

Prüfungsbeispiele NUS I

Dies sind die offiziellen Prüfungsbeispiele für NUS I, erstellt von den NUS I Assistenten im Oktober 2017.

Fragen zu den Prüfungsbeispielen werden weder per Mail noch in den Übungsstunden, sondern ausschliesslich in den Präsenzstunden beantwortet.

Aufgabe Nr.	Thema	Punkte max.	Punkte	Visum 1	Visum 2
NuS I-3	DC-Netzwerke	20			
Name:		ETH-Nr.:			

Aufgabe NuS I-3: DC-Brückenschaltung

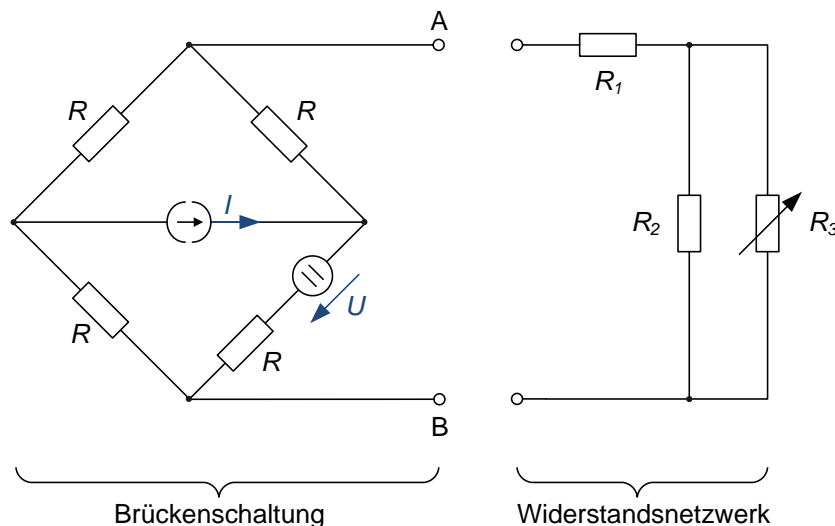


Fig. 3.1: DC-Brückenschaltung

Gegeben ist eine DC-Brückenschaltung bestehend aus vier Widerständen $R = 10 \, \Omega$, der Spannungsquelle $U = 10 \, \text{V}$ und der Stromquelle $I = 1 \, \text{A}$. An den Klemmen A und B der Brückenschaltung kann ein Widerstandsnetzwerk, das aus den beiden Widerständen $R_1 = 240 \, \Omega$, $R_2 = 1 \, \text{k}\Omega$ und dem einstellbaren Lastwiderstand R_3 besteht, angeschlossen werden.

Betrachten Sie die für die Teilaufgabe a) die Brückenschaltung ohne Widerstandsnetzwerk.

- a) Berechnen Sie zunächst allgemein die Parameter U_{qE} und R_{iE} der Ersatzspannungsquelle zwischen den Klemmen A und B als Funktion von U , I und R . Geben sie Zahlenwerte für den Innenwiderstand, die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom an! **(11 Pkt.)**

Berücksichtigen Sie bei den folgenden Teilaufgaben das Widerstandsnetzwerk.

Falls Sie Teilaufgabe a) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $U_{qE} = 6 \, \text{V}$ und $R_{iE} = 12 \, \Omega$.

- b) Berechnen Sie den Wert des Lastwiderstands R_3 so, dass die in R_3 umgesetzte Leistung maximal wird. **(4 Pkt.)**
- c) Wie gross ist die Spannung am Widerstand R_3 und welche Leistung wird von R_3 aufgenommen? **(5 Pkt.)**

Aufgabe Nr.	Thema	Punkte max.	Punkte	Visum 1	Visum 2
NuS I-2	Äquiv. Quellen und Leistungsanp.	20			
Name:		ETH-Nr.:			

Aufgabe NuS I-2: Gleichstrom-Brückenschaltung

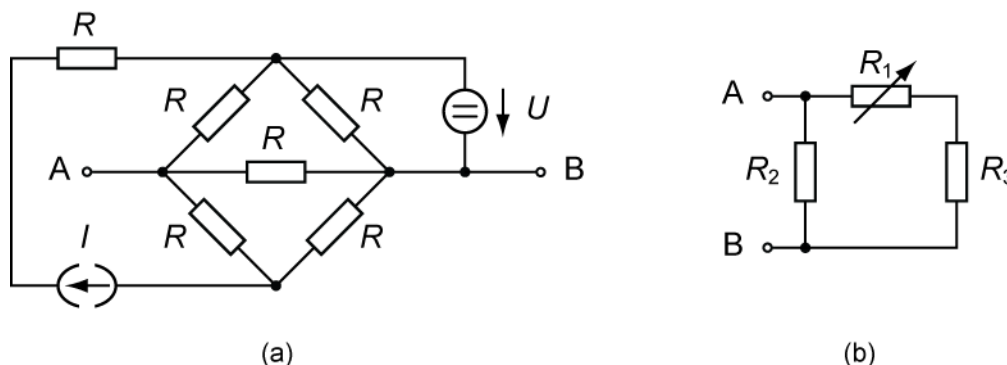


Fig. 2.1: Gleichstrom-Brückenschaltung (a) und Belastungsnetzwerk (b)

Gegeben ist eine Gleichstrom-Brückenschaltung gemäss **Fig. 2.1(a)** bestehend aus der Spannungsquelle $U = 25 \text{ V}$, der Stromquelle $I = 2 \text{ A}$ und sechs Widerständen $R = 5 \Omega$. An den Klemmen A und B der Brückenschaltung kann ein Belastungsnetzwerk gemäss **Fig. 2.1(b)**, das aus dem einstellbaren Widerstand R_1 und den beiden Widerständen $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ und $R_3 = 480 \Omega$ besteht, angeschlossen werden.

Betrachten Sie für Teilaufgabe a) die Gleichstrom-Brückenschaltung ohne Belastungsnetzwerk.

- a) Berechnen Sie zunächst die Leerlaufspannung U_{qE} (mit Hilfe des Superpositionsverfahrens) und den Innenwiderstand R_{qE} einer Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B als Funktion von U , I und R . Geben Sie anschliessend Zahlenwerte für U_{qE} , R_{qE} und den Kurzschlussstrom I_{qE} dieser Ersatzspannungsquelle an. **(12 Pkt.)**

Berücksichtigen Sie bei den folgenden Teilaufgaben das Belastungsnetzwerk.

Falls Sie Teilaufgabe a) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $U_{qE} = 6 \text{ V}$ und $R_{qE} = 4 \Omega$.

- b) Berechnen Sie den Wert des einstellbaren Widerstands R_1 so, dass die in R_1 umgesetzte Leistung maximal wird. **(3 Pkt.)**
- c) Wie gross ist mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe b) der Spannungsabfall über dem Widerstand R_1 und welche Leistung wird von R_1 aufgenommen? **(5 Pkt.)**

Aufgabe Nr.	Thema	Punkte max.	Punkte	Visum 1	Visum 2
NuS I-4	Magnetischer Kreis	20			
Name:		ETH-Nr.:			

Aufgabe NuS I-4: Magnetischer Kreis und Induktivität

Gegeben sei die Anordnung einer Induktivität, welche gemäss **Fig. 4.1** aus einer Wicklung mit Windungszahl N auf einem dreischenkligen Kern besteht. Die Schenkel 1 und 2 des Kerns weisen je einen Luftspalt mit den Spaltbreiten δ_1 bzw. δ_2 auf. Alle Querschnittsflächen des Kerns sind gleich gross und besitzen die Abmessungen $a = 5 \text{ mm}$ und $b = 12 \text{ mm}$. Sie dürfen von einer relativen Permeabilität $\mu_r \rightarrow \infty$ des Kernmaterials ausgehen.

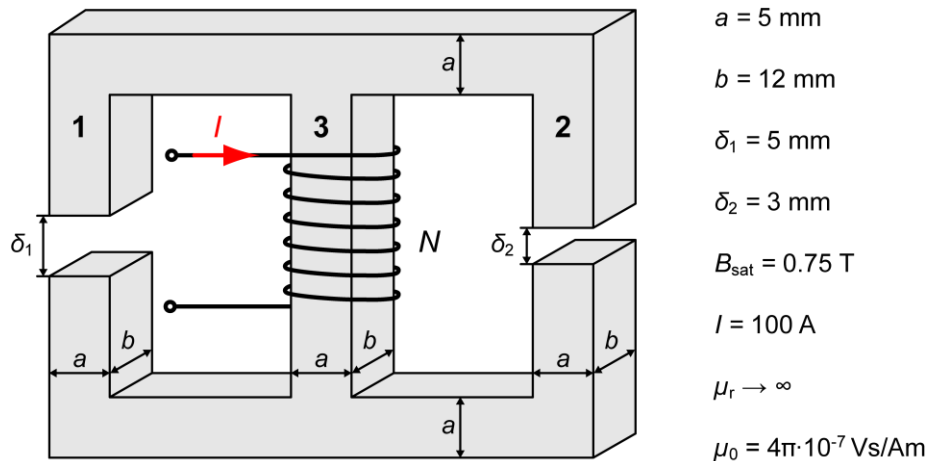


Fig. 4.1: Wicklung auf dreischenkligem Kern.

