein in Abhängigkeit von R , X_L und $\underline{U}$.

Stellen Sie das Ergebnis in der Form $\underline{U}_{AB} = \underline{U} \cdot \frac{\underline{A}}{R^2 + X_L^2}$ dar und geben Sie

$\underline{A} = f(j, R, X_L)$ an.

Bestimmen Sie die Werte der Spannung $\underline{U}_{AB}$ für den Fall $R = 0 \, \Omega$ und $R \rightarrow \infty \, \Omega$.

Für den Betrag (Effektivwert) U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenweig erhält man unter der Voraussetzung $R_1 = R_2 = R$ und $X_L = X_C$ folgende Beziehung:

$$U_{AB} = U_{AB}(R) = U \cdot \frac{2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2}$$

1.3 Maximum des Betrages der Spannung U_{AB} – (6 Punkte)

Berechnen Sie den Wert $R = R_0$, für welchen der Effektivwert U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ maximal wird.

Wie groß wird U_{AB} für $R = R_0$ (Zahlenwert)?

Hinweis: Lokale Extrema einer Funktion $f(x)$ erhalten Sie, indem Sie die erste Ableitung $\frac{df(x)}{dx} = f'(x)$ zu Null setzen! Die Ableitung einer Funktion

on $f(x) = \frac{u(x)}{v(x)}$ erhalten Sie nach der Quotientenregel zu:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{u'(x) \cdot v(x) - u(x) \cdot v'(x)}{v(x)^2}.$$

$$\text{Dabei ist } u'(x) = \frac{du(x)}{dx} \text{ und } v'(x) = \frac{dv(x)}{dx}.$$

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (3 Punkte)

Bestimmen Sie die von der Schaltung aufgenommene Wirkleistung P , die Blindleistung Q und die Scheinleistung S für den Fall $R_1 = R_2 = X_L = X_C = 400 \, \Omega$.

Aufgabe 2: Ersatzspannungsquelle, Gleichstrommaschine als Generator

Abbildung 2-1 zeigt die Anordnung einer Taschenlampenbatterie, welche über eine Handkurbel mit angeschlossener permanentmagnetisch erregter Gleichstrommaschine geladen werden kann. Das Getriebe zwischen Kurbel und GM wird in dieser Aufgabe nicht näher betrachtet und darf als ideal angenommen werden.

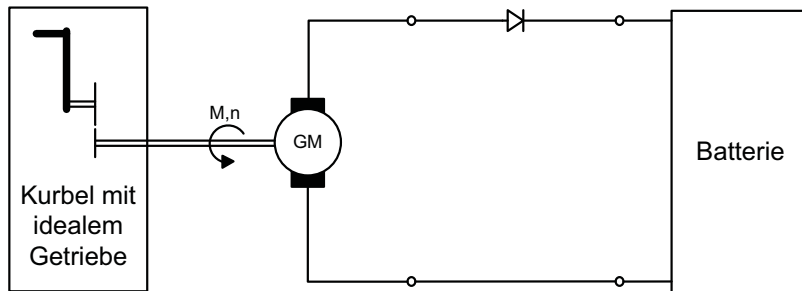


Abbildung 2-1: Anordnung einer Kombination von Batterie mit handbetrie-benem Generator

Zuerst wird die Batterie betrachtet. Diese besteht aus 2 parallel geschalteten Zellen. Das Ersatzschaltbild ist in Abbildung 2-2a zu sehen. Mit der Methode der Ersatzspannungsquelle soll dieses ESB weiter vereinfacht werden (Abbildung 2-2b).

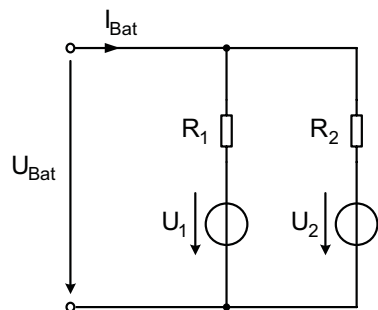


Abbildung 2-2a: Ersatzschaltbild der Batterie

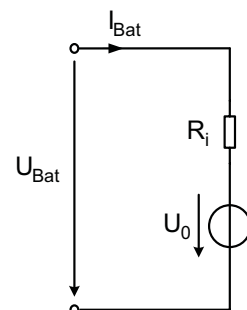


Abbildung 2-2b: Batterie als Ersatzspannungsquelle

Von der Batterie und der Diode sind folgende Daten bekannt:

Spannungen	$U_1 = U_2 = 3,6 \text{ V}$
Innenwiderstände	$R_1 = 75 \text{ m}\Omega$, $R_2 = 150 \text{ m}\Omega$
Diode	Ideal

Anschließend soll das Verhalten der Gleichstrommaschine im Generatorbetrieb untersucht werden. Das elektrische Ersatzschaltbild der gesamten Anordnung ist in der folgenden Abbildung 2-3 zu sehen.

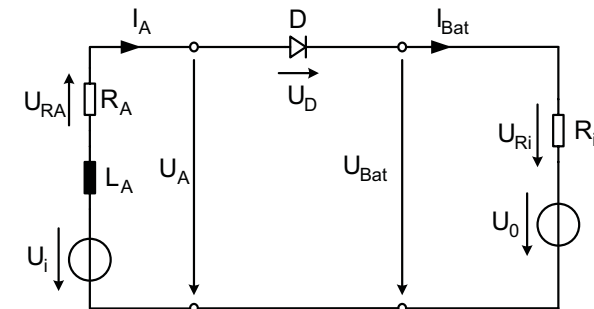


Abbildung 2-3: Elektrisches Ersatzschaltbild der gesamten Anordnung

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 3,7 \text{ V}$
Nennleistung (an den Ankerklemmen)	$P_{A,N} = 7,4 \text{ W}$
Verlustleistung im Ankerwiderstand bei Nennstrom	$P_{VA,N} = 4,6 \text{ W}$
Inneres, elektrisches Nennmoment	$M_{i,N} = 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$
Reibmoment (konstant bei allen Drehzahlen)	$M_{Rbg} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$

Folgende Annahmen dürfen stets zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Alle Ströme und Spannungen der GM sind Gleichgrößen.
3. Die Drehzahl n , das Drehmoment M , sowie der Ankerstrom I_A sind positiv, wenn die GM im generatorischen Betrieb arbeitet.
4. Innerhalb der GM dürfen bis auf die ohmschen Ankerverluste und die Reibung alle Verlusteffekte vernachlässigt werden

Fragen:**2.1 Ersatzspannungsquelle der Batterie – (4 Punkte)**

- Berechnen Sie für die gegebenen Werte von U_1 , U_2 , R_1 und R_2 die Werte der Ersatzspannungsquelle U_0 , sowie den Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle R_i .
- Berechnen Sie allgemein, also als ob die Werte von U_1 , U_2 , R_1 und R_2 nicht bekannt wären, die Leerlaufspannung $U_{\text{Bat,LL}}$ sowie den Kurzschlussstrom $I_{\text{Bat,KS}}$ an den Batterieklemmen in Abhängigkeit von U_1 , U_2 , R_1 und R_2 .

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_0 = 3,5 \text{ V}$ sowie $R_i = 100 \text{ m}\Omega$ weiter.

2.2 Leistung in der Batterie – (3 Punkte)

- Berechnen Sie die Verlustleistung $P_{\text{VBat,N}}$, welche in der Batterie auftritt, sowie die Leistung $P_{\text{Lade,N}}$, mit der die Batterie nach Abzug der Verluste aufgeladen wird, wenn die GM im Nennbetrieb arbeitet, also wenn gilt: $U_{\text{Bat}} = U_{\text{Bat,N}} = 3,7 \text{ V}$

Hinweis: Die Methode der Ersatzspannungsquelle mit Innenwiderstand beschreibt nur das Klemmverhalten von Strom und Spannung korrekt. Die Verlustleistung am Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle entspricht in der Regel NICHT den Verlusten der originalen Schaltung!

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $P_{\text{VBat,N}} = 0,4 \text{ W}$ sowie $P_{\text{Lade,N}} = 7 \text{ W}$ weiter.

Nun wird die Gleichstrommaschine betrachtet:

2.3 Nennbetrieb der Gleichstrommaschine – (8 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine und geben Sie immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzen Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Ankernennstrom $I_{A,N}$
- Ankerwiderstand R_A
- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb $U_{i,N}$
- Innere mechanische Leistung bei Nennbetrieb $P_{\text{mech},N}$
- Nenndrehzahl des Motors n_N in min^{-1}
- Produkt aus Maschinenkonstante und Erregerfluss $c \cdot \Phi$
- Verlustleistung durch Reibung im Motor $P_{\text{Rbg,N}}$ bei Nennbetrieb
- Die Leistung die an der Kurbel aufgebracht werden muss, damit der Motor im Nennbetrieb arbeitet $P_{\text{Kurbel,N}}$

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $P_{\text{mech},N} = 12 \text{ W}$ sowie $P_{\text{Rbg,N}} = 3 \text{ W}$ und $P_{\text{Kurbel,N}} = 15 \text{ W}$ weiter.

2.4 Leistungsflussdiagramm für den Nennbetrieb – (2 Punkte)

- Zeichnen Sie ein maßstäbliches Leistungsflussdiagramm der gesamten Anordnung. Verwenden Sie als Maßstab für die Breite der Pfeile: $1\text{cm} \hat{=} 1\text{W}$ und verwenden Sie ein Lineal.

2.5 Niedrige Motordrehzahl – (3 Punkte)

Die Maschine wird durch die Kurbel so angetrieben, dass die induzierte Spannung $U_{i,AP1} = 3\text{V}$ beträgt (Arbeitspunkt 1).

- Wie groß ist die Motordrehzahl n_{AP1}
- Warum fließt in diesem Arbeitspunkt kein Ankerstrom?
- Ab welcher Motordrehzahl beginnt ein Stromfluss in die Batterie?

Aufgabe 3: Diode, Transistorverstärker

In Telekommunikationsnetzen wird ein Glasfaserkabel zur Langstrecken-Übertragung von Signalen verwendet. Beim Übergang vom Glasfaserkabel in die Kupferleitungen der Enduser-Anschlüsse wird das ankommende optische Signal wieder in ein elektrisches Signal zurück gewandelt. In Abbildung 3-1 ist die gesamte Signalübertragungsstecke schematisch dargestellt.

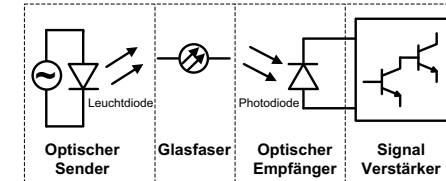


Abbildung 3-1: Komponenten der optischer Signalübertragung

Die Schaltung der Signalübertragungsstrecke ist vereinfacht in Abbildung 3-2 dargestellt. Sie kann in 3 Teilschaltungen unterteilt werden:

- „Optischer Sender“ zur Umwandlung des elektrischen in ein optisches Signal.
- „Optischer Empfänger“ zum Empfang des optischen Signals und dessen Umwandlung in ein elektrisches Signal. Die Photodiode kann vereinfacht als Stromquelle $i_{D2}(t)$ angesehen werden.
- „Signal- und Leistungsverstärker“ zur Verstärkung des elektrischen Signals $u_{e2}(t)$ und Ausgabe des verstärkten Signals an die Last R_L .

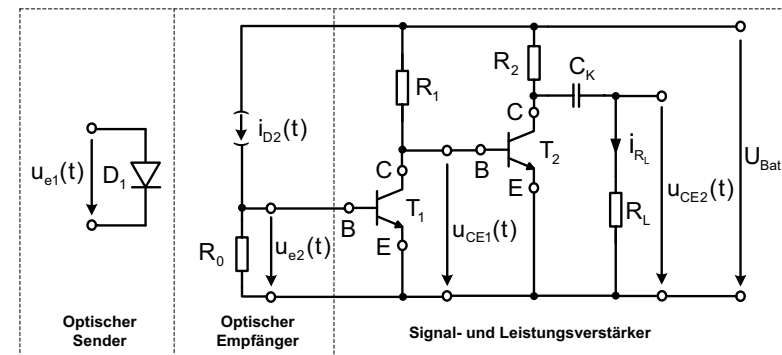


Abbildung 3-2: Schaltung der optischen Signalübertragungsstrecke

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung	$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$
Leuchtdiode D_1	
Schwellenspannung	$U_S = 0,6 \text{ V}$
Dynamischer Widerstand	$R_D = 50 \Omega$
Signalspannung	$u_{e1}(t) = U_{e1(\text{AP})} + \hat{u}_{e1} \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$
	$U_{e1(\text{AP})} = 1,1 \text{ V}$
	$\hat{u}_{e1} = 50 \text{ mV}$
	$f = 20 \text{ MHz}$
Photodiode D_2	
Quellenstrom	$i_{D2}(t) = I_{D2(\text{AP})} + \hat{i}_{D2} \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$
	$I_{D2(\text{AP})} = 116 \text{ mA}$
	$\hat{i}_{D2} = 4,4 \text{ mA}$
Werte der beiden baugleichen Transistoren T_1 und T_2	
Stromverstärkung	$B = \beta = 100$
Basis-Emitter-Widerstand	$R_{BE} = 100 \Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand	$R_{CE} \rightarrow \infty$
Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode	$U_{BE0} \rightarrow 0 \text{ V}$
Kollektor-Emitter-Spannung von T_2 im Arbeitspunkt	$U_{CE2(\text{AP})} = 8 \text{ V}$
Kollektorstrom von T_2 im Arbeitspunkt	$I_{C2(\text{AP})} = 0,4 \text{ A}$
Widerstände	$R_0 = R_1 = R_L = 10 \Omega$
Koppelkondensator	$C_K \rightarrow \infty$

Fragen:

3.1 Optischer Sender – (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB) der Leuchtdiode D_1 mit U_{e1} und das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) von D_1 mit $u_{e1}(t)$.
- Berechnen Sie die mittlere Leistung $P_{D1(\text{AP})}$, welche durch den Gleichspannungsanteil U_{e1} am dynamischen Widerstand R_D der Leuchtdiode umgesetzt wird.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass die Spannungsquelle im Dioden-ESB eine Gleichspannungsquelle ist.

3.2 Optischer Empfänger – (2 Punkte)

Die Empfängerstufe darf hier isoliert betrachtet werden, d.h. der Einfluss des Schaltungsteils „Signal- und Leistungsverstärker“ darf hier vernachlässigt werden.

- Berechnen Sie den Gleichspannungsanteil $U_{e2(\text{AP})}$ und den Scheitelwert des sinusförmigen Spannungsanteils $\hat{u}_{e2}$ aus dem gegebenen Quellenstrom der Photodiode D_2 allgemein und mit Zahlenwerten.

3.3 Gleichstromersatzschaltbild– (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB) des Schaltungsteils „Signal- und Leistungsverstärker“. Versehen Sie das GS-ESB mit Zählpfeilen und tragen Sie folgende Größen ein:
 $R_1, R_2, U_{e2}, U_{\text{Bat}}$ sowie
 $I_{B1}, I_{C01}, U_{CE1}, R_{BE1}$ von Transistor T_1 und
 $I_{B2}, I_{C02}, U_{CE2}, R_{BE2}$ von Transistor T_2 .

3.4 Arbeitspunkteinstellung– (3 Punkte)

- Bestimmen Sie den Widerstand R_2 , den Basisstrom $I_{B2(AP)}$ von T_2 und die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE1(AP)}$ von T_1 , sodass der Transistor T_2 im gewünschten Arbeitspunkt betrieben wird.

Hinweis: Sollten Sie Frage 3.4 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit $R_2=10\ \Omega$ weiterarbeiten.

