

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen!

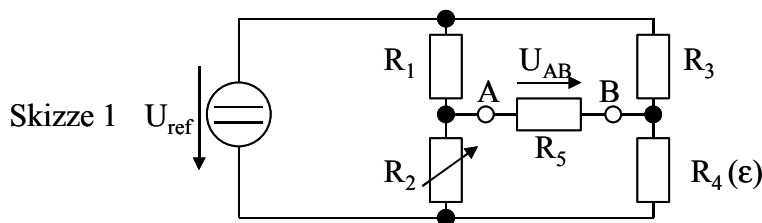
Aufgabe 1:

- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar

Dehnungsmessstreifen sind elektrische Widerstände, deren Widerstandswert von der mechanischen Dehnung abhängt. Im Folgenden sollen Messschaltungen für Dehnungsmessstreifen berechnet werden.

Teil a)

Gegeben ist zunächst eine Schaltung bestehend aus einer Gleichspannungsquelle U_{ref} und 4 Widerständen R_1 bis R_4 sowie einem Spannungsmessgerät, das durch den Widerstand R_5 beschrieben werden kann (s. Skizze 1). Die Widerstände $R_1 = R_3 = R$ haben den gleichen Wert. Der Widerstand R_2 ist verstellbar. Der Widerstand R_4 ist ein Dehnungsmessstreifen mit dem von der mechanischen Dehnung ϵ abhängigen Wert $R_4(\epsilon) = R \cdot (1 + 2 \cdot \epsilon)$.



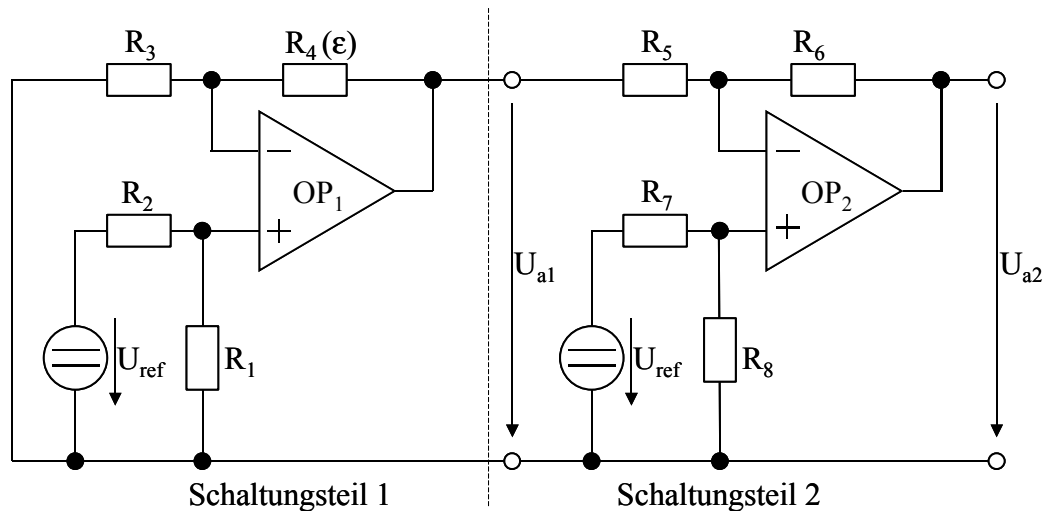
Fragen:

- Wieviele Zweige und Knoten enthält die Schaltung? Wieviele Knoten- und Maschengleichungen sind zur Berechnung aller Ströme im Netzwerk notwendig (Hinweis: Es genügt, die Anzahl der jeweiligen Gleichungen anzugeben)?
- Der verstellbare Widerstand wird zunächst auf einen beliebigen Wert $R_2 = R + \Delta R$ eingestellt. Der Widerstand des Messgeräts R_5 sei so groß, dass der Strom zwischen den Klemmen A und B vernachlässigbar klein wird. Geben Sie die Spannung zwischen den Klemmen A und B an!
- Wie muss ΔR in Abhängigkeit von ϵ und R eingestellt werden, damit die Spannung über dem Messgerät U_{AB} zu Null wird?