- Zeichnen Sie das zugehörige Reluktanzmodell der Anordnung in **Fig. 4.1** und berechnen Sie die darin enthaltenen magnetischen Widerstände. **(8 Pkt.)**
- Wie gross kann die Windungszahl N der Induktivität maximal gewählt werden, damit für die magnetische Flussdichte noch folgendes gilt: $B < B_{\text{sat}}$. **(8 Pkt.)**
- Berechnen Sie die Induktivität L der Anordnung für das in **b)** berechnete N_{max} . **(2 Pkt.)**
- Was passiert (qualitativ), wenn die Spaltbreite δ_1 halbiert wird ($N = N_{\text{max}}$)? **(2 Pkt.)**

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-1: Plattenkondensator

25 Punkte

Gegeben ist ein Plattenkondensator gemäss **Fig. 1(a)**. Die Abmessungen des Plattenkondensators sind mit der Länge l_0 und der Tiefe t (senkrecht zur Zeichenebene) gegeben. In der Mitte des Kondensators befindet sich ein Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstante ε_1 und der Dicke $d/3$. Zunächst werde die Spannung U_0 wie eingezeichnet angelegt. Vernachlässigen Sie bei allen Berechnungen sämtliche Randeffekte und verwenden Sie $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ As/(V m)}$.

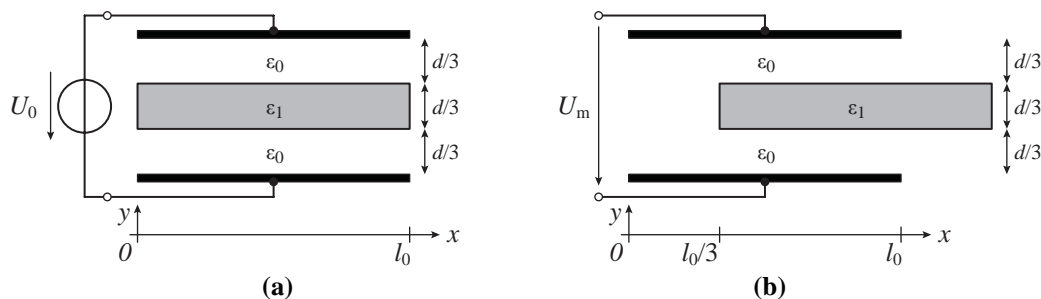


Fig. 1: Plattenkondensator mit unterschiedlichen Dielektrika.

- Berechnen Sie die elektrische Flussdichte und das elektrische Feld (Betrag und Richtung) in den einzelnen Dielektrika in Abhängigkeit der Ladung Q des Kondensators.
(4 Pkt.)
- Berechnen Sie die Ladung Q des Kondensators, die elektrische Flussdichte und das elektrische Feld in den einzelnen Dielektrika in Abhängigkeit der angelegten Spannung U_0 und der Kondensatorgeometrie.
(5 Pkt.)
- Berechnen Sie die Gesamtkapazität C_{ges} der Anordnung.
(2 Pkt.)

Nun wird die Spannungsquelle U_0 vom Kondensator getrennt, wobei der Kondensator geladen bleibt. Zusätzlich wird das Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstante ε_1 gemäss **Fig. 1(b)** um $l_0/3$ nach rechts verschoben und es wird die Spannung U_m gemessen.

- Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der entstehenden Anordnung und bestimmen Sie die Teilkapazitäten des linken ($0 < x < l_0/3$) und rechten ($l_0/3 < x < l_0$) Kondensatorteils. Betrachten Sie dabei nur den Bereich $0 < x < l_0$.
(6 Pkt.)
- Vor dem Abtrennen der Spannungsquelle sei $U_0 = 15 \text{ kV}$ gewesen. Weiterhin gilt $\varepsilon_{r,1} = 3.5$ und $\varepsilon_{r,0} = 1$. Berechnen Sie die resultierende Spannung U_m algebraisch und numerisch. Ist U_m grösser oder kleiner als U_0 ? Wie verteilt sich die Ladung über die Kondensatorplatten? Bestimmen Sie dabei algebraisch die Ladung auf dem linken ($0 < x < l_0/3$) und auf dem rechten ($l_0/3 < x < l_0$) Kondensatorteil.
(8 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-4: Magnetischer Kreis

20 Punkte

Zwei in Serie geschaltete Wicklungen mit gleicher Windungszahl N sind um die Schenkel 1 und 3 des in **Fig. 4** dargestellten magnetischen Kerns angeordnet und werden vom Strom I_S gleichsinnig durchflossen. Der Kern besteht aus zwei unterschiedlichen Materialien, wobei der Mittelschenkel (Schenkel 2) aus einem Material mit geringerer relativer Permeabilität μ_{r2} besteht. Die magnetischen Materialien sind als linear, d. h. mit aussteuerungsunabhängig konstanter Permeabilität anzunehmen. Für die Vakuumpermeabilität gilt $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} = 1.257 \times 10^{-6} \text{ H/m}$.

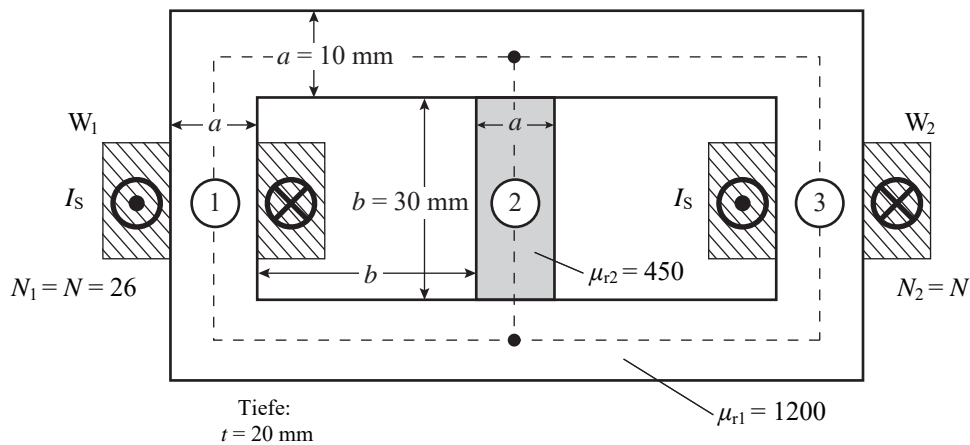


Fig. 4: Geometrie des zu berechnenden magnetischen Kreises.

- Zeichnen Sie das magnetische Ersatzschaltbild (Reluktanzmodell) der Anordnung und berechnen Sie die darin vorkommenden magnetischen Widerstände unter Verwendung der gestrichelt gezeichneten mittleren Weglängen und Größenangaben aus **Fig. 4**.
(8 Pkt.)
- Damit das Material in Schenkel 2 nicht sättigt, darf die Flussdichte B_2 im Mittelschenkel den Wert $B_{2,\max} = 0.8 \text{ T}$ nicht überschreiten. Wie gross ist dann der maximal zulässige Strom I_S ?
(6 Pkt.)
- Die beiden Wicklungen W_1 und W_2 sind in Serie geschaltet. Berechnen Sie die Induktivität L der resultierenden Gesamtanordnung.
(4 Pkt.)
- Die Anschlüsse der Wicklung W_2 werden irrtümlicherweise vertauscht, wodurch der Strom I_S in W_2 in umgekehrter Richtung fließt. Berechnen Sie die Flussdichte in Schenkel 2 für diese neue Stromverteilung. Wie gross darf nun I_S sein, damit das Material in Schenkel 2 nicht sättigt ($B_{2,\max} = 0.8 \text{ T}$)?
(2 Pkt.)