3.5 Wechselstromersatzschaltbild– (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) des Schaltungsteils „Signal- und Leistungsverstärker“. Versehen Sie das WS-ESB mit Zählpfeilen und tragen Sie folgende Größen ein:

R_1 , R_2 , R_L und $u_{e2}(t)$

$i_{B1}(t)$, $i_{C01}(t)$, $u_{CE1}(t)$, R_{BE1} von Transistor T_1

$i_{B2}(t)$, $i_{C02}(t)$, $u_{CE2}(t)$, R_{BE2} von Transistor T_2

Im Folgenden soll die Kollektor-Basisspannungsamplitude $\hat{u}_{CE2} = 2\text{ V}$ betragen.

3.6 Wechselstromanalyse– (4 Punkte)

- Berechnen Sie die Kollektor-Basis-Wechselstromamplitude $\hat{i}_{C02}$, die Amplitude $\hat{i}_{B2}$ des Basiswechselstromanteils von T_2 .
- Welche Funktion besitzt Transistor T_1 ?
Mit welchem anderen Bauelement könnte man die Funktion auch erfüllen?

Aufgabe 4: Multiple Choice

- Pro Frage ist genau **eine** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:

Richtige Antwort: +1 Punkt

Keine Antwort: 0 Punkte

Falsche Antwort: –1 Punkt

- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)**4.1 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch**

- a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.
- b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.
- c) die Dielektrizitätszahl des Werkstoffes.

4.2 Der Ersatzwiderstand von n in Serie geschalteten ohmschen Widerständen ist

- a) die arithmetische Summe der n Widerstände.
- b) der Kehrwert der Summe der Leitwerte der n Widerstände.
- c) die Summe der Kehrwerte der n Widerstände.

4.3 Bei einer idealen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung

- a) abhängig vom Klemmenstrom.
- b) unabhängig vom Klemmenstrom.
- c) abhängig von der Art der Belastung.

4.4 Eine reale Stromquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch die

- a) Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.
- b) Parallelschaltung einer idealen Stromquelle und einer Induktivität.
- c) Parallelschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

4.5 Der Überlagerungssatz kann nur dann angewendet werden, wenn

- a) es sich um ein lineares bzw. linearisiertes Netzwerk handelt.
- b) es sich um ein Gleichstromnetzwerk mit genau zwei Quellen handelt.
- c) im Netzwerk nur sinusförmige Spannungen und Ströme auftreten.

4.6 Der Strom durch eine ideale Spule

- a) ist mit der Spannung an der Spule in Phase.
- b) eilt der Spannung an der Spule um $\frac{\pi}{2}$ vor.
- c) eilt der Spannung an der Spule um $\frac{\pi}{2}$ nach.

4.7 Die komplexe Impedanz $\underline{Z}_L$ einer Spule ist definiert als

- a) $\underline{Z}_L = j\omega C$
- b) $\underline{Z}_L = j\omega L$
- c) $\underline{Z}_L = \frac{1}{j\omega L}$

4.8 Welche Aussage bezüglich eines Kondensators stimmt?

- a) Nur der Kondensatorstrom kann springen.
- b) Nur die Spannung am Kondensator kann springen.
- c) Sowohl Strom als auch Spannung können springen.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)

4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls

- a) dient der Erhöhung der Kapazität.
- b) dient der Reduzierung der Leitfähigkeit.
- c) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.

4.10 Ein n-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

- a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.
- b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.
- c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Ein pn-Übergang wird leitend, wenn

- a) die Breite der Sperschicht zunimmt.
- b) die Breite der Sperschicht konstant bleibt.
- c) die Breite der Sperschicht abnimmt.

4.12 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode enthält u.a.

- a) eine Gleichspannungsquelle und einen Widerstand.
- b) eine ideale Diode und eine stromgesteuerte Stromquelle.
- c) eine stromgesteuerte Spannungsquelle und einen Widerstand.

4.13 Das in der Lehrveranstaltung vorgestellte elektrische Ersatzschaltbild eines Bipolartransistors enthält eine gesteuerte Quelle. Welche Aussage stimmt?

- a) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Spannungsquelle.
- b) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Stromquelle.
- c) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

4.14 Bei einem invertierenden Verstärker mit idealem Operationsverstärker

- a) sind die Eingänge des Operationsverstärkers stromlos.
- b) muss der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers klein sein.
- c) darf der Ausgang des Operationsverstärkers nicht belastet werden.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)**4.15 In einer Leiterschleife kann eine Spannung induziert werden, wenn sich die Leiterschleife**

- a) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet und ruht.
- b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht.
- c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Welche der Aussagen ist richtig?

- a) Bei der Sternschaltung ist der Leiterstrom gleich dem Strangstrom.
- b) Bei der Sternschaltung ist die Leiterspannung gleich der Strangspannung.
- c) Bei der Sternschaltung ist der Strom im Neutraleiter immer gleich dem Strangstrom.

4.17 Die Lorentzkraft beschreibt

- a) die Kraft auf sich in einem Magnetfeld bewegende Elektronen und ist unter anderem abhängig von der Elektronengeschwindigkeit.
- b) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.
- c) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unabhängig von der elektrischen Stromstärke.

4.18 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

- a) der Ankerspannung U_A , dem Ankerwiderstand R_A und dem Erregerstrom I_F .
- b) der Ankerspannung U_A und dem Ankernennstrom I_{AN} .
- c) dem Ankernennstrom I_{AN} und der Leerlaufdrehzahl n_0 .

4.19 Die Leerlaufdrehzahl einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn nur

- a) die Ankerspannung U_A vergrößert wird.
- b) der magnetische Fluss durch den Rotor vermindert wird.
- c) der magnetische Fluss durch den Rotor vergrößert wird.

4.20 Die synchrone Winkelgeschwindigkeit einer Asynchronmaschine

- a) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Belastung ab.
- b) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Polpaarzahl der Asynchronmaschine ab.
- c) hängt vom Produkt aus Spannungsquadrat und Frequenz ab.

Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

13.09.2012

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1. Zeigerdiagramm

Beträge (Effektivwerte) der Teilspannungen:

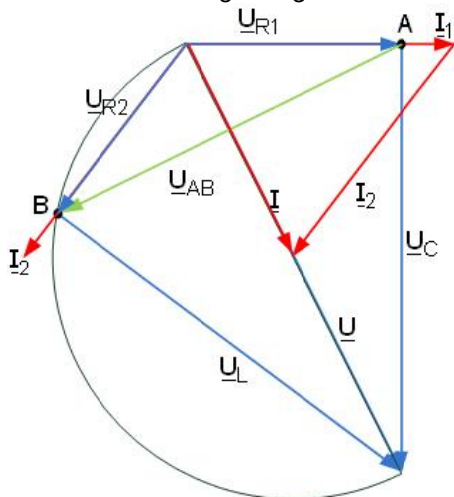
$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 200 \, \Omega \cdot 1 \, \text{A} = 200 \, \text{V} \triangleq 4 \, \text{cm}$$

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_2 = 200 \, \Omega \cdot 1 \, \text{A} = 200 \, \text{V} \triangleq 4 \, \text{cm}$$

$$U_C = X_C \cdot I_1 = 400 \, \Omega \cdot 1 \, \text{A} = 400 \, \text{V} \triangleq 8 \, \text{cm}$$

$$U_L = X_L \cdot I_2 = 400 \, \Omega \cdot 1 \, \text{A} = 400 \, \text{V} \triangleq 8 \, \text{cm}$$

Maßstäbliches Zeigerdiagramm:



Aus dem maßstäblichen Zeigerdiagramm kann abgemessen werden:

$$U \triangleq 9 \, \text{cm} \Leftrightarrow U = 9 \, \text{cm} \cdot \frac{50 \, \text{V}}{1 \, \text{cm}} = 450 \, \text{V}$$

$$U_{AB} \triangleq 7,4 \, \text{cm} \Leftrightarrow U_{AB} = 7,4 \, \text{cm} \cdot \frac{50 \, \text{V}}{1 \, \text{cm}} = 370 \, \text{V}$$

$$I \triangleq 4,5 \, \text{cm} \Leftrightarrow I = 4,5 \, \text{cm} \cdot \frac{1 \, \text{A}}{5 \, \text{cm}} = 0,9 \, \text{A}$$

Der Strom $\underline{I}$ ist in Phase mit der Spannung $\underline{U}$, d.h. $\varphi = 0^\circ$.

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ um 90° nach.

1.2. Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenweig AB

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_C - \underline{U}_L \quad \text{oder alternativ:} \quad \underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_{R1}$$

$$\underline{U}_C = \underline{U} \cdot \frac{-j \cdot X_C}{R_1 - j \cdot X_C} = \underline{U} \cdot \frac{-j \cdot X_L}{R - j \cdot X_L} \quad \dots$$

$$\underline{U}_L = \underline{U} \cdot \frac{j \cdot X_L}{R_2 + j \cdot X_L} = \underline{U} \cdot \frac{j \cdot X_L}{R + j \cdot X_L}$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot X_L}{R - j \cdot X_L} - \frac{j \cdot X_L}{R + j \cdot X_L} \right] = \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2} \right]$$

$$\underline{A} = -j \cdot 2 \cdot R \cdot X_L$$

$$\underline{U}_{AB}(R = 0 \, \Omega) = \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot 0 \, \Omega \cdot 400 \, \Omega}{(0 \, \Omega)^2 + (400 \, \Omega)^2} \right] = 0 \, \text{V}$$

$$\underline{U}_{AB}(R \rightarrow \infty \, \Omega) = \lim_{R \rightarrow \infty} \left\{ \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2} \right] \right\} = \lim_{R \rightarrow \infty} \left\{ \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot X_L}{R + \frac{X_L^2}{R}} \right] \right\} = 0 \, \text{V}$$

1.3. Maximum des Betrages der Spannung U_{AB}

$$U_{AB} = U \cdot \left[\frac{2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2} \right] = U \cdot \frac{u(R)}{v(R)}$$

$$u(R) = 2 \cdot R \cdot X_L \quad u'(R) = \frac{du(R)}{dR} = 2 \cdot X_L$$

$$v(R) = R^2 + X_L^2 \quad v'(R) = \frac{dv(R)}{dR} = 2 \cdot R$$

Daraus ergibt sich mit der Quotientenregel:

$$\frac{dU_{AB}(R)}{dR} = U \cdot \left[\frac{2 \cdot X_L \cdot (R^2 + X_L^2) - 2 \cdot R \cdot X_L \cdot 2 \cdot R}{(R^2 + X_L^2)^2} \right] = U \cdot \left[\frac{-2 \cdot R^2 \cdot X_L + 2 \cdot X_L^3}{(R^2 + X_L^2)^2} \right]$$

$$\frac{dU_{AB}(R)}{dR} = 0 \Leftrightarrow -2 \cdot R^2 \cdot X_L + 2 \cdot X_L^3 = 0$$

$$2 \cdot R^2 \cdot X_L = 2 \cdot X_L^3$$

$$R^2 = X_L^2$$

$$R = \pm \sqrt{X_L^2} = \pm X_L$$

Physikalisch sinnvoll ist nur die positive Lösung, d.h.: $R_0 = X_L = 400 \, \Omega$

$$U_{AB}(R = 400 \, \Omega) = U \cdot \left[\frac{2 \cdot 400 \, \Omega \cdot 400 \, \Omega}{(400 \, \Omega)^2 + (400 \, \Omega)^2} \right] = U = 450 \, V$$

1.4. Schein-, Wirk- und Blindleistung

$$I_1 = \frac{U}{R_1 - j \cdot X_C} \quad I_2 = \frac{U}{R_2 + j \cdot X_L}$$

Da $R_1 = R_2 = X_L = X_C = 400 \, \Omega$ ist gilt

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$P = 2 \cdot R \cdot (I_1)^2 = 2 \cdot R \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \right)^2$$

$$= 2 \cdot 400 \, \Omega \cdot \left(\frac{450 \, V}{\sqrt{(400 \, \Omega)^2 + (400 \, \Omega)^2}} \right)^2 = 506,25 \, W$$

Da $X_L = X_C$ und die Ströme gleich sind, folgt ohne Rechnung: $Q = 0 \, var$

Und somit: $S = P = 506,25 \, VA$

Aufgabe 2**2.1 Ersatzspannungsquelle der Batterie**

Konkrete Werte:

$$U_1 = U_2 = 3,6 \text{ V} \rightarrow U_{\text{Bat,LL}} = U_0 = 3,6 \text{ V}$$

$$I_{\text{Bat,KS}} = \frac{3,6 \text{ V}}{75 \text{ m}\Omega} + \frac{3,6 \text{ V}}{150 \text{ m}\Omega} = 48 \text{ A} + 24 \text{ A} = 72 \text{ A}$$

$$R_i = \frac{U_{\text{Bat,LL}}}{I_{\text{Bat,KS}}}$$

$$R_i = \frac{3,6 \text{ V}}{72 \text{ A}} = 50 \text{ m}\Omega$$

Allgemein:

$$\text{Entweder über } R_2 \\ U_{\text{Bat,LL}} = U_2 + I_2 \cdot R_2$$

mit

$$I_2 = \frac{(U_1 - U_2)}{(R_1 + R_2)}$$

also :

$$U_{\text{Bat,LL}} = U_2 + \frac{(U_1 - U_2)}{(R_1 + R_2)} \cdot R_2$$

$$I_{\text{Bat,KS}} = I_{1,KS} + I_{2,KS} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$$

$$\text{oder über } R_1 \\ U_{\text{Bat,LL}} = U_1 + I_1 \cdot R_1$$

mit

$$I_1 = \frac{(U_2 - U_1)}{(R_1 + R_2)}$$

also :

$$U_{\text{Bat,LL}} = U_1 + \frac{(U_2 - U_1)}{(R_1 + R_2)} \cdot R_1$$

(Die gegebenen Ersatzwerte können auch vom richtigen Ergebnis abweichen...)

2.2 Verlustleistung in der Batterie–

Ansatz über ursprüngliches ESB, da Methode der Ersatzspannungsquelle die Verlustleistungen NICHT korrekt wiedergibt.

(Steht extra im Hinweis... es passt zwar hier ausnahmsweise, aber das ist Zufall...)

$$P_{V,\text{Bat,N}} = (I_{1,N})^2 \cdot R_1 + (I_{2,N})^2 \cdot R_2 \\ = \frac{(U_{R1,N})^2}{R_1} + \frac{(U_{R2,N})^2}{R_2}$$

$$P_{V,\text{Bat,N}} = \frac{(U_{\text{Bat,N}} - U_1)^2}{R_1} + \frac{(U_{\text{Bat,N}} - U_2)^2}{R_2}$$

$$P_{V,\text{Bat,N}} = \frac{(3,7 \text{ V} - 3,6 \text{ V})^2}{75 \text{ m}\Omega} + \frac{(3,7 \text{ V} - 3,6 \text{ V})^2}{150 \text{ m}\Omega} \\ = \frac{0,01}{0,075} \text{ W} + \frac{0,01}{0,150} \text{ W} = 0,2 \text{ W}$$

Ladeleistung:

Entweder:

$$P_{\text{Lade,N}} = P_{A,N} - P_{V,\text{Bat,N}} \\ = 7,4 \text{ W} - 0,2 \text{ W} = 7,2 \text{ W}$$

Oder:

$$P_{\text{Lade,N}} = I_{1,N} \cdot U_1 + I_{2,N} \cdot U_2 \\ = \frac{(U_{A,N} - U_1)}{R_1} \cdot U_1 + \frac{(U_{A,N} - U_2)}{R_2} \cdot U_2 \\ = \frac{(3,7 \text{ V} - 3,6 \text{ V})}{75 \text{ m}\Omega} \cdot 3,6 \text{ V} + \frac{(3,7 \text{ V} - 3,6 \text{ V})}{150 \text{ m}\Omega} \cdot 3,6 \text{ V} \\ = 4,8 \text{ W} + 2,4 \text{ W} = 7,2 \text{ W}$$

2.3 Nennbetrieb der Gleichstrommaschine

- Ankernennstrom

$$I_{A,N} = \frac{P_{A,N}}{U_{A,N}} = \frac{7,4 \text{ W}}{3,7 \text{ V}} = 2 \text{ A}$$

- Ankerwiderstand

$$R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2} = \frac{4,6 \text{ W}}{(2 \text{ A})^2} = 1,15 \Omega$$

(Hier sollte man nicht runden...)

- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb

$$U_{i,N} = U_{A,N} + U_{RA,N} = U_{A,N} + I_{A,N} \cdot R_A = 3,7 \text{ V} + 2 \text{ A} \cdot 1,15 \Omega = 3,7 \text{ V} + 2,3 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

- Innere mechanische Leistung bei Nennbetrieb

$$P_{mechi,N} = U_{i,N} \cdot I_{A,N} = 6 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 12 \text{ W}$$

- Nennzahl des Motors

$$n_N = \frac{P_{mechi,N}}{2\pi \cdot M_{i,N}} = \frac{12 \text{ W}}{2\pi \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}} = 99,993 \text{ s}^{-1} \approx 100 \text{ s}^{-1} = 6000 \text{ min}^{-1}$$

- Produkt aus Maschinenkonstante und Erregerfluss

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{\Omega_N} = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{6 \text{ V}}{2\pi \cdot 100 \text{ s}^{-1}} = 9,55 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}$$

Oder auch möglich:

$$c \cdot \Phi = \frac{M_{mechi,N}}{I_{A,N}} = \frac{19,1 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}}{2 \text{ A}} = 9,55 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}$$

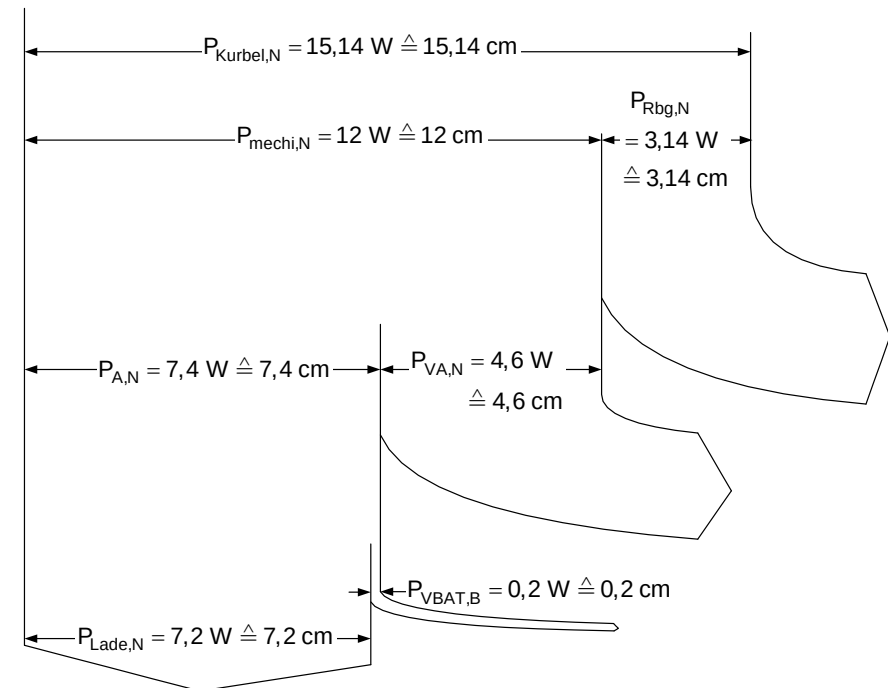
- Verlustleistung durch Reibung im Motor $P_{Rbg,N}$ bei Nennbetrieb;

$$P_{Rbg,N} = 2\pi \cdot n_N \cdot M_{Rbg,N} = 2\pi \cdot 100 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} = 3,14 \text{ W}$$

- Die Leistung die an der Kurbel aufgebracht werden muss, damit der Motor im Nennbetrieb arbeitet

$$P_{Kurbel,N} = P_{mechi,N} + P_{Rbg,N} = 12 \text{ W} + 3,14 \text{ W} = 15,14 \text{ W}$$

2.4 Leistungsflussdiagramm für den Nennbetrieb



2.5 Niedrige Motordrehzahl

- Wie groß ist die Motordrehzahl n_{AP1}

$$n_{AP1} = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot c \cdot \Phi}$$

$$= \frac{6V}{2\pi \cdot 9,55 \cdot 10^{-3} Vs} = 49,996 s^{-1} \approx 50 s^{-1} = 3000 min^{-1}$$

Oder aus konstantem Fluss:

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{U_{i,AP1}}{2\pi \cdot n_{AP1}} \rightarrow n_{AP1} = n_N \cdot \frac{U_{i,AP1}}{U_{i,N}}$$

$$= 6000 min^{-1} \cdot \frac{3V}{6V} = 3000 min^{-1}$$

- Warum fließt in diesem Arbeitspunkt kein Ankerstrom?

Es ist $U_{i,AP1} < U_0$, somit sperrt die ideale Diode D

- Ab welcher Motordrehzahl beginnt ein Stromfluss in die Batterie?

Es muss gelten: $U_i \geq U_0$, damit die ideale Diode D beginnt zu leiten,

also:

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{U_i}{2\pi \cdot n} \rightarrow n = n_N \cdot \frac{U_i}{U_{i,N}}$$

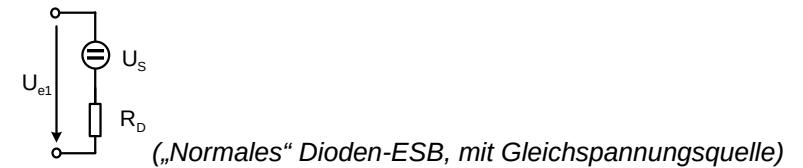
$$n \geq n_N \cdot \frac{U_0}{U_{i,N}}$$

$$n \geq 6000 min^{-1} \cdot \frac{3,6V}{6V} = 3600 min^{-1}$$

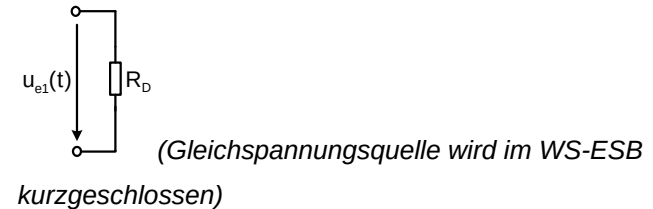
Aufgabe 3: Diode, Transistorverstärker

3.1 Optischer Sender

- GS-ESB:



WS-ESB



- Mittlere Verlustleistung $P_{D1(AP)}$.
(man soll nur den Gleichspannungsanteil betrachten)

$$P_{D1,AP} = \frac{(U_{e1,AP} - U_S)^2}{R_D}$$

$$= \frac{(1,1V - 0,6V)^2}{50\Omega} = 5mW$$

3.2 Optischer Empfänger

$$u_{e2}(t) = i_{D2}(t) \cdot R_0$$

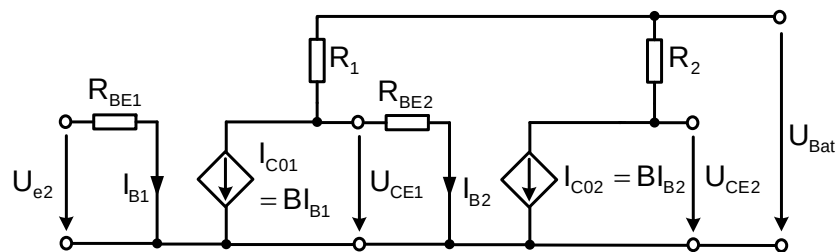
$$U_{e2,AP} + \hat{u}_{e2} \cdot \sin(\dots) = I_{D2,AP} \cdot R_0 + \hat{i}_{e2} \cdot \sin(\dots) \cdot R_0$$

$$U_{e2,AP} = I_{D2,AP} \cdot R_0$$

$$= 116 \text{ mA} \cdot 10 \Omega = 1,16 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}\hat{u}_{e2} &= \hat{i}_{e2} \cdot R_0 \\ &= 4,4 \text{ mA} \cdot 10 \Omega = 44 \text{ mV}\end{aligned}$$

3.3 Gleichstromersatzschaltbild–



3.4 Arbeitspunkteinstellung

Widerstand R_2 :

$$\begin{aligned} U_{\text{Bat}} &= U_{\text{CE2,AP}} + I_{\text{C2,AP}} \cdot R_2 \\ R_2 &= \frac{U_{\text{Bat}} - U_{\text{CE2,AP}}}{I_{\text{C2,AP}}} \\ &= \frac{12\text{V} - 8\text{V}}{0,4\text{ A}} = 10\Omega \end{aligned}$$

Basisstrom $I_{B2,AP}$:

$$I_{B2,AP} = \frac{I_{C02,AP}}{\beta} = \frac{I_{C2,AP}}{\beta}$$

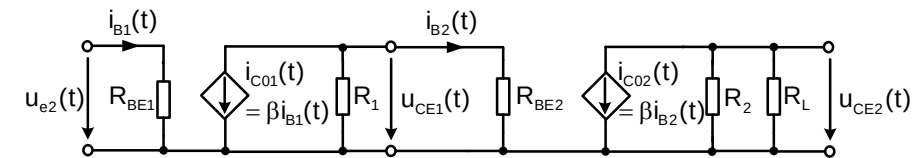
$$= \frac{0,4 \text{ A}}{100} = 4 \text{ mA}$$

Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE1,AP}$:

$$U_{CE1,AP} = R_{BE2} \cdot I_{B2,AP}$$

$$= 100 \Omega \cdot 4 \text{ mA} = 0,4 \text{ V}$$

3.5 Wechselstromersatzschaltbild



3.6 Wechselstromanalyse

Kollektor-Basis-Wechselstromamplitude $\hat{i}_{CO2}$

$$\hat{i}_{C02} = \frac{\hat{u}_{CE2}}{R_2 \parallel R_L} = \frac{\hat{u}_{CE2}}{\frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}} = \frac{2V}{\frac{10\Omega \cdot 10\Omega}{10\Omega + 10\Omega}} = 0,4 \text{ A}$$

$$\hat{i}_{B2} = \frac{\hat{i}_{C02}}{\beta} = \frac{0,4 \text{ A}}{100} = 4 \text{ mA}$$

Zur Signalanpassung (Signalverstärkung)
Operationsverstärker

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp...)

(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)

(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

08.03.2012

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Für die Aufgabe 4

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.

Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer,

Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.

Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

In Abbildung 1-1 ist die Schaltung eines sogenannten Phasenschiebers dargestellt. Mit dem veränderbaren Widerstand R_3 kann die Phasenlage der Spannung $\underline{U}_{AB}$ in Bezug auf die Phasenlage der Spannung $\underline{U}$ theoretisch im Bereich von 0° bis 180° eingestellt werden. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung betrieben.

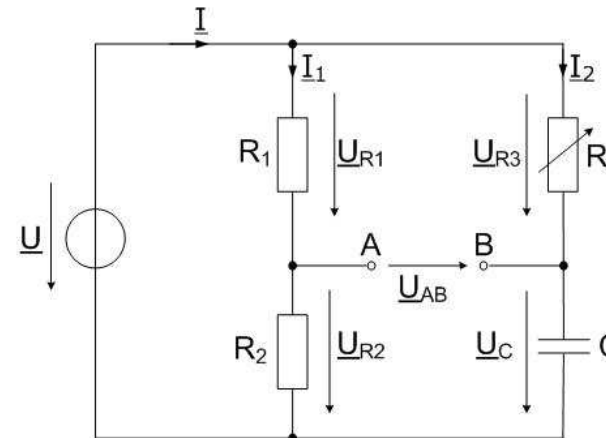


Abbildung 1-1: Schaltung des Phasenschiebers

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung	$\underline{U} = U = 100 \text{ V}$
Frequenz der Versorgungsspannung	$f = 50 \text{ Hz}$
Widerstände	$R_1 = R_2 = 500 \Omega$
	R_3 veränderbar
Kapazität des Kondensators C	$C = 6 \mu\text{F}$

Aufgabe 1.1 Zeigerdiagramme – (6 Punkte)

Zeichnen Sie zunächst ein qualitatives, d.h. nicht maßstäbliches Zeigerdiagramm, welches alle in Abbildung 1-1 eingetragenen Spannungen enthält und kennzeichnen Sie die Punkte A und B.

Zeichnen Sie erneut ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung U_{R3} wesentlich größer ist als die Spannung U_C , d.h. für den Fall $U_{R3} \gg U_C$.

Zeichnen Sie erneut ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung U_{R3} wesentlich kleiner ist als die Spannung U_C , d.h. für den Fall $U_{R3} \ll U_C$.

Geben Sie ohne Rechnung an, wie groß R_3 jeweils theoretisch sein muss, damit die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eine Phasenverschiebung von 0° bzw. 180° zur Spannung $\underline{U}$ aufweist. Begründen Sie Ihre Antworten kurz anhand der Zeigerdiagramme.

Wie groß ist der Betrag U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ in Abhängigkeit von R_3 ? Begründen Sie Ihre Antworten kurz anhand der Zeigerdiagramme (keine Rechnung erforderlich). Beachten Sie, dass $R_1 = R_2$ ist.

Hinweis: Wählen Sie für den Spannungszeiger $\underline{U}$ eine Länge von 12 cm und beginnen Sie mit diesem Spannungszeiger in der horizontalen Lage. Beachten Sie stets, dass $R_1 = R_2$ ist.

Tragen Sie in allen Zeigerdiagrammen sämtliche in Abbildung 1-1 angegebene Spannungen ein und kennzeichnen Sie jeweils die Punkte A und B.

Freihandgezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet!

Aufgabe 1.2 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 100 \Omega$ – (6 Punkte)

Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_1$ und die Spannung $\underline{U}_{R2}$.

Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}$ für den Zweig bestehend aus R_3 und C zunächst allgemein in Abhängigkeit von R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$ und den Zahlenwert für den Fall dass $R_3 = 100 \Omega$ gewählt wird.

Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}_{AB}$ für den Fall dass $R_3 = 100 \Omega$ beträgt.

Berechnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ_{AB} zwischen der Spannung $\underline{U}_{AB}$ und $\underline{U}$ (Winkel gepeilt von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$).

Eilt $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach (kurze Begründung)?

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 1.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_{R2} = 50 \text{ V}$ und $X_C = 530 \Omega$ weiter.

Aufgabe 1.3 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ – (4 Punkte)

Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}_{AB}$ für den Fall dass $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ beträgt.

Berechnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ_{AB} zwischen der Spannung $\underline{U}_{AB}$ und $\underline{U}$ (Winkel gepeilt von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$).

Eilt $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach (kurze Begründung)?

Aufgabe 1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (4 Punkte)

Bestimmen Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) die von der Schaltung aufgenommene Wirkleistung P in Abhängigkeit von U , R_1 , R_2 , R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$.

Bestimmen Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) die in der Schaltung „umgesetzte“ Blindleistung Q in Abhängigkeit von U , R_1 , R_2 , R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$.

Wie kann aus P und Q die Scheinleistung $\underline{S}$ bestimmt werden (keine Zahlenwerte!)?

Geben Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) in Abhängigkeit von P und Q den Betrag S der Scheinleistung $\underline{S}$ an.

Aufgabe 2: Umformersatz

Zur Bereitstellung einer konstanten Gleichspannung an einem Laborarbeitsstisch wird ein so genannter Umformersatz, bestehend aus einer Asynchronmaschine (ASM) und einer fremderregten Gleichstrommaschine (GM) verwendet. Die ASM wird am öffentlichen Drehstromnetz betrieben. Um eine konstante, lastunabhängige Spannung am Laborarbeitsplatz zu gewährleisten, kann der Erregerfluss der GM durch Veränderung der Erregerspannung U_F verändert werden. Abbildung 2-1 zeigt eine Übersicht der Anordnung.