Teil b)

Zur elektronischen Überwachung des mechanischen Dehnungszustands wird eine zweite Schaltung mit den Operationsverstärkern OP_1 und OP_2 verwendet (s. Skizze 2).

Die Operationsverstärker dürfen als ideal angesehen werden. Beide Gleichspannungsquellen liefern dieselbe Spannung U_{ref} .



Skizze 2

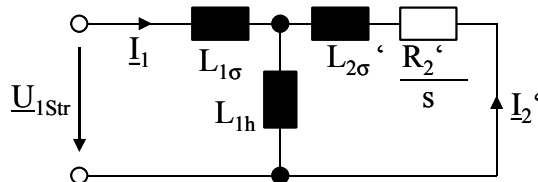
Fragen:

4. Zunächst soll nur der linke Schaltungsteil 1 betrachtet werden. Der Dehnungsmessstreifen wird durch den Widerstand $R_4(\epsilon) = R \cdot (1 + 2 \cdot \epsilon)$ symbolisiert. Die übrigen Widerstände $R_1 = R_2 = R_3 = R$ sind gleich groß und konstant. Wie groß wird die elektrische Spannung U_{a1} als Funktion von U_{ref} und der Dehnung ϵ ?
5. Nun soll auch der rechte Schaltungsteil 2 mit einbezogen werden. Die Widerstände $R_5 = R_7 = R_e$ sowie $R_6 = R_8 = R_G$ sind jeweils gleich groß. Wie groß wird die elektrische Ausgangsspannung U_{a2} als Funktion von U_{ref} , R_G/R_e und ϵ ? Wie groß ist das Verhältnis R_G/R_e zu wählen, damit bei einer Dehnung von $\epsilon = 10^{-3}$ genau $U_{a2} = -U_{ref}$ wird?

Aufgabe 2:

- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar

Ein Wicklungsstrang eines Drehstrom-Asynchronmotors kann durch das folgende vereinfachte einphasige Ersatzschaltbild dargestellt werden, in dem die Reibungs-, Eisen- und Statorkupferverluste vernachlässigt werden:



Folgende Daten eines Strangs sind bekannt:

Bezogener Rotorwiderstand: $R_2' = 0,128 \, \Omega$
 Hauptinduktivität: $L_{1h} = 56,8 \, \text{mH}$
 Streuinduktivitäten: $L_{1\sigma} = L_{2\sigma}' = 2,56 \, \text{mH}$
 Polpaarzahl: $p = 2$
 Die Maschine ist in Stern geschaltet!

Teil a)

Der Motor wird zunächst an der Nennspannung von $U_{1N} = 400 \, \text{V}$ (verkettet) mit der Nennfrequenz $f_{1N} = 50 \, \text{Hz}$ betrieben. Der Nullphasenwinkel der Strangspannung wird auf 0° ($\underline{U}_{1\text{Str}} = U_{1\text{Str}} \cdot e^{j0^\circ}$) festgelegt.

Fragen:

- Der Motor wird zunächst im Leerlauf betrieben. Der Schlupf im Leerlauf beträgt $s = s_0 = 0$. Wie groß ist der Strom $I_{1,0}$ im Leerlauf?
Wie hoch ist die Leerlaufdrehzahl n_0 ?
- Nun wird der Motor mit Nennlast betrieben. Der Nennschlupf beträgt $s = s_N = 2\%$. Bestimmen Sie die Impedanz eines Strangs $\underline{Z}_{\text{Str}}$ und den Nennstrom I_{1N} der Maschine.
- Berechnen Sie die gesamte elektrische Wirkleistung des Motors P_{1N} an den Stator-klemmen! Wie groß ist das Drehmoment M_N ? Wenn Sie den Nennstrom im vorigen Unterpunkt nicht berechnet haben, nehmen Sie einen Strom von $I_{1N} = 70 \, \text{A} \, e^{-j30^\circ}$ an.