Aufgabe Nr.	Thema	Punkte max.	Punkte	Visum 1	Visum 2
NuS I-3	Äquiv. Quellen und Leistungsanp	25			
Name:		ETH-Nr.:			

Aufgabe NuS I-3: Gleichstromschaltung

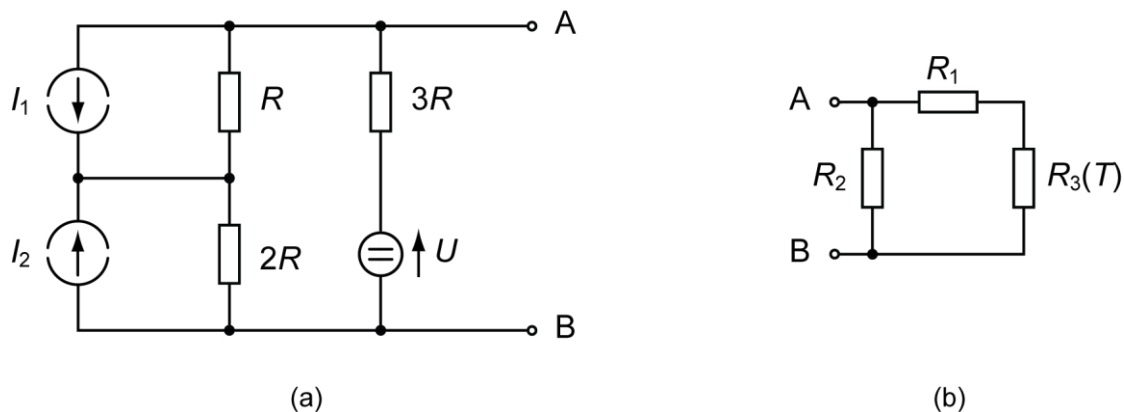


Fig. 3.1: Gleichstromschaltung (a) und Belastungsnetzwerk (b)

Gegeben ist eine Gleichstromschaltung gemäss **Fig. 3.1 (a)**, die aus den Stromquellen $I_1 = 1 \text{ A}$ und $I_2 = 5 \text{ A}$, der Spannungsquelle $U = 6 \text{ V}$ sowie drei Widerständen besteht. Der jeweilige Widerstandswert ist ein ganzzahliges Vielfaches des Grundwertes $R = 4 \Omega$.

- a) Berechnen Sie zunächst die Leerlaufspannung U_E und den Innenwiderstand R_E einer Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B als Funktion von I_1 , I_2 , U und R für die Gleichstromschaltung in **Fig. 3.1 (a)**. Geben Sie anschliessend Zahlenwerte für U_E , R_E und den Kurzschlussstrom I_E dieser Ersatzspannungsquelle an. **(15 Pkt.)**

An den Klemmen A und B der Gleichstromschaltung kann ein Belastungsnetzwerk gemäss **Fig. 3.1 (b)** angeschlossen werden. Es besteht aus den beiden konstanten Widerständen $R_1 = 350 \Omega$ und $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$ sowie dem temperaturabhängigen Widerstand $R_3(T) = 200 \Omega (1 + \alpha (T - 20^\circ \text{C}))$ mit $\alpha = 0,0041 \text{ K}^{-1}$.

Falls Sie Teilaufgabe a) nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $U_E = 12 \text{ V}$ und $R_E = 3 \Omega$.

- b) Bei welcher Temperatur $T_{P\max}$ wird die in $R_3(T)$ umgesetzte Leistung maximal? **(6 Pkt.)**
- c) Wie gross ist mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe b) der Spannungsabfall über dem Widerstand $R_3(T_{P\max})$ und welche Leistung wird von $R_3(T_{P\max})$ aufgenommen? **(4 Pkt.)**

Aufgabe Nr.	Thema	Punkte max.	Punkte	Visum 1	Visum 2
NuS I-4	Das stationäre Magnetfeld	25			
Name:		ETH-Nr.:			

Aufgabe NuS I-4: Magnetischer Kreis

Zwei in Serie geschaltete Wicklungen mit gleicher Windungszahl N sind um den in **Fig. 4.1** dargestellten magnetischen Kern angeordnet und werden vom Strom I_S durchflossen. Der Kern besteht aus zwei Materialien mit unterschiedlicher relativer Permeabilität μ_r sowie einem Luftspalt. Die magnetischen Materialien sind als linear anzunehmen, d. h. sie besitzen eine aussteuerungsunabhängig konstante Permeabilität. Die magnetische Flussdichte im Kern und Luftspalt kann als homogen angenommen werden.

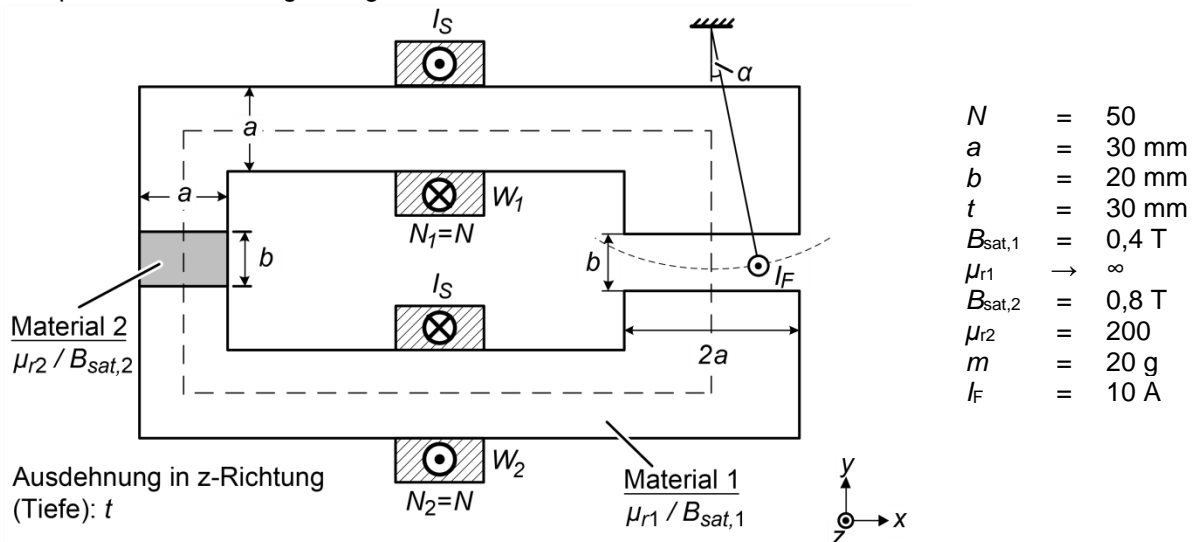


Fig. 4.1: Aufbau des zu berechnenden magnetischen Kreises.

- Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild mit magnetischen Widerständen (Reluktanzmodell) der Anordnung und berechnen Sie die darin vorkommenden magnetischen Widerstände. Verwenden Sie die Grössenangaben aus **Fig. 4.1**. Beachten Sie die Kerntiefe t . **(8 Pkt.)**
- Die beiden Wicklungen W_1 und W_2 sind in Serie geschaltet. Berechnen Sie die Induktivität L der resultierenden Gesamtanordnung. **(5 Pkt.)**
- Berechnen Sie den maximal zulässigen Strom I_S , ab welchem Sättigung im Kern auftritt. Die Sättigungsflussdichten B_{sat} der beiden Materialien entnehmen Sie aus **Fig. 4.1**. Wie gross ist dann die Flussdichte B_{Luft} im Luftspalt? **(6 Pkt.)**

Falls Sie Teilaufgabe **c)** nicht lösen konnten, rechnen Sie mit $B_{\text{Luft}} = 0,25 \text{ T}$.

- Im Luftspalt mit Flussdichte B_{Luft} befindet sich nun an einem ideal flexiblen massenlosen Faden hängend ein Leiter mit Masse $m = 20 \text{ g}$ und Strom $I_F = 10 \text{ A}$. Die Situation ist in **Fig. 4.1** dargestellt. Berechnen Sie den Betrag und die Richtung der Lorentzkraft F_L , welche auf den Leiter im Luftspalt wirkt. Welcher Winkel α stellt sich unter Berücksichtigung der Gewichtskraft ein? Die resultierende Kraftrichtung und die Richtung des Fadens müssen gleich sein. **(6 Pkt.)**

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-2: Leistungsanpassung

20 Punkte

Gegeben ist eine Gleichstromschaltung gemäss **Fig. 2 (a)**, die aus der Stromquelle $I = 3\text{ A}$, der Spannungsquelle $U = 12\text{ V}$ und vier Widerständen besteht. Der jeweilige Widerstandswert ist ein ganzzahliges Vielfaches des Grundwertes $R = 12\ \Omega$.