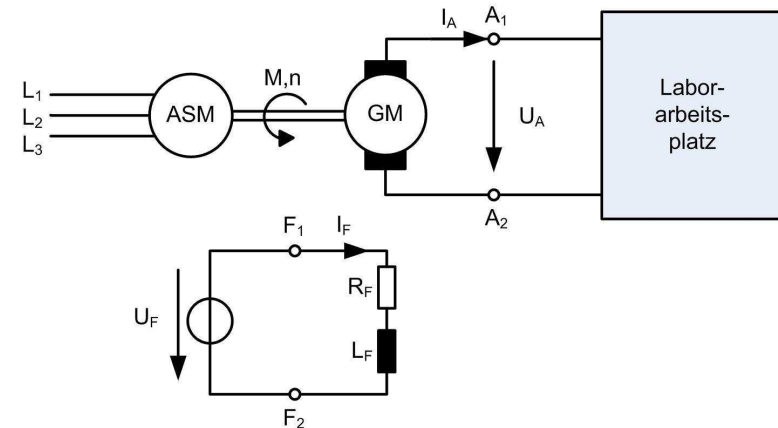


Abbildung 2-1: Übersichtsschaltbild des Umformersatzes

Folgende Annahmen bzw. Vernachlässigungen dürfen stets zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Alle Ströme und Spannungen der GM sind Gleichgrößen.
3. Erregerstrom und Erregerfluss der GM sind stets proportional.
4. Bis auf die ohmschen Verluste in Anker- und Statorkreis der Gleichstrommaschine dürfen alle Verlusteffekte vernachlässigt werden.
5. Die Drehzahl n ist stets positiv.
6. Das Drehmoment M ist positiv, wenn die ASM ein Drehmoment abgibt bzw. die GM ein Drehmoment aufnimmt.
7. Der Ankerstrom I_A ist positiv, wenn die GM im generatorischen Betrieb arbeitet. (Beachten Sie die Pfeilrichtung in Abbildung 2-1)

Vom Drehstromnetz sind folgende Daten bekannt:

Leiterspannung	$U_L = 400 \text{ V}$
Netzfrequenz	$f = 50 \text{ Hz}$

Von der Asynchronmaschine sind folgende Daten bekannt:

Nenndrehzahl	$n_N = 1475 \text{ min}^{-1}$
Nenndrehmoment	$M_N = 64,74 \text{ Nm}$

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 115 \text{ V}$
Nennleistung (generatorisch an den Ankerklemmen)	$P_{A,N} = 9,2 \text{ kW}$
Erregernennspannung	$U_{F,N} = 200 \text{ V}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 200 \Omega$
Nenndrehzahl	$n_N = 1475 \text{ min}^{-1}$
Nenndrehmoment	$M_N = 64,74 \text{ Nm}$

Aufgabe 2.1 Asynchronmaschine – (5 Punkte)

Welche Polpaarzahl besitzt die ASM und wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_0 , wenn die Abweichung der Nenndrehzahl von der Leerlaufdrehzahl weniger als 3% beträgt?

Welche mechanische Leistung $P_{\text{mech},N}$ gibt die ASM im Nennbetrieb an die GM ab?

Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie der ASM darf im Folgenden für den Drehzahlbereich $1470 \text{ min}^{-1} < n \leq 1530 \text{ min}^{-1}$ als linear angenommen werden.

Stellen Sie diesen Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl grafisch maßstabsgerecht für einen Drehzahlbereich $1470 \text{ min}^{-1} < n \leq 1530 \text{ min}^{-1}$ dar.

Hinweis: Verwenden Sie ein Lineal und achten Sie auf vollständige Beschriftung. Freihandgezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet!

Berechnen Sie mit der oben genannten linearen Näherung allgemein die abgegebene mechanische Leistung der ASM in Abhängigkeit der Drehzahl n für einen Drehzahlbereich $1470 \text{ min}^{-1} < n \leq 1530 \text{ min}^{-1}$ und stellen Sie das Ergebnis in der Form $P_{\text{mech}}(n) = a \cdot (n^2 - n \cdot b)$ dar. Geben Sie die Parameter a und b in allgemeiner Form (Abhängig von n_0 , n_N , M_N , etc.) an.

Aufgabe 2.2 GM: Wirkungsgrad, Ankerwiderstand – (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Ankerkreises der GM inklusive aller Bezeichner, sowie Strom- und Spannungspfeilen.

Hinweis: Beachten Sie die in Abbildung 2-1 bereits vorgegebenen Pfeilungsrichtungen

Berechnen Sie für den Nennbetrieb den Ankerstrom $I_{A,N}$.

Berechnen Sie die Verlustleistung $P_{VA,N}$ im Ankerkreis der GM und berechnen Sie den Wirkungsgrad der GM im Nennbetrieb $\eta_{GM,N}$.

Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A .

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_A = 0,125 \Omega$ weiter.

Aufgabe 2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss der GM – (2 Punkte)

Wie groß ist die induzierte Spannung $U_{i,N}$ bei Nennbetrieb?

Berechnen Sie das Produkt aus Maschinenkonstante und Erregernennfluss $c \cdot \Phi_N$ für den Nennbetrieb.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_{i,N} = 125 \text{ V}$ und $c \cdot \Phi_N = 0,809 \text{ Vs}$ weiter.

Aufgabe 2.4 Leerlauf – (3 Punkte)

In dieser Teilaufgabe wird nun der Leerlauf betrachtet (Arbeitspunkt 1).

Die Ankerklemmen der GM werden nun nicht belastet, d.h. es gilt $I_{A,AP1} = 0 \text{ A}$.

Die Ankerspannung soll dem Nennwert entsprechen, also $U_{A,AP1} = U_{A,N}$. Die

Erregerspannung kann bzw. soll verändert werden.

Mit welcher Drehzahl $n_{AP,1}$ drehen sich die beiden Maschinen? Welchen

Wert hat die induzierte Spannung $U_{i,AP1}$?

Auf welche Werte müssen $c \cdot \Phi_{AP1}$ und $U_{F,AP1}$ verringert werden?

Aufgabe 2.5 Teillastbetrieb – (5 Punkte)

In dieser Teilaufgabe wird nun der Teillastbetrieb betrachtet (Arbeitspunkt 2).

Die Erregerspannung kann bzw. soll verändert werden.

Es soll gelten: $P_{A,AP2} = 4600 \text{ W}$ und $U_{A,AP2} = U_{A,N} = 115 \text{ V}$

Wie groß ist der Ankerstrom $I_{A,AP2}$?

Welchen Wert hat die induzierte Spannung $U_{i,AP2}$?

Welche mechanische Leistung $P_{\text{mech},AP2}$ nimmt die GM in diesem Arbeitspunkt auf bzw. gibt die ASM ab?

Berechnen Sie die sich einstellende Drehzahl $n_{AP,2}$

Hinweis: Nutzen Sie die Formel $P_{\text{mech}}(n) = a \cdot (n^2 - n \cdot b)$ aus Aufgabe 2.1 und verwenden Sie dabei die folgenden Werte für die Parameter: $a = -976 \text{ Nm} \cdot \text{s}$ sowie $b = 25 \text{ s}^{-1}$.

Aufgabe 3: Diode, Operationsverstärker, Transistor

Zum Schutz eines elektrischen Verbrauchers vor zu hohen Spannungen (Überspannungen) kann eine Spannungsbegrenzungsschaltung eingesetzt werden. Die Begrenzungsschaltung ist (ohne den zu schützenden elektrischen Verbraucher) in Abbildung 3-1 dargestellt. Sie kann in die folgenden 4 Teilschaltungen unterteilt werden.

1. In der Mess-Stufe wird die Ist-Spannung U mittels eines Spannungsteilers erfasst und in das Spannungssignal U_1 umgewandelt.
2. Die Zenerdiodenstufe liefert eine Referenzspannung U_2 , welche der vorgegebenen Grenzspannung entspricht.
3. In der Verstärkerstufe mit dem Operationsverstärker OP3 wird die Differenz zwischen der Grenz- und der Ist-Spannung verstärkt.
4. In der Transistor-Endstufe wird die Ausgangsspannung U_{CE} des npn-Bipolartransistors eingestellt. (Die Spannung U_{CE} entspricht der Verbraucherspannung).

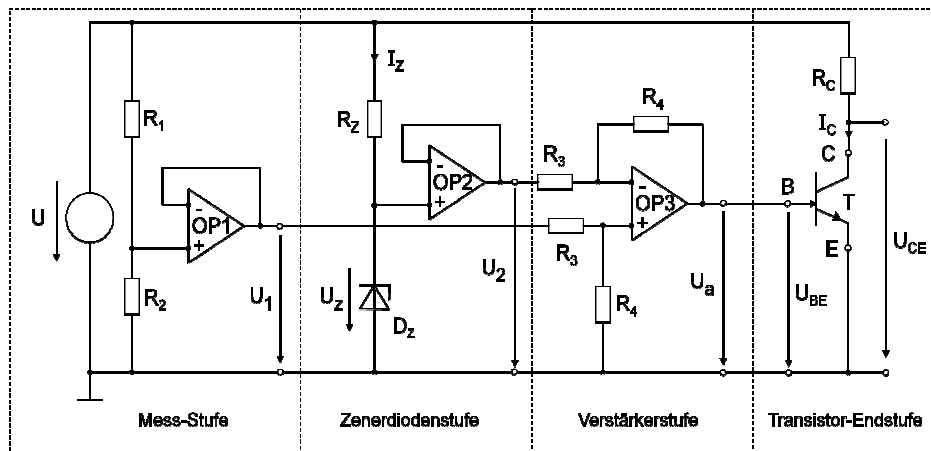


Abbildung 3-1: Spannungsbegrenzungsschaltung zum Schutz eines elektrischen Verbrauchers vor Überspannungen

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

$$R_1 = 30 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 50 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 40 \text{ k}\Omega$$

$$R_Z = 360 \text{ }\Omega$$

$$R_C = 20 \text{ }\Omega$$

Operationsverstärker

Die Operationsverstärker (OP1, OP2 und OP3) dürfen als ideal betrachtet werden! Die Spannungsversorgung der OPs ist in Abbildung 3-1 nicht eingezeichnet.

Zenerdiode

Dynamischer Widerstand im Arbeitsbereich

$$R_{DZ} = 0 \text{ }\Omega$$

Durchlassstrom im Arbeitspunkt bei $U = 24 \text{ V}$

$$I_Z = 50 \text{ mA}$$

Transistor

Stromverstärkung

$$B = 50$$

Basis-Emitter-Widerstand

$$R_{BE} = 200 \text{ }\Omega$$

Kollektor-Emitter-Widerstand

$$R_{CE} = \infty$$

Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Strecke

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

Aufgabe 3.1 Mess-Stufe – (5 Punkte)

Um welche Operationsverstärker-Grundschialtung handelt es sich in diesem Schaltungsteil? Über welche Eigenschaften verfügt diese OP-Grundschialtung?

Geben Sie die Beziehung $U_1 = f(U, R_1, R_2)$ an.

Wenn es zwischen R_1 und R_2 in der Mess-Stufe und R_3 in der Verstärkerstufe anstatt OP1 eine direkte Verbindung gibt, gilt dann die obige Beziehung für U_1 auch noch? Begründen Sie Ihre Antwort (keine Rechnung erforderlich).

Berechnen Sie die Werte der Spannung U_1 für verschiedene Spannungen $U = 24 \text{ V}$ und $U = 28 \text{ V}$.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 3.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_1(U = 24 \text{ V}) = 6 \text{ V}$ und $U_1(U = 28 \text{ V}) = 7 \text{ V}$ weiter.

Aufgabe 3.2 Zenerdiodenstufe – (3 Punkte)

Geben Sie die allgemeine Beziehung für $U_Z = f(U, I_Z, R_Z)$ an.

Berechnen Sie die Spannung U_Z für $U = 24 \text{ V}$ und für $U = 28 \text{ V}$.

Erläutern Sie das Ergebnis.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 3.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_Z(U = 24 \text{ V}) = 6 \text{ V}$ und $U_Z(U = 28 \text{ V}) = 6 \text{ V}$ weiter.

Aufgabe 3.3 Verstärkerstufe mit Operationsverstärker OP3 – (3 Punkte)

Welche Operationsverstärker-Grundschialtung wird bei diesem Schaltungsteil verwendet?

Geben Sie die Beziehung $U_a = f(U_1, U_2, R_3, R_4)$ an.

Wie groß ist die Spannung U_a für den Fall, dass $U = 24 \text{ V}$ und für den Fall, dass $U = 28 \text{ V}$ beträgt?

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 3.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_a(U = 24 \text{ V}) = 0 \text{ V}$ und $U_a(U = 28 \text{ V}) = 0,8 \text{ V}$ weiter.

Aufgabe 3.4 Gleichstromersatzschaltbild – (4 Punkte)

Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe“ und versehen Sie es mit Zählpfeilen für die Größen U , U_a , U_{BE} , I_B , I_C und I_{C0} . Beachten Sie die angenommenen Vereinfachungen ($R_{CE} = \infty$ und $U_{BE0} = 0 \text{ V}$)!

Aufgabe 3.5 Betriebspunkte mit verschiedenen Spannungen – (5 Punkte)

Bestimmen Sie den Basisstrom I_B , den Kollektorstrom I_C sowie die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} bei $U = 24 \text{ V}$ und $U = 28 \text{ V}$.

Aufgabe 4:

- Pro Frage ist genau **eine** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
Richtige Antwort: +1 Punkt
Keine Antwort: 0 Punkte
Falsche Antwort: -1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)**4.1 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet. Es gilt folgende Aussage:**

- a) Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung entspricht der umgesetzten Leistung im Originalnetzwerk.
- b) Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung entspricht im Allgemeinen nicht der umgesetzten Leistung im Originalnetzwerk.
- c) Die Leistungen sind nur im Leerlauf gleich.

4.2 Der Ersatzwiderstand von n parallelgeschalteten ohmschen Widerständen ist

- a) die arithmetische Summe der n Widerstände.
- b) der Kehrwert der Summe der Leitwerte der n Widerstände.
- c) die Summe der Kehrwerte der n Widerstände.

4.3 Eine reale Stromquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch

- a) Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.
- b) Parallelschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstands.
- c) Parallelschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

4.4 Die Methode des Überlagerungssatzes kann angewendet werden bei einer Schaltung mit

- a) mehreren Quellen und linearen Elementen.
- b) mehreren Quellen und nichtlinearen Elementen.
- c) mehreren Quellen und linearen sowie nichtlinearen Elementen.

4.5 Bei einer idealen Spule

- a) sind Strom und Spannung in Phase.
- b) eilt die Spannung dem Strom um $+\frac{\pi}{2}$ vor.
- c) eilt die Spannung dem Strom um $+\frac{\pi}{2}$ nach.

4.6 Die Impedanz $\underline{Z}_C$ eines Kondensators ist definiert als

- a) $\underline{Z}_C = j\omega C$
- b) $\underline{Z}_C = -j\frac{1}{\omega C}$
- c) $\underline{Z}_C = \frac{1}{\omega C}$

4.7 Welche Aussage bezüglich einer Spule stimmt?

- a) Der Spulenstrom kann nicht springen.
- b) Die Spannung an der Spule kann nicht springen.
- c) Weder Strom noch Spannung können springen.

4.8 Ein RLC-Reihenschwingkreis verhält sich bei Resonanz

- a) kapazitiv.
- b) induktiv.
- c) ohmsch.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)**4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls**

- a) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.
- b) dient der Reduzierung der Leitfähigkeit.
- c) hat keinen Einfluss auf die Leitfähigkeit.