Teil b)

Nun soll der Motor an einem Frequenzumrichter betrieben werden. Die Amplitude und Frequenz der speisenden Spannung sind frei einstellbar.

Fragen:

- Welche Statorfrequenz f_{1b} muss eingestellt werden, damit die Leerlaufdrehzahl des Motors $n_{0b} = 1200 \, \text{min}^{-1}$ beträgt?
- Auf welchen Wert muss die Spannung U_{1b} bei dieser Frequenz eingestellt werden, wenn sich derselbe Leerlaufstrom $I_{1,0b} = I_{1,0}$ wie bei Nennspannung und -frequenz ergeben soll? Bei welcher Drehzahl tritt nun das Nenndrehmoment M_N auf?

Lösung zu Aufgabe 1:

1. Zweige $z = 6$; Knoten $k = 4$; $(k - 1) = 3$ Knoten- und $z - (k - 1) = 3$ Maschengleichungen
2. Unter Bezug auf das Potential am unteren Knoten (Verbindung R_2 , R_4 und U_{ref}) folgt aufgrund der Spannungsteilerregel:

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{\text{ref}} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_{\text{ref}} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{\Delta R - 2\varepsilon R}{(2R + \Delta R) \cdot (2 + 2\varepsilon)}$$

$$3. U_{AB} = 0 \Rightarrow \Delta R = 2\varepsilon \cdot R$$

4. nichtinvertierender Verstärker mit Spannungsteiler $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ für U_{ref} :

$$U_{a1} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = (1 + \varepsilon) \cdot U_{\text{ref}}$$

$$5. \text{ Differenzverstärker: } U_{a2} = (U_{\text{ref}} - U_{a1}) \cdot \frac{R_G}{R_e} = -\varepsilon \cdot U_{\text{ref}} \cdot \frac{R_G}{R_e} \Rightarrow \frac{R_G}{R_e} = 1000$$

Lösung zu Aufgabe 2:

$$1. I_0 = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot f_{1N} \cdot (L_{1\sigma} + L_{1h})} = 12,38 \text{ A} \quad n_0 = \frac{f_{1N}}{p} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$2. \underline{Z}_N = j\omega_1 L_{1\sigma} + \frac{j\omega_1 L_{1h} \cdot \left(j\omega_1 L_{2\sigma}' + \frac{R_2'}{s_N}\right)}{j\omega_1 \cdot (L_{1h} + L_{2\sigma}') + \frac{R_2'}{s_N}} = 6,234 \Omega \cdot e^{j32,8^\circ}$$

$$\underline{I}_N = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_{1N}} = \frac{U_{1\text{Str}}}{j\omega_1 L_{1\sigma} + \frac{j\omega_1 L_{1h} \cdot \left(j\omega_1 L_{2\sigma}' + \frac{R_2'}{s_N}\right)}{j\omega_1 \cdot (L_{1h} + L_{2\sigma}') + \frac{R_2'}{s_N}}} = \frac{\frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}}}{6,234 \Omega \cdot e^{j32,8^\circ}} = 37 \text{ A} \cdot e^{-j32,8^\circ}$$

$$3. P_{\text{elN}} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N = 21,6 \text{ kW} \quad \text{bzw. } P_{\text{elN}} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi_N = 42,0 \text{ kW}$$

$$M_N = \frac{P_{1N}}{2\pi n_0} = 137,5 \text{ Nm} \quad \text{bzw. } M_N = \frac{40 \text{ kW}}{2\pi \cdot 1500 \text{ min}^{-1}} = 267 \text{ Nm}$$

$$4. f_{1b} = \frac{n_0'}{n_0} \cdot f_{1N} = 40 \text{ Hz}$$

$$5. U_{1b} = \frac{n_0'}{n_0} \cdot U_{1N} = 320 \text{ V}$$

$$f_{2b} = f_{2N} = f_{1N} \cdot s_N = 1 \text{ Hz} \quad n_N = (1 - s_N) \cdot n_0 = 1470 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{Nb} = n_{0b} - p \cdot f_{2b} = 1170 \text{ min}^{-1}$$