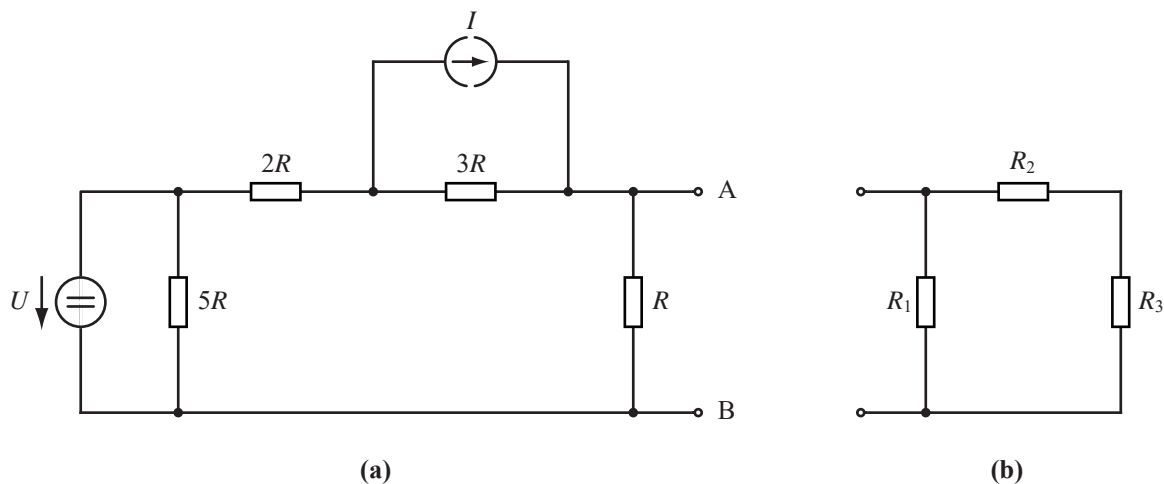


Fig. 2: Gleichstromschaltung (a) und Belastungsnetzwerk (b).

- a) Zeichnen Sie für die Gleichstromschaltung in **Fig. 2 (a)** zunächst das elektrische Ersatzschaltbild einer Ersatzspannungsquelle mit Innenwiderstand bezüglich der Klemmen A und B. Berechnen Sie dann algebraisch den Innenwiderstand R_E und die Leerlaufspannung U_E dieser Ersatzspannungsquelle als Funktion von R , I und U .

(8 Pkt.)

- b) Geben Sie Zahlenwerte für R_E , U_E und den Kurzschlussstrom I_E der Ersatzspannungsquelle aus Teilaufgabe a) an.

(4 Pkt.)

Für alle weiteren Teilaufgaben gelte nun $R_E = 5\ \Omega$ und $U_E = 15\text{ V}$.

An den Klemmen A und B der Gleichstromschaltung wird ein Belastungsnetzwerk gemäss **Fig. 2 (b)** angeschlossen. Es besteht aus den beiden Widerständen $R_1 = 20\ \Omega$ und $R_2 = 11.5\ \Omega$ sowie dem unbekannten Widerstand R_3 .

- c) Für welchen Wert des Widerstands R_3 wird die in R_2 (!) umgesetzte Leistung maximal?

(4 Pkt.)

- d) Wie gross ist mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe c) der Spannungsabfall über dem Widerstand R_2 und welche Leistung wird von R_2 aufgenommen?

(4 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-3: Messung einer Masse

25 Punkte

Zur Messung der Masse m eines Körpers wird die Masse gemäss **Fig. 3(a)** an eine Feder mit Federkonstante $D = 25 \text{ kN/m}$ gehängt. Die Auslenkung $k \cdot h$ der Feder, mit $k \in [0, 1]$, wird mit Hilfe eines reibungsfreien Schleifkontaktes auf einer Widerstandsbahn der Höhe $h = 5 \text{ cm}$ gemessen. Für die Rückstellkraft F_R der Feder gilt: $F_R = D \cdot k \cdot h$. Die Gravitationskraft \vec{F}_G wirkt in die eingezeichnete Richtung und die Erdbeschleunigung betrage $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

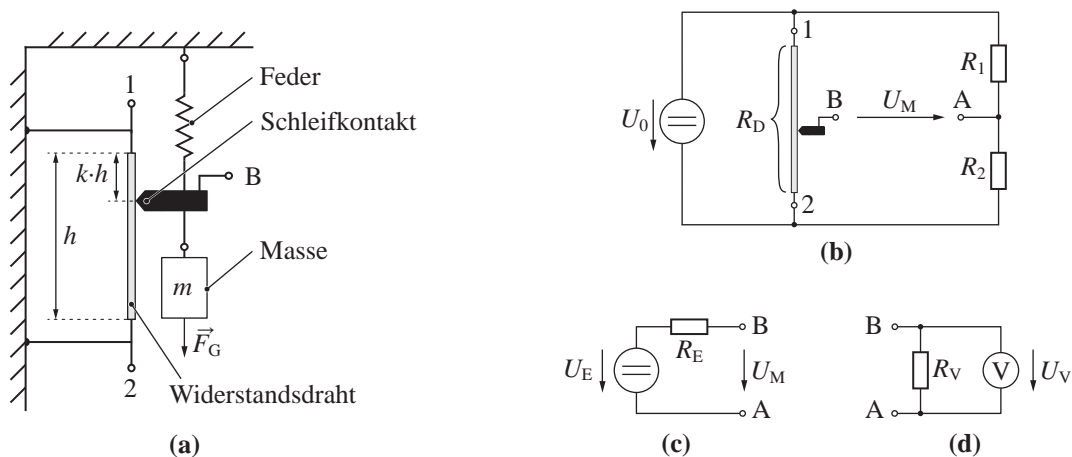


Fig. 3: (a) Aufbau zur Messung einer Masse m ; (b) Elektrische Messschaltung; (c) Ersatzspannungsquelle mit Innenwiderstand; (d) Spannungsmessgerät mit Innenwiderstand R_V .

Die Widerstandsbahn mit Schleifkontakt ist zur Erfassung des Messsignals in eine Brückenschaltung nach **Fig. 3(b)** mit $U_0 = 10 \text{ V}$ und $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$ integriert. Der Widerstand R_D der Widerstandsbahn wird mit einem runden Draht mit der elektrischen Leitfähigkeit $\kappa = 5 \text{ S/m}$ und Durchmesser d gebildet.

- Welchen Durchmesser d muss der Widerstandsdraht aufweisen, damit er einen Widerstand von $R_D = 10 \text{ k}\Omega$ aufweist?
(4 Pkt.)
- Geben Sie die Federauslenkung $k \cdot h$ in Abhängigkeit der Masse m an. Ermitteln Sie die Messspannung U_M in Abhängigkeit der Masse m .
(6 Pkt.)
- Um eine Warnung vor zu hohen Lasten zu ermöglichen, soll die Messspannung U_M für eine zu grosse Masse negativ werden. Dimensionieren Sie R_1 so, dass $U_M = 0$ für $m = 100 \text{ kg}$.
(4 Pkt.)
- Bestimmen Sie die Ersatzspannungsquelle U_E und den Innenwiderstand R_E des in **Fig. 3(c)** gezeigten Ersatzschaltbildes bezüglich der Klemmen A und B für eine Masse $m = 40 \text{ kg}$.
(6 Pkt.)
- Die Spannung U_M werde nun mit einem Spannungsmessgerät gemäss **Fig. 3(d)** mit einem Innenwiderstand von $R_V = 250 \text{ k}\Omega$ gemessen. Wie gross ist die Spannung U_V für $m = 40 \text{ kg}$? Auf welche scheinbare Masse m' schliessen Sie aus der gemessenen Spannung U_V ohne Kompensation des Widerstandes R_V ?
(5 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-1: Kapazitiver Längenaufnehmer

25 Punkte

Gegeben ist ein kapazitiver Längenaufnehmer gemäß **Fig. 1** bestehend aus einer ortsfesten und einer im Bereich $0 \leq x \leq x_{\max}$ beweglichen Metallplatte mit jeweils einer Oberfläche von $A_c = 400 \text{ cm}^2$. Über die beiden Kontakte A und B sind die beiden Platten, wie eingezeichnet, an eine Konstantspannungsquelle $U_Q = 100 \text{ V}$ angeschlossen. Damit ein Kurzschluss durch gegenseitige Berührung der Platten verhindert wird, ist zwischen den Platten eine feste Lage Kunststoff der Dicke $d_1 = 0.2 \text{ mm}$ und einer relativen Permittivität $\epsilon_1 = 2$ eingefügt. Der Längenaufnehmer arbeite im Medium Luft ($\epsilon_2 = 1$).