4.10 Ein n-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

- a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.
- b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.
- c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode enthält u.a.

- a) eine ideale Diode und eine stromgesteuerte Spannungsquelle.
- b) eine spannungsgesteuerte Stromquelle und einen Widerstand.
- c) eine Gleichspannungsquelle und einen Widerstand.

4.12 Im linearisierten Ersatzschaltbild des Bipolartransistors gibt es

- a) eine spannungsgesteuerte Stromquelle.
- b) eine stromgesteuerte Stromquelle.
- c) gar keine Quellen.

4.13 Ein nicht rückgekoppelter Operationsverstärker kann eingesetzt werden,

- a) als Integrierer.
- b) als Subtrahierverstärker.
- c) als Komparator.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker

- a) hat einen niedrigen Eingangswiderstand und einen sehr hohen Ausgangswiderstand.
- b) hat einen niedrigen Eingangswiderstand und einen sehr hohen Verstärkungsfaktor.
- c) hat einen niedrigen Ausgangswiderstand und einen sehr hohen Verstärkungsfaktor.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)**4.15 Welche Aussage stimmt?**

- a) Die Strang- und Leiterspannung sind bei Sternschaltung gleich.
- b) Die Strang- und Leiterspannung sind bei Dreiecksschaltung gleich.
- c) Der Strangstrom der Sternschaltung ist der $\sqrt{3}$ -fache Leiterstrom.

4.16 In einer Leiterschleife wird keine Spannung induziert, wenn sich die Leiterschleife

- a) in einem zeitlich wechselnden Magnetfeld befindet und ruht.
- b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht und die Drehachse weder parallel zum Feld noch zur Normalen der von der Leiterschleife aufgespannten Fläche steht.
- c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.17 Die Lorentzkraft beschreibt

- a) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unter anderem abhängig von der elektrischen Stromstärke.
- b) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.
- c) die Kraft auf einen stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unter anderem abhängig von der Leiterlänge.

4.18 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

- a) der Ankerspannung U_A , dem Ankerwiderstand R_A und dem Erregerstrom I_F .
- b) der Ankerspannung U_A und der Leerlaufdrehzahl n_0 .
- c) dem Ankernennstrom I_{AN} und der Leerlaufdrehzahl n_0 .

4.19 Die Leerlaufdrehzahl einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

- a) die Ankerspannung durch einen Ankervorwiderstand vermindert wird.
- b) der Erregerstrom durch einen Erregervorwiderstand vermindert wird.
- c) der Erregerstrom durch Erhöhung der Erregerspannung vergrößert wird.

4.20 Die synchrone Winkelgeschwindigkeit einer Asynchronmaschine

- a) hängt nur von der Versorgungsfrequenz ab.
- b) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Polpaarzahl der Asynchronmaschine ab.
- c) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Versorgungsspannung ab.



Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

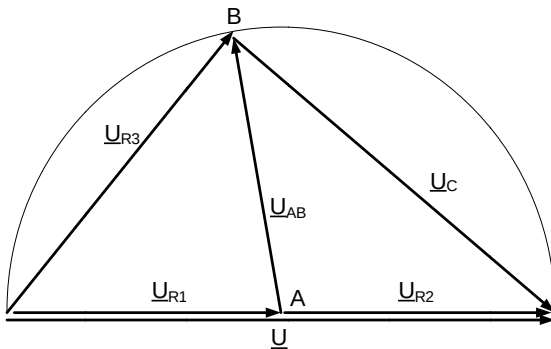
8.3.2012

Lösungsvorschläge zur Prüfung

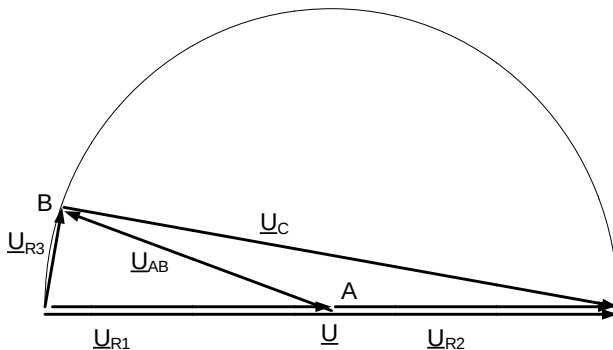
Aufgabe 1

1.1 Zeigerdiagramme

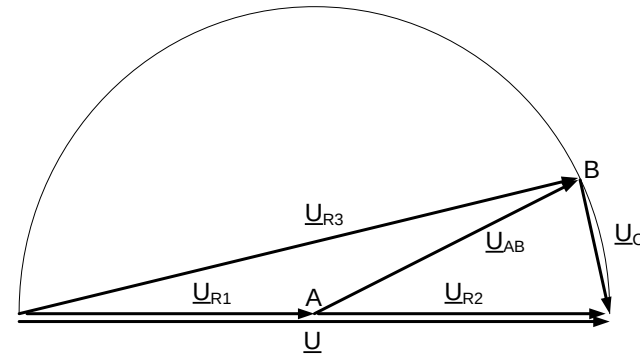
Zeigerdiagramm allgemein



Zeigerdiagramm für $U_{R3} \ll U_C$



Zeigerdiagramm für $U_{R3} \gg U_C$



Aus dem Zeigerdiagramm für $U_{R3} \ll U_C$ ist ersichtlich, dass der Winkel von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$ gegen 180° zustrebt wenn U_{R3} gegen Null geht (d.h. sehr viel kleiner als U_C ist). U_{R3} geht gegen Null, wenn R_3 gegen Null geht (Reihenschaltung aus R und C).

Aus dem Zeigerdiagramm für $U_{R3} \gg U_C$ ist ersichtlich, dass der Winkel von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$ gegen 0° zustrebt wenn U_{R3} gegen unendlich geht (d.h. sehr viel größer als U_C ist). U_{R3} wird maximal U , wenn R_3 gegen unendlich geht (Reihenschaltung aus R und C).

Der Betrag der Spannung $\underline{U}_{AB}$ ändert sich nicht mit R_3 , er beträgt immer $\frac{1}{2}U$, da $R_1=R_2$ (Thaleskreis).

1.2 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 100 \, \Omega$

Anmerk.: Hier ist nach komplexen Größen gefragt! Deshalb sind alle Größen unterstrichen! (Wer den Unterstrich weglässt verschenkt unnötig Punkte... da nichtunterstrichene Größen nunmal Effektivwerte bzw. Gleichgrößen sind.)
Gefragte Abhängigkeiten beachten.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{R_1 + R_2} = \frac{\underline{U}}{R_1 + R_2} = \frac{100 \, \text{V}}{500 \, \Omega + 500 \, \Omega} = 0,1 \, \text{A}$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2 \cdot \underline{I}_2 = 500 \, \Omega \cdot 0,1 \, \text{A} = 50 \, \text{V}$$

$$\underline{Z} = R_3 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} = R_3 - j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} = R_3 - j \cdot X_C$$

$$\underline{Z} = 100 \, \Omega - j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \, \frac{1}{s} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \, \text{F}} \approx 100 \, \Omega - j \cdot 530 \, \Omega$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{100 \, \text{V}}{539 \, \Omega \cdot e^{-j79^\circ}} = 186 \, \text{mA} \cdot e^{j79^\circ}$$

$$\underline{U}_C = -j \cdot X_C \cdot \underline{I}_2 = -j \cdot 530 \, \Omega \cdot 0,186 \, \text{A} \cdot e^{j79^\circ} = 98,58 \, \text{V} \cdot e^{j(79^\circ - 90^\circ)} = 98,58 \, \text{V} \cdot e^{-j11^\circ}$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_C = 50 \, \text{V} - 98,58 \, \text{V} \cdot e^{-j11^\circ} = 50 \, \text{V} - 98,58 \, \text{V} \cdot [\cos(-11^\circ) + j \cdot \sin(-11^\circ)]$$

$$\underline{U}_{AB} = 50 \, \text{V} - 96,77 \, \text{V} - j \cdot 18,8 \, \text{V} = -46,77 \, \text{V} + j \cdot 18,8 \, \text{V}$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{U_{AB}} - \varphi_U = \varphi_{U_{AB}} - 0^\circ = \varphi_{U_{AB}} = 180^\circ + \arctan\left(\frac{\text{Im}(\underline{U}_{AB})}{\text{Re}(\underline{U}_{AB})}\right)$$

$$\varphi_{AB} = 180^\circ + \arctan\left(\frac{18,8 \, \text{V}}{-46,77 \, \text{V}}\right) = 158^\circ$$

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ vor, da der Winkel positiv ist.

(Oder, aus Zeigerdiagramm ersichtlich, dass $\underline{U}_{AB}$ immer voreilend zu $\underline{U}$ ist!).

1.3 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 10 \, \text{k}\Omega$

$$\underline{Z} = R_3 - j \cdot X_C = 10000 \, \Omega - j \cdot 530 \, \Omega = 10014 \, \Omega \cdot e^{-j3^\circ}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{100 \, \text{V}}{10014 \, \Omega \cdot e^{-j3^\circ}} \approx 10 \, \text{mA} \cdot e^{j3^\circ}$$

$$\underline{U}_C = -j \cdot X_C \cdot \underline{I}_2 = -j \cdot 530 \, \Omega \cdot 0,01 \, \text{A} \cdot e^{j3^\circ} = 5,3 \, \text{V} \cdot e^{j(3^\circ - 90^\circ)} = 5,3 \, \text{V} \cdot e^{-j87^\circ}$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_C = 50 \, \text{V} - 98,58 \, \text{V} \cdot e^{-j11^\circ} = 50 \, \text{V} - 5,3 \, \text{V} \cdot [\cos(-87^\circ) + j \cdot \sin(-87^\circ)]$$

$$\underline{U}_{AB} = 50 \, \text{V} - 0,28 \, \text{V} + j \cdot 5,29 \, \text{V} = 49,72 \, \text{V} + j \cdot 5,29 \, \text{V}$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{U_{AB}} - \varphi_U = \varphi_{U_{AB}} - 0^\circ = \varphi_{U_{AB}} = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\underline{U}_{AB})}{\text{Re}(\underline{U}_{AB})}\right)$$

$$\varphi_{AB} = \arctan\left(\frac{5,29 \, \text{V}}{49,72 \, \text{V}}\right) \approx 6^\circ$$

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ vor, da der Winkel positiv ist.

(Oder, aus Zeigerdiagramm ersichtlich, dass $\underline{U}_{AB}$ immer voreilend zu $\underline{U}$ ist!).

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung

(Geforderte Abhängigkeiten beachten!)

Wirkleistung (tritt an allen drei ohmschen Widerständen auf)

$$P = \frac{U^2}{R_1 + R_2} + R_3 \cdot I_2^2 = \frac{U^2}{R_1 + R_2} + R_3 \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{R_3^2 + X_C^2}} \right)^2 = \frac{U^2}{R_1 + R_2} + R_3 \cdot \frac{U^2}{R_3^2 + X_C^2}$$

Blindleistung (tritt in dieser Aufgabe nur am Kondensator auf)

$$Q = Q_C = -X_C \cdot I_2^2 = -X_C \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{R_3^2 + X_C^2}} \right)^2 = -X_C \cdot \frac{U^2}{R_3^2 + X_C^2}$$

Scheinleistung $\underline{S} = P + j \cdot Q$

Betrag der Scheinleistung $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Aufgabe 2

Aufgabe 2.1 Asynchronmaschine

Anmerk.: In der Aufgabenstellung steht, dass die Abweichung der Nenndrehzahl von der Leerlaufdrehzahl (also der Schlupf) **WENIGER als 3% beträgt!**
Da steht nicht der Schlupf ist 3%!

Die Polpaarzahl ist eine GANZE NATÜRLICHE Zahl!
Alle „Lösungen“ mit Kommastellen oder „ungefähr“ sind falsch und damit NULL Punkte wert...

Polpaarzahl: $p = 2$

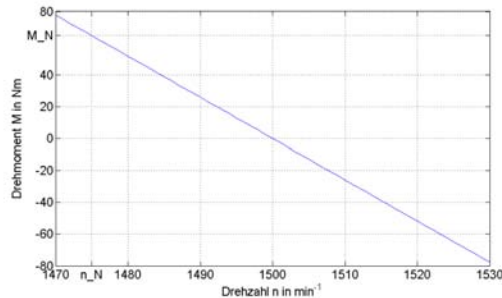
Leerlaufdrehzahl $n_0 = \frac{f}{p} = 1500 \text{ min}^{-1}$ nur dann ist der Schlupf KLEINER als 3%

Mechanische Leistung $P_{\text{mech,N}} = M_N \cdot \Omega_N$

$$P_{\text{mech,N}} = 2\pi \cdot \frac{1475 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot 64,74 \text{ Nm} = 10 \text{ kW}$$

Stellen Sie diesen Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl grafisch maßstabsgerecht für einen Drehzahlbereich $1470 \text{ min}^{-1} < n \leq 1530 \text{ min}^{-1}$ dar.

(Es ist eine Gerade, von der zwei Punkte bekannt sind. Leerlauf (und Nennpunkt). Achsenbeschriftung und Lineal nicht vergessen)



Geradengleichung aufstellen: ()

$$M(n) = \frac{M_N}{n_N - n_0} (n - n_0)$$

$$P_{\text{mech,ASM}}(n) = M(n) \cdot 2\pi \cdot n$$

$$P_{\text{mech,ASM}}(n) = \frac{2\pi \cdot M_N}{n_N - n_0} (n^2 - n \cdot n_0)$$

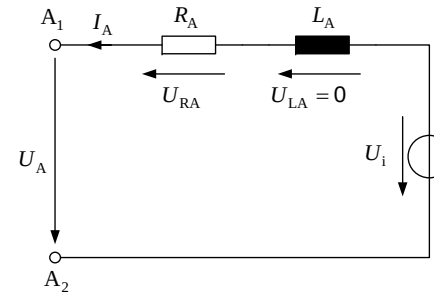
$$a = \frac{2\pi \cdot M_N}{n_N - n_0}$$

Anmerk.: $a < 0$! Da Nenndrehzahl kleiner Leerlaufdrehzahl

$$b = n_0$$

Aufgabe 2.2 ESB Ankerkreis GM, Wirkungsgrad, Ankerwiderstand (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Ankerkreises der GM inklusive aller Bezeichner, sowie Strom- und Spannungspfeilen.