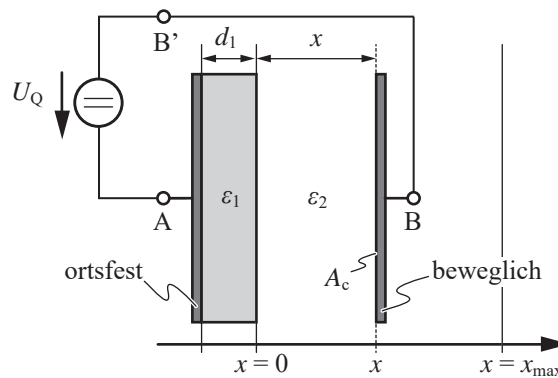


Fig. 1: Kapazitiver Längenaufnehmer.

Zur Vereinfachung wird zwischen den Metallplatten ein x -gerichtetes elektrisches Feld angenommen. Randeffekte sind zu vernachlässigen. ($\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$)

- Berechnen Sie algebraisch die zwischen den Metallplatten resultierenden elektrischen Flussdichten $\vec{D}_1(x)$ und $\vec{D}_2(x)$ sowie die elektrischen Feldstärken $\vec{E}_1(x)$ und $\vec{E}_2(x)$ in Abhängigkeit der auf den Platten befindlichen Ladung Q und der Position x . In welche Richtung weisen die elektrischen Flussdichten bzw. Feldstärken?
(5 Pkt.)
- Bestimmen Sie algebraisch die Kapazität $C(x)$ des Längenaufnehmers. Wie gross sind die Teilkapazitäten der einzelnen Medien und mit welcher Ersatzschaltung kann die Kapazität $C(x)$ durch diese beschrieben werden?
(8 Pkt.)

Der bewegliche Teil des Längenaufnehmers werde nun bei $x = 1 \text{ mm}$ befestigt. Danach wird in dieser Position das Leitungsstück zwischen B und B' entfernt. (Leerlauf der Anordnung)

- Wie gross ist die zu diesem Zeitpunkt auf den Platten befindliche Ladung Q ? Wie ändert sich nun (qualitativ) die Ladung Q und die Spannung U_{AB} zwischen den Metallplatten, wenn der Längenaufnehmer nun mit unterbrochener Leitung (zwischen B und B') von $x = 1 \text{ mm}$ nach $x = 0$ zurückgefahren wird?
(7 Pkt.)
- Welche Energie ist zum Zeitpunkt des Leitungsbruchs ($x = 1 \text{ mm}$), d.h. dem Entfernen des Leitungsstücks zwischen B und B', im Längenaufnehmer gespeichert? Welcher Anteil (in Prozent) dieser Energie ist nach dem Zurückfahren des Längenaufnehmers bei $x = 0$ noch vorhanden?
(5 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-3: Dehnmessstreifen

20 Punkte

Dehnmessstreifen werden zur Messung von Kräften oder Gewichten eingesetzt. Wie in **Fig. 3(a)** gezeigt, sind dabei zwei Dehnmessstreifen auf ein Werkstück aufgebracht, die bei anliegender Kraft F gestreckt bzw. gestaucht werden ($k = \frac{F}{\Delta l} = 50 \text{ N/mm}$). Der Dehnmessstreifen, bestehend aus einem Material mit spezifischem Widerstand $\rho = 4 \cdot 10^4 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, hat die Breite $b = 8 \text{ mm}$, die Dicke $h = 80 \text{ } \mu\text{m}$ und die Länge l_0 , wenn keine Kraft F am Werkstück anliegt. Die Querschnittsfläche der Dehnmessstreifen kann bei Streckung und Stauchung als konstant angenommen werden. Die Dehnmessstreifen werden wie in **Fig. 3(b)** in einer Brückenschaltung angeschlossen.

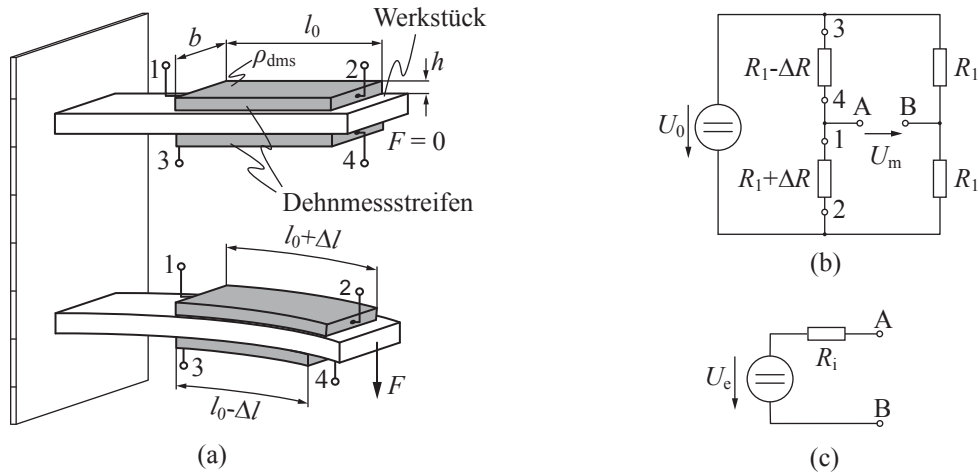


Fig. 3: (a) Aufbau und Prinzip der Dehnmessstreifen. (b) Beschaltung der Dehnmessstreifen. (c) Ersatzspannungsquelle mit Innenwiderstand.

- Wie lang muss der Dehnmessstreifen sein, sodass er ohne Krafteinwirkung ($F = 0$) den Widerstand $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ aufweist? Berechnen Sie die Länge l_0 algebraisch und numerisch. (5 Pkt.)
- Ermitteln Sie den algebraischen Zusammenhang zwischen der einwirkenden Kraft F und der Widerstandsänderung ΔR des Dehnmessstreifens. Bestimmen Sie ausserdem den algebraischen Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Messspannung U_m für die Schaltung in **Fig. 3(b)**. (6 Pkt.)
- Berechnen Sie (algebraisch und numerisch) die Spannung U_0 so, dass eine Messspannung von $U_m = 1 \text{ V}$ auftritt, wenn ein Gewicht der Masse 10 kg an das Werkstück anhängt wird ($g = 10 \text{ m/s}^2$). (3 Pkt.)
- Bestimmen Sie den Innenwiderstand R_i und die Ersatzspannungsquelle U_e des in **Fig. 3(c)** gezeigten Ersatzschaltbildes bezüglich der Klemmen A und B für den Fall, dass eine Masse von 10 kg am Werkstück anhängt ist ($g = 10 \text{ m/s}^2$). (6 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-1: Kugelkondensator

25 Punkte

Gegeben ist ein Kugelkondensator gemäss **Fig. 1.1** bestehend aus drei konzentrischen, dünnwandigen Metallkugeln. Die Abmessungen der Kugeln sind mit den Radien r_1 , r_2 und r_3 definiert. Der Bereich zwischen Kugel 1 und 2 ist mit einem Dielektrikum mit relativer Dielektrizitätskonstante ϵ_{ra} gefüllt, im Bereich zwischen Kugel 2 und 3 befindet sich Luft. Es werde die Spannung U_0 wie eingezeichnet angelegt.

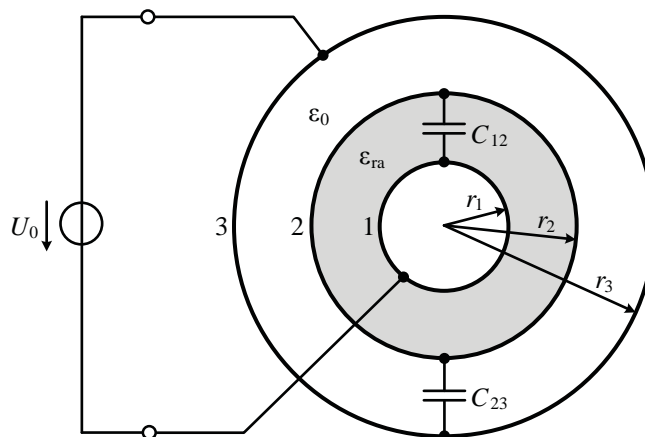


Fig. 1.1: Kugelkondensator mit unterschiedlichen Dielektrika.

- Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild der Anordnung. Geben Sie den Ausdruck für die Teilkapazitäten C_{12} und C_{23} sowie die Gesamtkapazität C_{13} der Anordnung an.
(5 Pkt.)
- Geben Sie die Ladungen Q_1 und Q_3 auf den Kugeln 1 und 3 an. Wie gross ist die totale Ladung Q_2 auf Kugel 2?
(6 Pkt.)
- Berechnen Sie stückweise die ortsabhängige elektrische Flussdichte $\vec{D}(r)$ in Abhängigkeit der angelegten Spannung U_0 für alle Bereiche des Kondensators sowie für Innen- und Aussenraum.
(8 Pkt.)
- Berechnen Sie das ortsabhängige elektrische Feld $\vec{E}(r)$ in Abhängigkeit der angelegten Spannung U_0 für alle Bereiche des Kondensators sowie für Innen- und Aussenraum.
(6 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-2: Strommessung mit koaxialem Messwiderstand

20 Punkte

Gegeben ist der in **Fig. 2** dargestellte Messwiderstand, welcher zur niederinduktiven Strommessung eingesetzt werden kann. Gemessen wird die Spannung U_{AB} zwischen den Abgriffen A und B am Übergang von einem Innenleiter mit Durchmesser $D_{\text{Innen}} = 5 \text{ mm}$ auf einen zylindrischen Aussenleiter mit Innendurchmesser $D_{\text{Aussen}} = 2 \text{ cm}$. Mit Hilfe des Widerstands kann daraus auf den zu messenden Strom I geschlossen werden. Der Messwiderstand sei eine kreisförmige Scheibe mit der Dicke $d = 3 \text{ mm}$ und der Leitfähigkeit $\kappa_R = 12.0 \cdot 10^3 \text{ S/m}$. Die Leiter werden als ideal elektrisch leitfähig angenommen.

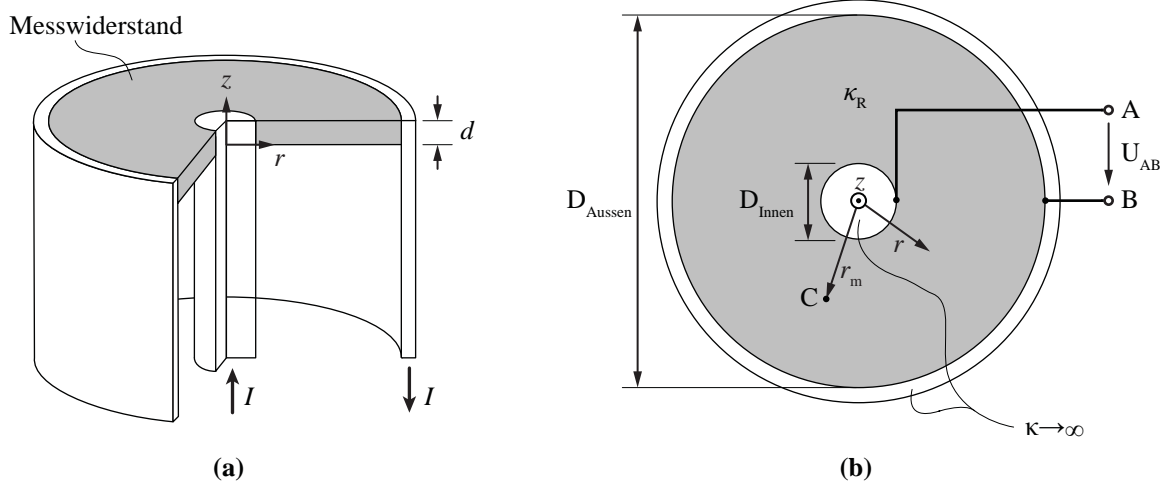


Fig. 2: Strommessung mit koaxialem Messwiderstand: Schnittzeichnung (a) und Draufsicht (b).

- Berechnen Sie algebraisch die im Messwiderstand vorliegende Stromdichte $J(r)$ für einen allgemeinen Strom I . Die Stromdichte kann über der Dicke d als konstant angenommen werden. (3 Pkt.)
- Berechnen Sie algebraisch das im Messwiderstand vorliegende elektrische Feld $E(r)$. Welche Spannung U_{AB} liegt zwischen den Punkten A und B an (algebraisch)? Wie gross ist der Widerstand R der Scheibe zwischen den Punkten A und B (algebraisch und numerisch)? (6 Pkt.)
- Durch Toleranzen in der Fertigung des Zylinderrohrs kann der Aussendurchmesser D_{Aussen} um bis zu $\Delta D_{\text{Aussen}} = \pm 3 \text{ mm}$ vom vorgesehenen Wert abweichen. Wie gross ist der Widerstand R' bei maximalem Fehler? Berechnen Sie den maximalen absoluten Fehler ΔR im Widerstandswert, welcher aufgrund der Fertigungstoleranzen auftreten kann. (3 Pkt.)
- Wie gross ist der relative Fehler, welcher in der Strommessung durch die Fertigungstoleranzen maximal auftreten kann? (3 Pkt.)
- Bei welchem Radius r_m gilt $U_{AC} = U_{CB} = \frac{U_{AB}}{2}$? Geben Sie das Resultat algebraisch und numerisch an. (5 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-3: Temperaturmessung

20 Punkte

Mit der in **Fig. 3** dargestellten Brückenschaltung soll ein Temperaturmessgerät aufgebaut werden. Zur Anzeige wird ein Spannungsmessinstrument verwendet, das die Brückenspannung U_m abgreift. Für das Spannungsmessinstrument kann ein unendlicher Innenwiderstand angenommen werden. Die Temperaturmessung soll in einem Bereich von -20°C bis 50°C einsetzbar sein. Als Temperatursensor wird ein temperaturabhängiger Widerstand $R(\vartheta)$ eingesetzt, dessen Widerstands Temperatur Kennlinie durch

$$R(\vartheta) = R_0(1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0))$$

mit den Parametern

$$\begin{array}{ll} R_0 = 1\text{ k}\Omega & \text{Widerstand bei } \vartheta_0 \\ \vartheta_0 = 20^\circ\text{C} & \text{Referenztemperatur} \\ \alpha = 5 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1} & \text{Temperaturkoeffizient} \end{array}$$

beschreiben wird. Ausserdem gilt $R_1 = 1\text{ k}\Omega$.

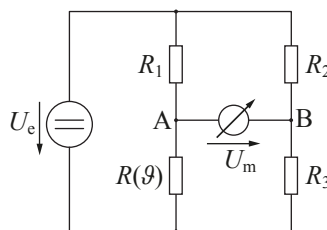


Fig. 3: Brückenschaltung zur Temperaturmessung.

- a) Geben Sie zunächst die Spannung $U_{R\vartheta}$ und die Leistung $P_{R\vartheta}$ am Widerstand $R(\vartheta)$ algebraisch als Funktion von U_e an. Bei welcher Temperatur tritt an $R(\vartheta)$ die höchste Verlustleistung auf und welchen Wert weist $R(\vartheta)$ bei dieser Temperatur auf? Bestimmen Sie die Spannung U_e so, dass die im Messbereich maximal auftretende Verlustleistung am Messwiderstand $R(\vartheta)$ den Wert $P_{\max} = 50\text{ mW}$ erreicht.

(7 Pkt.)

Für alle weiteren Teilaufgaben gelte nun $U_e = 12\text{ V}$.

- b) Das Spannungsmessinstrument soll bei einer Temperatur von $\vartheta_0 = 0^\circ\text{C}$ einen Wert von $U_0 = 0\text{ V}$ anzeigen. Gleichzeitig soll die Verlustleistung der beiden Widerstände R_2 und R_3 zusammen einen Wert von $P_{(R_2, R_3)} = 10\text{ mW}$ nicht überschreiten ($P_{R_2} + P_{R_3} = 10\text{ mW}$). Berechnen Sie R_2 und R_3 .

(6 Pkt.)

Verwenden Sie für die folgende Teilaufgabe $R_2 = 22\,737\,\Omega$ und $R_3 = 20\,463\,\Omega$.

- c) Die Widerstände R_1 , R_2 und R_3 weisen bauartbedingt jeweils eine Toleranz von $\pm 1\%$ auf. Wie gross ist der maximal auftretende Temperaturmessfehler aufgrund dieser Widerstandstoleranz und bei welcher Temperatur tritt dieser auf? Beachten Sie, dass alle Widerstände gleichzeitig Abweichungen aufweisen können.

(7 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-4: Magnetischer Kreis

25 Punkte

Mit Hilfe der in **Fig. 4** gezeigten Anordnung bestehend aus der Wicklung W und dem Kern K soll der Quader Q berührungslos in der Luft in Schwebe gehalten werden. Die Wicklung wird von einem Strom I_S durchflossen und hat die Windungszahl N . Der Kern und der Quader bestehen aus magnetisch ideal leitfähigem Material mit der relativen Permeabilität $\mu_r \rightarrow \infty$. Die magnetische Flussdichte im Kern, im Quader und im Luftspalt zwischen Kern und Quader kann als homogen angenommen werden.

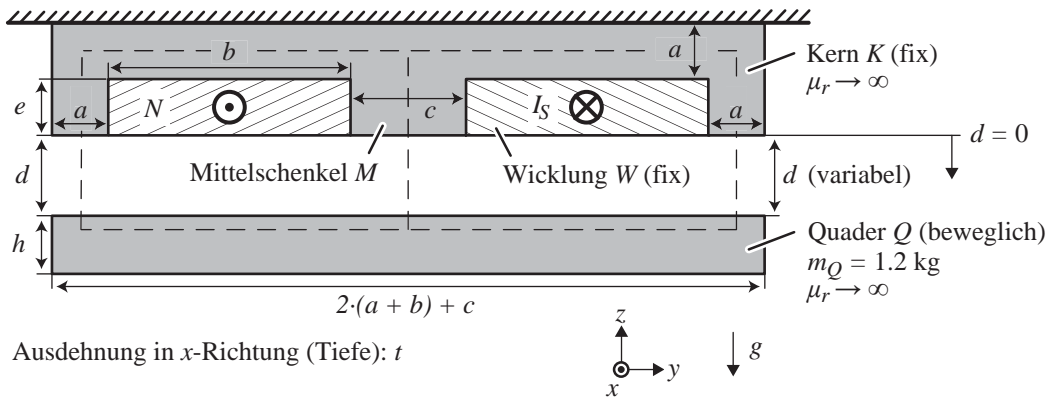


Fig. 4: Aufbau des für die Berechnungen betrachteten magnetischen Kreises.

- Zeichnen Sie das Reluktanzmodell der Anordnung in **Fig. 4** und berechnen Sie die darin vorkommenden magnetischen Widerstände. Berechnen Sie zusätzlich den magnetischen Fluss ϕ_M und die magnetische Flussdichte B_M im Mittelschenkel M . Geben Sie nur algebraische Formeln an und beachten Sie die Kerntiefe t sowie die relative Permeabilität des Kerns und des Quaders von $\mu_r \rightarrow \infty$.
(10 Pkt.)
- Wie ist die Breite c des Mittelschenkels als Funktion der restlichen Parameter zu wählen, damit der Betrag der magnetischen Flussdichte in allen Schenkeln gleich gross ist?
(4 Pkt.)
- Berechnen Sie die Induktivität L der Anordnung in **Fig. 4** und die darin gespeicherte magnetische Energie w_e als Funktion des Abstandes d zwischen Kern und Quader. Berechnen Sie daraus die Reluktanzkraft $F_{\text{rel}} = -\partial w_e / \partial d$, die auf den Quader wirkt, indem Sie die Energie w_e nach d ableiten.
(7 Pkt.)
- Berechnen Sie den Strom I_S für $N = 100$ so, dass der Quader mit Masse $m_Q = 1.2$ kg für einen Luftspalt von $d = 1$ mm im Gleichgewicht gehalten werden kann. Nehmen Sie hierfür $a = 6$ mm, $c = 10$ mm, $t = 50$ mm und $g = 9.81$ m/s² an. Die Vakuumpermeabilität beträgt $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.
(4 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-1: Kapazitätsberechnung

20 Punkte

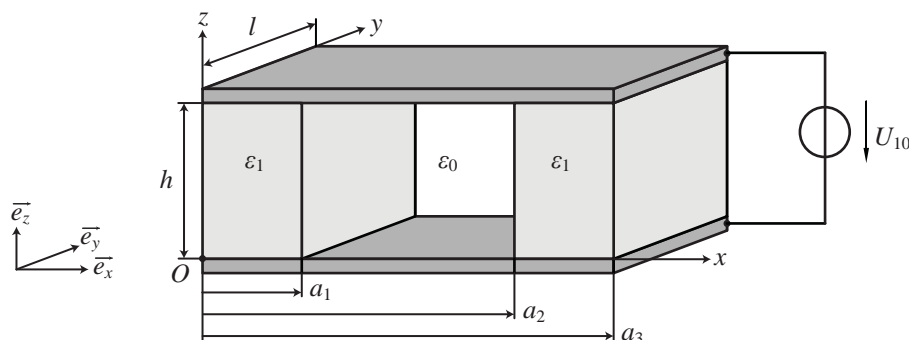


Fig. 1: Anordnung der Metallplatten mit den dielektrischen Blöcken.

Zwischen zwei rechteckigen, parallel im Abstand h angebrachten metallischen Platten, befinden sich zwei Blöcke aus dielektrischem Material mit Dielektrizitätskonstante $\varepsilon_1 > \varepsilon_0$. Der Raum zwischen diesen Blöcken sei mit Luft gefüllt ($\varepsilon = \varepsilon_0$). Die Abmessungen der Anordnung können aus **Fig. 1** entnommen werden.

Zwischen der oberen und der unteren Metallplatte wird die Spannung U_{10} angelegt. Zur Vereinfachung wird innerhalb der Anordnung das homogene z -gerichtete elektrische Feld

$$\begin{cases} \vec{E} = E_1 \vec{e}_z & \text{für } 0 < x < a_1 \text{ und } 0 < y < l \text{ und } 0 < z < h \\ \vec{E} = E_2 \vec{e}_z & \text{für } a_1 < x < a_2 \text{ und } 0 < y < l \text{ und } 0 < z < h \\ \vec{E} = E_3 \vec{e}_z & \text{für } a_2 < x < a_3 \text{ und } 0 < y < l \text{ und } 0 < z < h \end{cases}$$

angenommen. Innerhalb der Metallplatten verschwindet sowohl die elektrische Feldstärke ($\vec{E} = 0$) als auch die elektrische Flussdichte ($\vec{D} = 0$).

- Berechnen Sie das elektrische Feld $\vec{E}(x)$ zwischen den Metallplatten im Bereich $0 < x < a_3$, $0 < y < l$ und $0 < z < h$ in Abhängigkeit der Spannung U_{10} .
(3 Pkt.)
- Berechnen Sie die elektrische Flussdichte $\vec{D}(x)$ zwischen den Metallplatten im Bereich $0 < x < a_3$, $0 < y < l$ und $0 < z < h$ in Abhängigkeit der Spannung U_{10} .
(3 Pkt.)
- Bestimmen Sie die Verteilung der Ladungsdichte $\sigma(x)$ auf der Unterseite der oberen Platte (also bei $z = h$) im Bereich $0 < x < a_3$, $0 < y < l$ und stellen Sie die Ladungsdichte $\sigma(x)$ in Abhängigkeit von x grafisch dar.
(6 Pkt.)
- Berechnen Sie die Ladung Q , die sich auf der gesamten Unterseite der oberen Metallplatte befindet, in Abhängigkeit der Spannung U_{10} . Bestimmen Sie auch die Ladung Q' auf der gesamten Oberseite der unteren Metallplatte in Abhängigkeit der Spannung U_{10} .
(5 Pkt.)
- Bestimmen Sie die Kapazität C dieser Anordnung.
(3 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-2: Brückenschaltung

20 Punkte

Gegeben ist eine DC-Brückenschaltung gemäss **Fig. 2** bestehend aus vier Widerständen $R = 15\ \Omega$, der Spannungsquelle $U = 12\text{ V}$ und der Stromquelle $I = 1\text{ A}$. An den Klemmen A und B der Brückenschaltung kann ein Widerstandsnetzwerk, das aus den beiden Widerständen $R_1 = 390\ \Omega$, $R_2 = 1.2\text{ k}\Omega$ und dem einstellbaren Lastwiderstand R_3 besteht, angeschlossen werden.

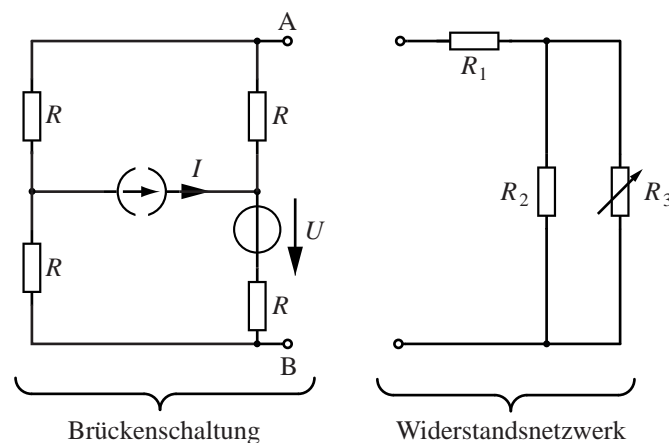


Fig. 2: DC-Brückenschaltung und Widerstandsnetzwerk.