(Vorgegebene Richtung des Ankerstromes beachten!)

$$I_{A,N} = \frac{P_{A,N}}{U_{A,N}}$$

$$I_{A,N} = \frac{9200 \text{ W}}{115 \text{ V}} = 80 \text{ A}$$

$$\text{Verlustleistungen im Anker} \quad P_{VA,N} = P_{\text{mech},N} - P_{A,N}$$

$$P_{VA,N} = 10 \text{ kW} - 9,2 \text{ kW} = 800 \text{ W}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta_N = \frac{P_{A,N}}{P_{A,N} + P_{VA,N} + P_{F,N}} = \frac{P_{A,N}}{P_{\text{mech},N} + P_{F,N}}$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{\text{mech},N} + \frac{(U_{F,N})^2}{R_F}} = \frac{9200 \text{ W}}{10000 \text{ W} + \frac{(200 \text{ V})^2}{200 \Omega}} = \frac{9,2 \text{ kW}}{10,2 \text{ kW}} = 90,2\%$$

Ankerwiderstand R_A .

$$R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2} = \frac{800 \text{ W}}{(80 \text{ A})^2} = 0,125 \Omega$$

Aufgabe 2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss der GM (2 Punkte)

Induzierte Spannung $U_{i,N}$ bei Nennbetrieb:

$$U_{i,N} \cdot I_{A,N} = P_{\text{mech},N}$$

$$U_{i,N} = \frac{P_{\text{mech},N}}{I_{A,N}} \quad \text{alternativ: MR: } U_{i,N} = U_{A,N} + R_A \cdot I_{A,N}$$

$$U_{i,N} = \frac{10 \text{ kW}}{80 \text{ A}} = 125 \text{ V}$$

Produkt aus Maschinenkonstante und Erregernennfluss $c \cdot \Phi_N$ für den Nennbetrieb.

$$U_{i,N} = c \cdot \Phi_N \cdot \Omega_N$$

$$c \cdot \Phi_N = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{125 \text{ V}}{2\pi \cdot \frac{1475 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}} = 0,8093 \text{ Vs}$$

Aufgabe 2.4 Leerlauf(3 Punkte)

Leerlauf: $n_{AP1} = n_0 = 1500 \text{ min}^{-1}$ entspricht Leerlaufdrehzahl der ASM!

$$U_{i,AP1} = U_{A,AP1} = 115 \text{ V}$$

Auf welchen Werte müssen $c \cdot \Phi_{AP1}$ und $U_{F,AP1}$ verringert werden?

$$U_{i,AP1} = c \cdot \Phi_{AP1} \cdot \Omega_{AP1}$$

$$c \cdot \Phi_{AP1} = \frac{U_{i,AP1}}{2\pi \cdot n_0}$$

$$c \cdot \Phi_{AP1} = \frac{115 \text{ V}}{2\pi \cdot \frac{1500 \text{ min}^{-1}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}} = 0,7321 \text{ Vs}$$

linearer Zusammenhang zw. Erregerstrom und Fluss, bzw. Erregerspannung und Fluss:

$$U_{F,AP1} = U_{F,N} \cdot \frac{c \cdot \Phi_{AP1}}{c \cdot \Phi_N}$$

$$U_{F,AP1} = 200 \text{ V} \cdot \frac{0,7321 \text{ Vs}}{0,8093 \text{ Vs}} = 180,9 \text{ V}$$

Aufgabe 2.5 Teillastbetrieb(5 Punkte)

Wie groß ist der Ankerstrom $I_{A,AP2}$? Welchen Wert hat die induzierte Spannung $U_{i,AP2}$?

$$\text{Ankerstrom: } I_{A,AP2} = \frac{P_{A,AP2}}{U_{A,AP2}}$$

$$I_{A,AP2} = \frac{4600 \text{ W}}{115 \text{ V}} = 40 \text{ A}$$

$$\text{Induzierte Spannung: } U_{i,AP2} = U_{A,AP2} + I_{A,AP2} \cdot R_A$$

$$U_{i,AP2} = 115 \text{ V} + 40 \text{ A} \cdot 0,125 \Omega = 120 \text{ V}$$

$$\text{Mechanische Leistung: } P_{\text{mech},AP2} = U_{i,AP2} \cdot I_{A,AP2} = P_{A,AP2} + R_A \cdot I_{A,AP2}^2$$

$$P_{\text{mech},AP2} = 120 \text{ V} \cdot 40 \text{ A} = 4800 \text{ W}$$

Berechnen Sie die sich einstellende Drehzahl $n_{AP,2}$ in min^{-1} .

$$n^2 - n \cdot b - \frac{P_{\text{mech}}(n)}{a} = 0$$

$$n_{1/2} = \frac{b \pm \sqrt{b^2 + 4 \cdot \frac{P_{\text{mech}}}{a}}}{2}$$

$$n_{1/2} = \frac{25 \text{ s}^{-1} \pm \sqrt{(25 \text{ s}^{-1})^2 - 4 \cdot \frac{4800 \text{ W}}{976 \text{ Nm} \cdot \text{s}}}}{2}$$

$$n_{1/2} = \frac{25 \text{ s}^{-1} \pm \sqrt{625 \text{ s}^{-2} - 19,67 \text{ s}^{-2}}}{2} = \frac{25 \text{ s}^{-1} \pm 24,6 \text{ s}^{-1}}{2}$$

$$n_1 = 24,8 \text{ s}^{-1} = 1488 \text{ min}^{-1}$$

$n_2 = 0,2 \text{ s}^{-1} = 12 \text{ min}^{-1}$ unsinnig, und auch außerhalb der Gültigkeit (angenommene lineare Kennlinie)

Aufgabe 3 Diode, Operationsverstärker, Transistor

3.1 Mess-Stufe

Es handelt sich um einen Impedanzwandler.

Er wird zum Koppeln von niederohmigen Verbrauchern an Quellen mit hohem Innenwiderstand benutzt.

$$U_1 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Bei direkter Verbindung wird der Spannungsteiler zusätzlich belastet,

$$R_2' = R_2 \parallel (R_3 + R_4),$$

$$\text{und somit } U_1 = U \frac{R_2'}{R_1 + R_2'}$$

(vgl. belasteter Spannungsteiler)

$$U_1(U = 24 \text{ V}) = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 24 \text{ V} \frac{10 \text{ k}\Omega}{30 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 6 \text{ V}$$

$$U_1(U = 28 \text{ V}) = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 28 \text{ V} \frac{10 \text{ k}\Omega}{30 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 7 \text{ V}$$

3.2 Zenerdiodenstufe

$$U = I_Z \cdot R_Z + U_Z$$

$$U_Z = U - I_Z \cdot R_Z = 24 \text{ V} - 50 \text{ mA} \cdot 360 \Omega = 6 \text{ V}$$

U_Z bleibt weiterhin bei 6V, da $U_Z = I_Z \cdot R_{DZ} + U_{Z0} = 0 + U_{Z0}$
(quasi ideale Zenerdiode, da der dynamische Widerstand Null ist)

3.3 Verstärkerstufe

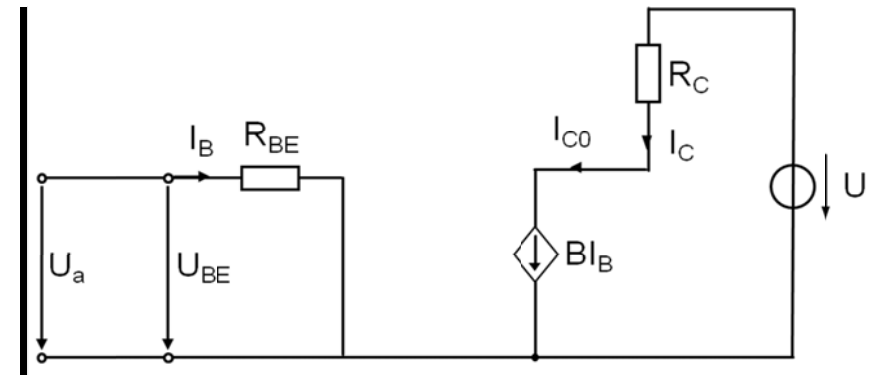
Es handelt sich um einen Subtrahierer.

$$U_a = \frac{R_4}{R_3} (U_1 - U_2)$$

$$U_a(U = 24 \text{ V}) = \frac{R_4}{R_3} (U_1 - U_2) = \frac{40 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega} (6 \text{ V} - 6 \text{ V}) = 0 \text{ V}$$

$$U_a(U = 28 \text{ V}) = \frac{R_4}{R_3} (U_1 - U_2) = \frac{40 \text{ k}\Omega}{50 \text{ k}\Omega} (7 \text{ V} - 6 \text{ V}) = 0,8 \text{ V}$$

3.4 Gleichstromersatzschaltbild



Gleichstromersatzschaltbild der Transistor-Endstufe

3.5 Betriebspunkte mit verschiedenen Spannungen U_{Bat}

$$I_B = \frac{U_{BE} - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{U_a - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

U_{BE0} nicht zwingend erforderlich in den Formeln, da in dieser Aufgabenstellung ausnahmsweise $U_{BE0} = 0V$ gegeben ist.

$$I_B(U = 24V) = \frac{U_a - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{0V}{200\Omega} = 0A$$

$$I_B(U = 28V) = \frac{U_a - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{0,8V}{200\Omega} = 4mA$$

$$I_C = I_{C0} = \beta I_B$$

$$I_C(U = 24V) = 0A$$

$$I_C(U = 28V) = 50 \cdot 4mA = 200mA$$

$$U_{CE} = U - R_C I_C$$

$$U_{CE}(U = 24V) = 24V - 0V = 24V$$

$$U_{CE}(U = 28V) = 28V - 20\Omega \cdot 200mA = 24V$$

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik (I+II)“

15.09.2011

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Für die Aufgabe 4

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.
Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben.

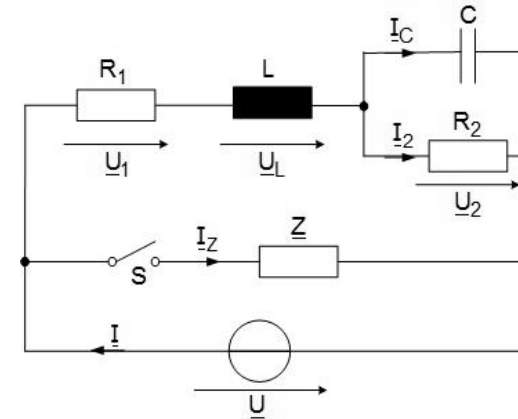


Abbildung 1-1: Wechselstromschaltung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung am Widerstand R_2	$\underline{U}_2 = U_2 = 48 \text{ V}$
Widerstände	$R_1 = 10 \, \Omega$
	$R_2 = 16 \, \Omega$
Kapazität des Kondensators C	$C = \frac{25}{6 \cdot \pi} \, \mu\text{F}$
Blindwiderstand des Kondensators C	$X_C = 12 \, \Omega$
Blindwiderstand der Induktivität L	$X_L = 5 \, \Omega$

Fragen:

Der Schalter S sei zunächst geöffnet.

1.1 Frequenz f und Induktivität L – (2 Punkte)

Berechnen Sie die Frequenz f in kHz und die Induktivität L in μH .

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $f = 10 \text{ kHz}$ und $L = 79,6 \mu\text{H}$ weiter.

1.2 Ströme – (3 Punkte)

Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}_2$, $\underline{I}_C$ sowie den Gesamtstrom $\underline{I}$ und geben Sie sie sowohl in der Exponentialform als auch in kartesischer Form an.

Geben Sie die Effektivwerte I_2 , I_C und I der Ströme $\underline{I}_2$, $\underline{I}_C$ und $\underline{I}$ an.

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $\underline{I}_2 = 3 \text{ A}$, $\underline{I}_C = j \cdot 4 \text{ A}$, $\underline{I} = 3 \text{ A} + j \cdot 4 \text{ A}$ weiter.

1.3 Spannungen – (6 Punkte)

Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_1$ am ohmschen Widerstand R_1 , die Spannung $\underline{U}_L$ an der Induktivität L sowie die Gesamtspannung (Quellenspannung) $\underline{U}$ der idealen Spannungsquelle und geben Sie die Spannungen sowohl in der Exponentialform als auch in kartesischer Form an. Geben Sie die Effektivwerte U_1 , U_L und U der Spannungen $\underline{U}_1$, $\underline{U}_L$ und $\underline{U}$ an.

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $\underline{U} = (58 + j \cdot 55) \text{ V}$ weiter.

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (3 Punkte)

Bestimmen Sie die von der Schaltung aufgenommene komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P sowie die vorzeichenbehaftete Blindleistung Q. Wie wirkt die Schaltung ohmsch-induktiv oder ohmsch kapazitiv (kurze Begründung)?

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.4 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $P = 394 \text{ W}$ und $Q = -67 \text{ var}$ weiter.

1.5 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (2,5 Punkte)

Bestimmen Sie die in der Schaltung umgesetzte Wirkleistung P und die Blindleistung Q aus den Teilleistungen in R_1 und R_2 bzw. X_L und X_C . Vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen aus Frage 1.4.

Der Schalter S sei nun geschlossen.

1.6 Blindleistungs- bzw. Blindstromkompensation – (3,5 Punkte)

Welches Bauelement (Induktivität oder Kapazität) müssen Sie anstelle der allgemein eingezeichneten Impedanz $\underline{Z}$ verwenden, damit in der Schaltung nur noch Wirkleistung umgesetzt wird (kurze Begründung)? Berechnen Sie den Bauteilewert des zu verwendenden Bauteils (Induktivität in mH oder Kapazität in μF) für vollständige Blindleistungs- bzw. Blindstromkompensation. Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_Z$ und geben Sie dessen Effektivwert I_Z an.

Aufgabe 2: Fremderregte Gleichstrommaschine

Eine fremderregte Gleichstrommaschine (GM) wird in einer Windkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt. Diese wird über eine Leistungselektronik (LE) ins öffentliche Stromnetz eingespeist (siehe Abbildung 2-1).

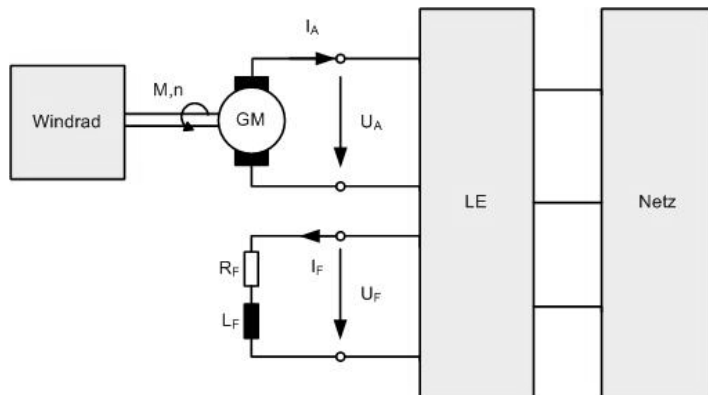


Abbildung 2-1: Übersichtsschaltbild des Windkraftwerks, bestehend aus Windrad, Gleichstrommaschine (GM), Erregerkreis und Leistungselektronik (LE)

Folgende Annahmen bzw. Vernachlässigungen dürfen stets zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Alle Ströme und Spannungen sind Gleichgrößen.
3. Erregerstrom und Erregerfluss sind stets proportional.
4. Es treten keine mechanischen Verluste (Reibung) auf.
5. Sämtliche Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.
6. In der LE treten keinerlei Verluste auf.
7. Die LE kann einen beliebigen Erreger- bzw. Ankerstrom einstellen.
8. Das Drehmoment M ist positiv, wenn das Windrad ein Drehmoment an die GM abgibt.
9. Der Ankerstrom I_A ist positiv, wenn die GM im generatorischen Betrieb arbeitet. (Beachten Sie die Pfeilrichtung in Abbildung 2-1)

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 800 \text{ V}$
Ankernennstrom	$I_{A,N} = 100 \text{ A}$
Erregernennstrom	$I_{F,N} = 10 \text{ A}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 10 \Omega$
Nennzahl	$n_N = 80 \text{ min}^{-1}$
Nennmoment	$M_N = 10,1 \text{ kNm}$

Fragen:

2.1 Leistungen, Wirkungsgrad (5 Punkte)

- Welche mechanische Leistung $P_{\text{mech},N}$ nimmt die GM bei Nennbetrieb auf?
- Welche elektrische Leistung $P_{\text{el},N}$ gibt sie an den Ankerklemmen ab?
- Wie groß sind die ohmschen Verluste im Anker und Erregerkreis?
- Wie groß ist der Wirkungsgrad η_N der GM bei Nennbetrieb?

2.2 ESB Ankerkreis, Ankerwiderstand (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Ankerkreises inklusive aller Bezeichner, sowie Strom- und Spannungspfeilen.
- Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A .

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_A = 0,45 \Omega$ weiter.

2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss (3 Punkte)

- Wie groß ist die induzierte Spannung $U_{i,N}$ bei Nennbetrieb?
- Berechnen Sie das Produkt aus Maschinenkonstante und Erregernennfluss $c \cdot \phi_N$ für den Nennbetrieb.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_{i,N} = 845 \text{ V}$ und $c \cdot \phi_N = 101 \text{ Vs}$ weiter.

2.4 Betrieb bei veränderter Drehzahl (5 Punkte)

Im Folgenden wird der Betrieb bei erhöhter Drehzahl betrachtet (AP1):

Die Drehzahl beträgt $n_{AP1} = 100 \text{ min}^{-1}$. Die LE stellt sowohl den

Ankerstrom als auch den Erregerstrom auf den jeweiligen Nennwert ein.

Es gilt: $I_{A,AP1} = I_{A,N} = 100 \text{ A}$ und $I_{F,AP1} = I_{F,N} = 10 \text{ A}$

- Welche Spannung $U_{i,AP1}$ wird in diesem Arbeitspunkt in der GM induziert?
- Wie groß ist die Ankerspannung $U_{A,AP1}$?
- Geben Sie den Zusammenhang zwischen der Ankerspannung U_A und der Drehzahl n an und stellen Sie diesen Zusammenhang graphisch maßstabsgerecht für einen Drehzahlbereich $0 \text{ min}^{-1} \leq n \leq 100 \text{ min}^{-1}$ dar.

Hinweis: Ankerstrom und Erregerstrom werden durch die LE auf den jeweiligen Nennwert eingestellt und dürfen als konstant angenommen werden. Verwenden Sie ein Lineal und achten Sie auf vollständige Beschriftung. Frei Hand gezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet! Verwenden Sie ca. eine halbe Seite DIN A4 für das Diagramm.

2.5 Betrieb bei erhöhter Drehzahl und Veränderung des Erregerflusses (4 Punkte)

Um die Leistungselektronik vor zu hohen Spannungen zu schützen, soll der Erregerstrom I_F durch die LE so eingestellt werden, dass bei einem

Betrieb bei $n_{AP2} = 100 \text{ min}^{-1}$ und $I_{A,AP2} = I_{A,N} = 100 \text{ A}$ die

Ankerspannung $U_{A,AP2}$ auch ihrem Nennwert entspricht.

- Welchen Wert muss die induzierte Spannung $U_{i,AP2}$ haben um dies zu erreichen?
- Auf welchen Wert muss $c \cdot \phi_{AP2}$ eingestellt werden?
- Auf welchen Wert muss der Erregerstrom $I_{F,AP2}$ eingestellt werden?
- Welches Drehmoment M_{AP2} wird vom Windrad abgegeben?

Aufgabe 3: Diode, Operationsverstärker, Transistor

Der Arbeitspunkt eines Transistors ändert sich mit der Umgebungstemperatur, da die Stromverstärkung für gewöhnlich temperaturabhängig ist, also beispielsweise $B_{20^\circ\text{C}} \neq B_{40^\circ\text{C}}$ und $\beta_{20^\circ\text{C}} \neq \beta_{40^\circ\text{C}}$. Zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts in einem bestimmten Temperaturbereich kann ein temperaturabhängiges Bauelement zwischen Basis und Emmitter des Transistors geschaltet werden. Eine solche Schaltung mit einer realen Diode ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Diese Schaltung besteht hier aus zwei Stufen:

1. In der OP-Verstärkerstufe wird ein Differenzsignal aus zwei Signalspannungen gebildet und verstärkt.
2. In der Transistor-Endstufe wird das Ausgangssignal aus der vorherigen Stufe nochmals verstärkt.

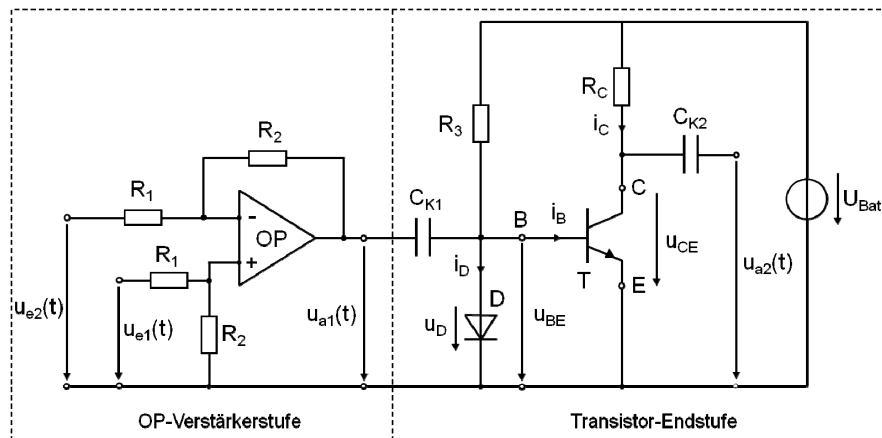


Abbildung 3-1: Schaltung zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts bei verschiedenen Temperaturen

Für die Berechnung der Schaltung werden die beiden Eingangsspannungen $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$ als sinusförmig mit der gleichen Frequenz und gleichphasig zueinander angenommen.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung	$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$
Amplituden der Signalspannungen	$\hat{u}_{e1} = 442 \text{ mV}$ $\hat{u}_{e2} = 400 \text{ mV}$
Widerstände	$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ $R_C = 60 \text{ }\Omega$

Operationsverstärker

Der Operationsverstärker (OP) darf als ideal angenommen werden.

Die Spannungsversorgung des OP ist in Abbildung 3-1 nicht eingezeichnet.

Diode

Schwellenspannung	bei 20°C	$U_{\text{S(AP)}, 20^\circ\text{C}} = 0,746 \text{ V}$
	bei 40°C	$U_{\text{S(AP)}, 40^\circ\text{C}} = 0,687 \text{ V}$
Dynamischer Widerstand	$R_{\text{d(AP)}, 20^\circ\text{C}} = R_{\text{d(AP)}, 40^\circ\text{C}} = 1 \text{ k}\Omega$	

Transistor

Gleich- bzw. Wechselstromverstärkung

$$B(20^\circ\text{C}) = \beta(20^\circ\text{C}) = 100$$

$$B(40^\circ\text{C}) = \beta(40^\circ\text{C}) = 105$$

$$\text{Basis-Emitter-Widerstand} \quad R_{\text{BE}} = 210 \text{ }\Omega$$

$$\text{Kollektor-Emitter-Widerstand} \quad R_{\text{CE}} \rightarrow \infty$$

$$\text{Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Strecke} \quad U_{\text{BE0}} = 0,65 \text{ V}$$

Koppelkondensatoren

$$C_{K1}, C_{K2} \rightarrow \infty$$

Fragen:

Zuerst soll der Schaltungsteil „OP-Verstärkerstufe“ betrachtet werden

3.1 OP-Verstärkerstufe – (2 Punkte)

- Welche Operationsverstärker-Grundsaltung wird bei diesem Schaltungsteil verwendet?
- Geben Sie die Beziehung $u_{a1}(t) = f(u_{e1}(t), u_{e2}(t), R_1, R_2)$ an.
- Berechnen Sie den Wert des Widerstandes R_2 unter der Vorgabe, dass die Amplitude der Ausgangswechselspannung $\hat{u}_{a1} = 0,21 \text{ V}$ betragen soll.

Hinweis: Wenn Sie Frage 3.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ weiter.

Nun soll der Schaltungsteil „Transistor-Endstufe“ betrachtet werden.

3.2 Gleichstromersatzschaltbild – (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe“ und versehen Sie es mit Zählpfeilen für die Größen U_D , U_s , U_{BE} , U_{BE0} , U_{CE} , U_{Bat} , I_B , I_{C0} und I_C .

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass es sich bei der Diode um eine reale Diode mit der Klemmenspannung U_D handelt.

3.3 Arbeitspunkteinstellung – (5 Punkte)

Für zwei verschiedene Temperaturen, nämlich 20°C und 40°C , wird die Einstellung des Arbeitspunktes untersucht. Gehen Sie dabei von $U_{D(AP),20^\circ\text{C}} = 0,86 \text{ V}$ und $U_{D(AP),40^\circ\text{C}} = 0,85 \text{ V}$ aus.

- Geben Sie die Beziehung $U_{CE} = f(U_{Bat}, R_C, R_{BE}, B, U_D, U_{BE0})$ an.
- Bestimmen Sie die Kollektor-Emitterspannung U_{CE} bei 20°C und 40°C .

3.4 Wechselstromersatzschaltbild – (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe“. Versehen Sie das WS-ESB mit Zählpfeilen und tragen Sie folgende Größen ein: $u_{a1}(t)$, $u_{BE}(t)$, $u_{CE}(t)$, $u_{a2}(t)$, $i_B(t)$ und $i_{C0}(t)$.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass die Spannungsquelle im Dioden-ESB eine Gleichspannungsquelle ist.

3.5 Wechselstromanalyse – (3 Punkte)

Bestimmen Sie mit der Vorgabe von $\hat{u}_{a1} = 0,21 \text{ V}$ aus Frage 3.1 die Amplitude $\hat{u}_{a2}$ des Kollektor-Emitter-Wechselspannungsanteils bei 20°C .

Aufgabe 4:

- Pro Frage ist genau **eine** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
 Richtige Antwort: +1 Punkt
 Keine Antwort: 0 Punkte
 Falsche Antwort: -1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
 Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)

4.1 Die elektrische Spannung zwischen zwei elektrisch geladenen Platten ist

- a) umgekehrt proportional zum elektrischen Feld zwischen den Platten, aber direkt proportional zum Plattenabstand.
- b) direkt proportional zum elektrischen Feld zwischen den Platten und dem Plattenabstand.
- c) direkt proportional zum elektrischen Feld zwischen den Platten, aber unabhängig vom Plattenabstand.

4.2 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet. Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung ist

- a) immer doppelt so groß wie die umgesetzte Leistung im ursprünglichen Netzwerk.
- b) genau gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.
- c) im Allgemeinen nicht gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

4.3 Eine reale Spannungsquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch

- a) die Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.
- b) die Reihenschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstands.
- c) die Parallelschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstands.

4.4 Die Methode des Überlagerungssatzes kann angewendet werden bei einer Schaltung mit

- a) mehreren Quellen und linearen Elementen.
- b) mehreren Quellen und nichtlinearen Elementen.
- c) mehreren Quellen und linearen und nichtlinearen Elementen.

4.5 Die Gesamtkapazität von n in Reihe geschalteten Kondensatoren beträgt

$$a) \quad C = \sum_{k=1}^n C_k$$

$$b) \quad C = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}}$$

$$c) \quad C = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \dots \cdot C_n}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}$$

4.6 Bei einem gedämpften Reihenschwingkreis (Reihenschaltung von R, L und C) wird der Effektivwert des Stromes I bei Resonanz ($f = f_r$)

- a) minimal.
- b) maximal.
- c) imaginär.

4.7 In einem Zeigerdiagramm können dargestellt werden:

- a) nur Gleichspannungen und Gleichströme.
- b) nur Wechselspannungen und Wechselströme gleicher Frequenz.
- c) nur Wechselspannungen und Wechselströme mit unterschiedlichen Frequenzen.

4.8 Welche Aussage bezüglich einer Kapazität C stimmt?

- a) Der Kondensatorstrom kann nicht springen.
- b) Die Spannung am Kondensator kann nicht springen.
- c) Weder Strom noch Spannung können springen.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)**4.9 Welche Aussage stimmt?**

- a) Eine Diode wird leitend, wenn die Breite der Sperrschicht abnimmt.
- b) Eine Diode wird leitend, wenn die Breite der Sperrschicht zunimmt.
- c) Die Sperrschichtbreite spielt keine Rolle bei der Leitfähigkeit einer Diode.

4.10 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

- a) im gesamten Bereich der Strom-Spannungskennlinie der Diode.
- b) nur für spezielle Diodentypen.
- c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.11 Wozu werden Zener-Dioden bevorzugt verwendet?

- a) Lichterzeugung.
- b) Stromgleichrichtung.
- c) Spannungsstabilisierung.

4.12 Charakteristisch für einen Bipolartransistor ist, dass

- a) eine große Änderung des Basisstroms zu einer kleinen Änderung des Kollektorstroms führt.
- b) eine kleine Änderung des Basisstroms zu einer großen Änderung des Kollektorstroms führt.
- c) der Basisstrom gleich groß ist wie der Kollektorstrom.

4.13 Bei einem invertierenden Verstärker mit idealem Operationsverstärker

- a) muss der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers klein sein.
- b) darf der Ausgang des Operationsverstärkers nicht belastet werden.
- c) sind die Eingänge des Operationsverstärkers stromlos.

4.14 Ein nicht rückgekoppelter Operationsverstärker kann eingesetzt werden,

- a) um Spannungen zu verstärken.
- b) um Ströme zu verstärken.
- c) um zwei Spannungen miteinander zu vergleichen.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)**4.15 Eine Spannung wird induziert wenn**

- a) eine ruhende Leiterschleife von einem elektrischen Wechselfeld durchsetzt wird.
- b) sich eine ruhende Leiterschleife in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet.
- c) eine Leiterschleife von einem magnetischen Wechselfeld durchsetzt wird.

4.16 Die Lorentzkraft beschreibt

- a) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.
- b) die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld und ist unter anderem abhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.
- c) die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im elektrischen Feld und ist unter anderem abhängig von der Leiterlänge.

4.17 Das Anlaufdrehmoment einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

- a) der Ankerspannung U_A und dem Ankerwiderstand R_A .
- b) der Ankerspannung U_A und der Drehzahl n .
- c) dem Ankerstrom I_A und der Drehzahl n .

4.18 Mit steigendem Erregerstrom I_F gilt bei einer fremderregten Gleichstrommaschine:

- a) Die Leerlaufdrehzahl und das Anlaufdrehmoment nehmen zu.
- b) Die Leerlaufdrehzahl nimmt ab und das Anlaufdrehmoment nimmt zu.
- c) Die Leerlaufdrehzahl nimmt zu und das Anlaufdrehmoment nimmt ab.

4.19 Als Ankerrückwirkung bei einer Gleichstrommaschine wird

- a) das durch die Ankerströme verursachte Bremsdrehmoment bezeichnet.
- b) die Geräuschentwicklung in der Maschine durch die Kohlebürsten am Anker bezeichnet.
- c) die Verzerrung des Hauptmagnetfelds durch das Ankerquerfeld bezeichnet.

4.20 Wie kann die Leerlaufdrehzahl von Asynchronmotoren am Netz beeinflusst werden?

- a) Durch die Veränderung der Polpaarzahl p .
- b) Durch die Veränderung der Höhe der Netzspannung.
- c) Durch die Erhöhung des Kippdrehmomentes.



Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

15.09.2011

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1 Frequenz f und Induktivität L

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \Leftrightarrow f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{25}{6 \cdot \pi} \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 12 \Omega} = 10 \text{ kHz}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \Leftrightarrow L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5 \Omega}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ kHz}} = 7,96 \cdot 10^{-5} \text{ H} = 79,6 \mu\text{H}$$

1.2 Ströme

Anmerk.: Hier ist zuerst nach komplexen Größen gefragt! Deshalb sind alle komplexen Größen unterstrichen! (Wer den Unterstrich weglässt verschenkt unnötig Punkte... da nichtunterstrichene Größen nunmal Effektivwerte bzw. Gleichgrößen sind.)

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{48 \text{ V}}{16 \Omega} = 3 \text{ A} = 3 \text{ A} \cdot e^{j0^\circ} \text{ (Dieser Strom hat keinen imaginären Anteil...)}$$

$$I_C = \frac{U_2}{-j \cdot X_C} = j \cdot \frac{48 \text{ V}}{12 \Omega} = j \cdot 4 \text{ A} = 4 \text{ A} \cdot e^{j90^\circ}$$

$$I = I_2 + I_C = 3 \text{ A} + j \cdot 4 \text{ A} = \sqrt{(3 \text{ A})^2 + (4 \text{ A})^2} \cdot e^{j \arctan\left(\frac{4 \text{ A}}{3 \text{ A}}\right)} = 5 \text{ A} \cdot e^{j53,13^\circ}$$

Effektivwerte:

$$I_2 = |I_2| = 3 \text{ A}$$

$$I_C = |I_C| = 4 \text{ A}$$

$$I = |I| = 5 \text{ A}$$

1.3 Spannungen

$$\underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I} = 10 \Omega \cdot 5 \text{ A} \cdot e^{j53,13^\circ} = 50 \text{ V} \cdot e^{j53,13^\circ}$$

$$\underline{U}_1 = 50 \text{ V} \cdot [\cos(53,13^\circ) + j \cdot \sin(53,13^\circ)] = (30 + j \cdot 40) \text{ V}$$

(Oder erst in kartesischen Koordinaten, und dann umrechnen:)

$$\underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I} = 10 \Omega \cdot (3 \text{ A} + j \cdot 4 \text{ A}) = (30 \text{ V} + j \cdot 40 \text{ V})$$

$$\underline{U}_1 = 50 \text{ V} \cdot e^{j53,13^\circ}$$

$$\underline{U}_L = j \cdot X_L \cdot \underline{I} = j \cdot 5 \Omega \cdot 5 \text{ A} \cdot e^{j53,13^\circ} = 25 \text{ V} \cdot e^{j(90^\circ + 53,13^\circ)} = 25 \text{ V} \cdot e^{j(143,13^\circ)}$$

$$\underline{U}_L = 25 \text{ V} \cdot [\cos(143,13^\circ) + j \cdot \sin(143,13^\circ)] = (-20 + j \cdot 15) \text{ V}$$

$$\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_L + \underline{U}_2 = (30 + j \cdot 40) \text{ V} + (-20 + j \cdot 15) \text{ V} + 48 \text{ V} = (58 + j \cdot 55) \text{ V}$$

$$\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_L + \underline{U}_2 = \sqrt{(58 \text{ V})^2 + (55 \text{ V})^2} \cdot e^{j \arctan\left(\frac{55 \text{ V}}{58 \text{ V}}\right)} = 80 \text{ V} \cdot e^{j43,5^\circ}$$

Effektivwerte:

$$U_1 = |\underline{U}_1| = 50 \text{ V}$$

$$U_L = |\underline{U}_L| = 25 \text{ V}$$

$$U = |\underline{U}| = 80 \text{ V}$$

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = (80 \text{ V} \cdot e^{j43,48^\circ}) \cdot (5 \text{ A} \cdot e^{-j53,13^\circ}) = 400 \text{ VA} \cdot e^{-j9,65^\circ}$$

(Für den Strom ist der komplex konjugierte Wert zu verwenden!)

$$\underline{S} = 400 \text{ VA} \cdot [\cos(-9,65^\circ) + j \cdot \sin(-9,65^\circ)] \approx (394 - j \cdot 67) \text{ VA}$$

$$P = \operatorname{Re}\{\underline{S}\} = 394 \text{ W}$$

$$Q = \operatorname{Im}\{\underline{S}\} = -67 \text{ var}$$

Die Schaltung wirkt ohmsch-kapazitiv, da (P ungleich Null ist und) $Q < 0$ ist!

1.5 Schein-, Wirk- und Blindleistung

$$P = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 = 10 \Omega \cdot (5 \text{ A})^2 + 16 \Omega \cdot (3 \text{ A})^2 = 394 \text{ W}$$

$$Q = X_L \cdot I_1^2 - X_C \cdot I_C^2 = 5 \Omega \cdot (5 \text{ A})^2 - 12 \Omega \cdot (4 \text{ A})^2 = -67 \text{ var}$$

Die Werte aus Frage 1.4 und 1.5 stimmen, so wie es sein muss, überein.

1.6 Blindleistungs- bzw. Blindstromkompensation

Es muss kapazitive Blindleistung kompensiert werden. Daher muss eine Induktivität verwendet werden, d.h. $\underline{Z} = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_1 = X_{L1} \cdot e^{j90^\circ}$

$$|Q_{L1}| = |Q| = 67 \text{ var}$$

$$Q_{L1} = \frac{U^2}{X_{L1}} = \frac{U^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_1} \Leftrightarrow L_1 = \frac{U^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Q_{L1}} = \frac{(80 \text{ V})^2}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ kHz} \cdot 67 \text{ var}} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 1,52 \text{ mH}$$

$$I_Z = \frac{U}{j \cdot X_{L1}} = \frac{(80 \text{ V} \cdot e^{j43,48^\circ})}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ kHz} \cdot 1,52 \text{ mH} \cdot e^{j90^\circ}} = 0,838 \text{ A} \cdot e^{-j46,52^\circ}$$

$$I_Z = |I_Z| = 0,838 \text{ A}$$

Aufgabe 2 Musterlösung

Fragen:

2.1 Leistungen, Wirkungsgrad

$$P_{\text{mech},N} = M_N \cdot \Omega_N$$

$$P_{\text{mech},N} = 10,1 \text{ kNm} \cdot 2\pi \cdot \frac{80}{60 \text{ s}} = 84,61 \text{ kW}$$

$$P_{\text{el},N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N}$$

$$P_{\text{el},N} = 800 \text{ V} \cdot 100 \text{ A} = 80 \text{ kW}$$

• Verluste im Anker:

$$P_{VA,N} = P_{\text{mech},N} - P_{\text{el},N}$$

$$P_{VA,N} = 84,61 \text{ kW} - 80 \text{ kW} = 4,61 \text{ kW}$$

Verluste in Erregerwicklung:

$$P_{VF,N} = P_{F,N} = R_F \cdot I_{F,N}^2$$

$$P_{VF,N} = P_{F,N} = 10 \Omega \cdot (10 \text{ A})^2 = 1 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{el},N}}{P_{\text{el},N} + P_{VA,N} + P_{VF,N}} = \frac{P_{\text{el},N}}{P_{\text{mech},N} + P_{VF,N}}$$

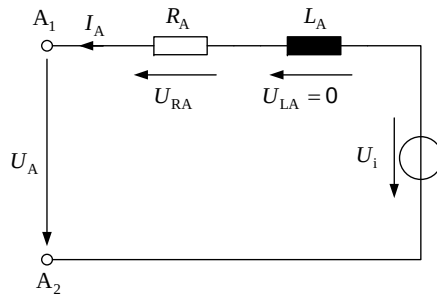
$$\eta = \frac{80 \text{ kW}}{80 \text{ kW} + 4,61 \text{ kW} + 1 \text{ kW}} = 93,4\%$$

(Es muss sowohl mechanische Leistung als auch elektrische Leistung in der Erregerwicklung der Maschine zugeführt werden.

Genutzt wird die Leistung an den Ankertklemmen.)

2.2 ESB Ankerkreis, Ankerwiderstand

- ESB:



(In der Aufgabenstellung vorgegebene Pfeilungsrichtung für den Strom beachten!)

- $R_A = \frac{P_{A,N}}{(I_{A,N})^2}$
 $R_A = \frac{4,61 \text{ kW}}{(100 \text{ A})^2} = 0,461 \Omega$

2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss

- $U_{A,N} = U_{i,N} - U_{RA}$
 (muss nicht unbedingt angegeben werden, aber das ist die Maschengleichung aus den ESB)
 $U_{i,N} = U_{A,N} + R_A \cdot I_{A,N}$
 (das „+“ ist wichtig! Wegen vorgegebener Pfeilungsrichtung vom Ankerstrom)
 $U_{i,N} = 800 \text{ V} + 0,461 \Omega \cdot 100 \text{ A} = 846,1 \text{ V}$

mit Ersatzwert von R_A :

$$U_{i,N} = 800 \text{ V} + 0,45 \Omega \cdot 100 \text{ A} = 845 \text{ V}$$

- $c\phi_N = \frac{U_{A,N}}{\Omega_N}$
 $c\phi_N = \frac{846,1 \text{ V}}{2\pi \frac{80}{60 \text{ s}}} = 101 \text{ Vs}$

mit Ersatzwert von R_A :

$$c\phi_N = \frac{845 \text{ V}}{2\pi \frac{80}{60 \text{ s}}} = 100,86 \text{ Vs}$$

2.4 Betrieb bei veränderter Drehzahl

$$U_{I,AP1} = c\phi_N \cdot \Omega_{AP1}$$

$$U_{I,AP1} = 101Vs \cdot 2\pi \cdot \frac{100}{60s} = 1058V$$

$$U_{A,AP1} = U_{I,AP1} - R_A \cdot I_{A,AP1}$$

$$U_{A,AP1} = 1058V - 0,461\Omega \cdot 100A = 1012V$$

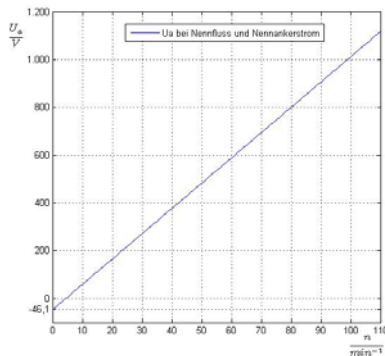
mit Ersatzwert von R_A :

$$U_{A,AP1} = 1058V - 0,45\Omega \cdot 100A = 1013V$$

$$U_A = U_I - U_{RA}$$

$$U_A = c\phi_N \cdot \Omega - R_A \cdot I_{A,N}$$

$$U_A = 101Vs \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} - 46,1V = 10,58V \cdot \frac{n}{1min} - 46,1V$$



Hinweis: Ankerstrom und Erregerstrom werden durch die LE auf den jeweiligen Nennwert eingestellt und dürfen als konstant angenommen werden. Verwenden Sie ein Lineal und achten Sie auf vollständige Beschriftung. Frei Hand gezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet! Verwenden Sie ca. eine halbe Seite DIN A4 für das Diagramm.

2.5 Betrieb bei erhöhter Drehzahl und Veränderung des Erregerflusses

$$U_{I,AP2} = U_{I,N}$$

$$U_{I,AP2} = 846,1V$$

mit Ersatzwert von R_A : $U_{A,AP1} = 845V$

$$c\phi_{AP2} = \frac{U_{I,AP2}}{\Omega_{AP2}}$$

$$c\phi_{AP2} = \frac{846,1V}{2\pi \frac{100}{60s}} = 80,8Vs$$

$$\text{mit Ersatzwert von } U_I: c\phi_N = \frac{845V}{2\pi \frac{100}{60s}} = 80,7Vs$$

$$\text{Alternative: } c\phi_{AP2} = c\phi_N \frac{\Omega_N}{\Omega_{AP2}} = 101Vs \cdot \frac{80}{100}$$

$$I_{F,AP2} = I_{F,N} \frac{c\phi_{AP2}}{c\phi_N}$$

(linearer Zusammenhang zwischen Fluss und Erregerstrom)

$$I_{F,AP2} = 10A \cdot \frac{80}{100} = 8A$$

• Welches Moment M_{AP2} wird in diesem Fall vom Windrad abgegeben?

$$M_{AP2} = c\phi_{AP2} \cdot I_{A,AP2}$$

$$M_{AP2} = 80,8Vs \cdot 100A = 8,08 \text{ kNm}$$

Aufgabe 3

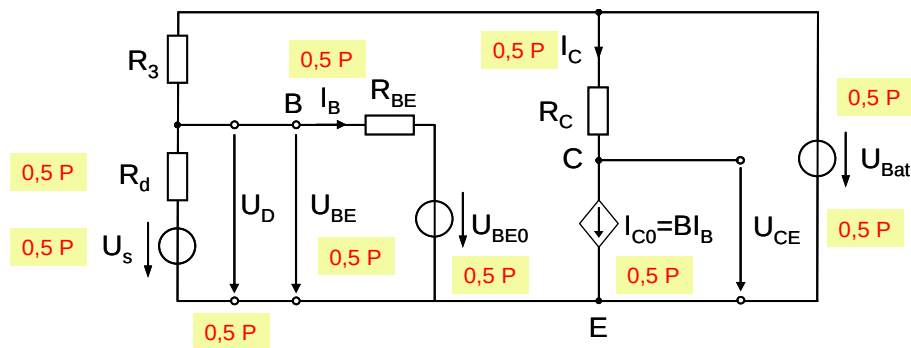
3.1 OP-Verstärkerstufe –

Subtrahierer

$$u_{a1}(t) = \frac{R_2}{R_1}(u_{e1}(t) - u_{e2}(t))$$

$$R_2 = R_1 \frac{\hat{u}_{a1}}{\hat{u}_{e1} - \hat{u}_{e2}} = 10\text{k}\Omega \frac{0,21\text{V}}{442\text{mV} - 400\text{mV}} = 50\text{k}\Omega$$

3.2 Gleichstromersatzschaltbild –



Institut für Elektrische Energiewandlung (IEW)

3.3 Arbeitspunkteinstellung

Diodenspannungen sind für beide Temperaturen gegeben und entsprechen jeweils der Basis-Emitter-Spannung.

$$U_D = U_{BE}$$

Maschengleichung B-E-Strecke:

$$U_{BE} = U_{BE0} + R_{BE}I_B$$

$$I_B = \frac{U_{BE} - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{U_D - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

Da R_{CE} vernachlässigt werden darf:

$$I_C = I_{C0} = \beta I_B$$

Maschengleichung:

$$U_{CE} = U_{Bat} - R_C I_C$$

Alles ineinander eingesetzt:

$$U_{CE} = U_{Bat} - R_C \cdot B \cdot \frac{U_D - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

Nun noch Werte ausrechnen:

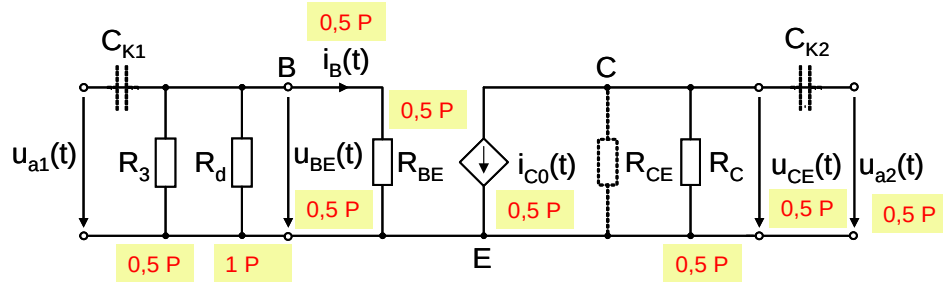
$$U_{CE,20^{\circ}C} = U_{Bat} - R_C B(20^{\circ}C) \frac{U_{D,20^{\circ}C} - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

$$= 12V - 60\Omega 100 \frac{0,86V - 0,65V}{210\Omega} = 6V$$

$$U_{CE,40^{\circ}C} = U_{Bat} - R_C B(40^{\circ}C) \frac{U_{D,40^{\circ}C} - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

$$= 12V - 60\Omega 105 \frac{0,85V - 0,65V}{210\Omega} = 6V$$

3.4 Wechselstromersatzschaltbild – (5 Punkte)



3.5 Wechselstromanalyse – (3 Punkte)

Mit der Vorgabe aus Frage 3.1: $\hat{u}_{a1} = 0,21 \text{ V}$

$$\hat{u}_{a1} = R_{BE} \hat{i}_B$$

$$\hat{i}_C = \beta \hat{i}_B$$

$$\hat{u}_{CE} = R_C \hat{i}_C$$

$$\hat{u}_{CE} = \hat{u}_{a2}$$

$$\hat{u}_{a2} = R_C \beta \hat{i}_B = R_C \beta (20^\circ\text{C}) \hat{u}_{a1} / R_{BE} = 60\Omega \cdot 100 \cdot 0,21\text{V} / 210\Omega = 6\text{V}$$

Dachwerte sind immer Beträge, d.h. positive Größen!!