Betrachten Sie für Teilaufgabe a) nur die Brückenschaltung ohne das Widerstandsnetzwerk.

- a) Das Verhalten der Brückenschaltung bezüglich der Klemmen A und B soll durch eine Ersatzspannungsquelle mit der Leerlaufspannung U_{qE} und dem Innenwiderstand R_{iE} modelliert werden. Berechnen Sie zunächst algebraische Ausdrücke für U_{qE} und R_{iE} als Funktion von U , I und R . Geben Sie anschliessend Zahlenwerte für die Leerlaufspannung, den Innenwiderstand, sowie für den Kurzschlussstrom an.

(11 Pkt.)

Berücksichtigen Sie bei den folgenden Teilaufgaben nun das Widerstandsnetzwerk.
Rechnen Sie in den folgenden Teilaufgaben mit $U_{qE} = 5\text{ V}$ und $R_{iE} = 10\ \Omega$.

- b) Berechnen Sie den numerischen Wert des Lastwiderstands R_3 so, dass die in R_3 umgesetzte Leistung maximal wird.
- c) Wie gross ist in diesem Fall die Spannung am Widerstand R_3 und welche Leistung wird von R_3 aufgenommen? Berechnen Sie die numerischen Werte.

(4 Pkt.)

(5 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-4: Magnetischer Kreis

20 Punkte

Gegeben sei die Anordnung einer Induktivität, welche gemäss **Fig. 4** aus einer Wicklung mit Windungszahl N auf einem dreischenkligem Kern besteht. Die Schenkel 1 und 3 des Kerns weisen je einen Luftspalt mit den Spaltbreiten δ_1 bzw. δ_3 auf. Alle Querschnittsflächen des Kerns sind gleich gross und besitzen die Abmessungen $a = 10 \text{ mm}$ und $t = 5 \text{ mm}$ (Tiefe in z Richtung). Sie dürfen in allen Berechnungen von einer relativen Permeabilität $\mu_r \rightarrow \infty$ des Kernmaterials ausgehen.

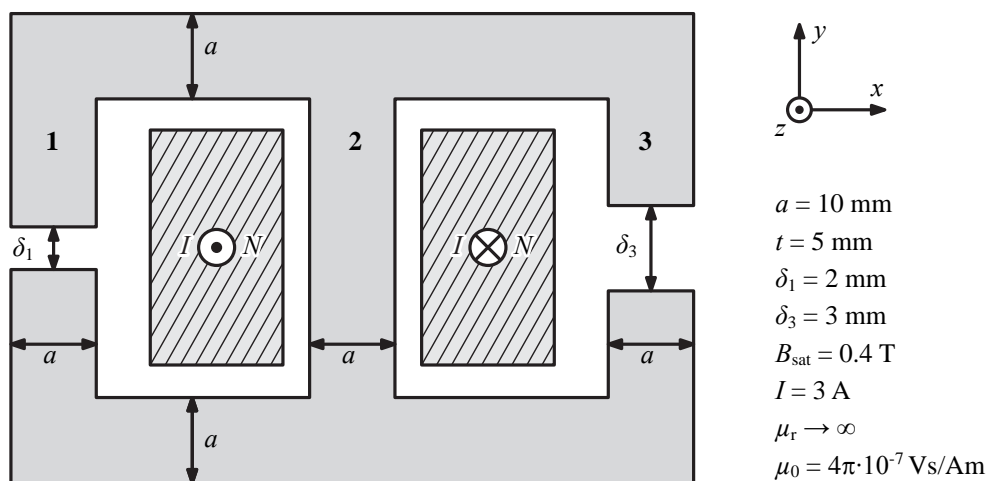


Fig. 4: Wicklung auf dreischenkligem Kern.

- Zeichnen Sie das zugehörige Reluktanzmodell der Anordnung in **Fig. 4** und berechnen Sie die darin enthaltenen magnetischen Widerstände algebraisch und numerisch.
(5 Pkt.)
- Geben Sie algebraisch die magnetische Flussdichte B und die magnetische Feldstärke H in allen Schenkeln und in beiden Luftspalten in Abhängigkeit der Windungszahl N an.
(6 Pkt.)
- Wie gross ist die höchste zulässige Windungszahl N der Induktivität, damit die maximal auftretende magnetische Flussdichte gerade noch unterhalb der Sättigungsgrenze B_{sat} liegt?
(3 Pkt.)

Nehmen Sie für die folgenden Teilaufgaben $N = 100$ an.

- Berechnen Sie die Induktivität L der Anordnung, sowie die darin gespeicherte magnetische Energie W_L .
(3 Pkt.)
- Berechnen Sie die maximal auftretende magnetische Flussdichte, wenn die Spaltbreite δ_1 halbiert wird. Welcher Strom wäre in diesem Fall noch zulässig, damit die maximal auftretende magnetische Flussdichte die Sättigungsgrenze B_{sat} nicht überschreitet?
(3 Pkt.)

Aufgabe Nr.	Thema	Punkte max.	Punkte	Visum 1	Visum 2
NuS I-2	Messpotentiometer	25			
Name:		ETH-Nr.:			

Aufgabe NuS I-2: Messpotentiometer

Ein Potentiometer kann zur Messung der Distanz x benutzt werden. **Fig.2.1a** zeigt den internen Aufbau eines üblichen Linearpotentiometers. Die Widerstandsbahn bestehe aus einem Material mit dem spezifischen Widerstand $\rho = 2 \cdot 10^4 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ und habe einen rechteckförmigen Querschnitt mit der Dicke $d = 0.2 \text{ mm}$ und der Breite $b = 4 \text{ mm}$. Die Länge l betrage 40 mm . Der Widerstand des Schleifers und der Kontaktbahn sei vernachlässigbar klein. Das Potentiometer werde wie in **Fig.2.1b** an eine Spannungsquelle mit Leerlaufspannung U_0 und Innenwiderstand $R_i = 100 \Omega$ angeschlossen. Zusätzlich wird ein Widerstand $R_v = 1 \text{ k}\Omega$ verwendet.

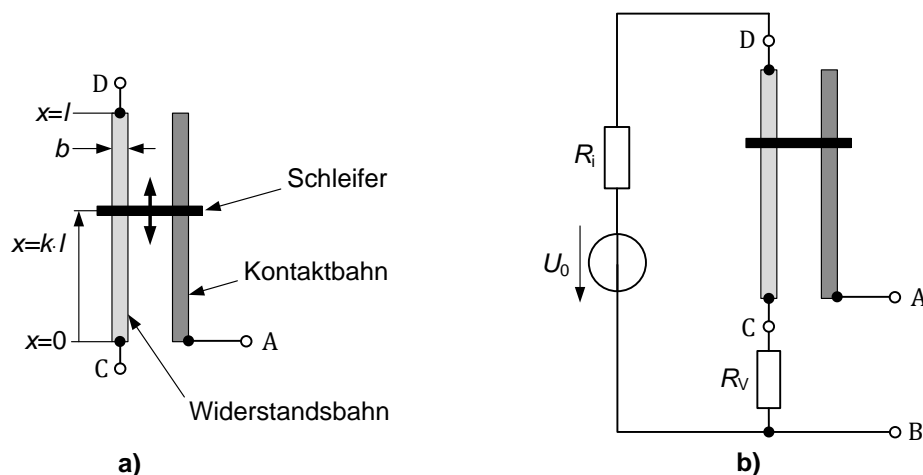


Fig.2.1: a) Geometrie des Potentiometers. b) Beschaltung des Potentiometers.

- a) Zeichnen Sie eine Ersatzschaltung, in der die Teilwiderstände des Potentiometers dargestellt sind. Berechnen Sie allgemein die Gesamtverlustleistung in der Widerstandsbahn. Wie verteilt sich die Verlustleistung auf die Teilwiderstände in Abhängigkeit der Schleiferstellung $k = x/l$? (8 Pkt.)

Die im Potentiometer als Wärme entstehende Verlustleistung P_P wird über die Oberfläche $A = b \cdot l$ der Widerstandsbahn abgeführt. Die zulässige Verlustleistungsdichte P_P/A beträgt 140 W/m^2 .

- b) Die Schaltung soll zur Sicherheit zunächst für einen Wert der Verlustleistungsdichte unterhalb des zulässigen Maximalwerts ausgelegt werden. Berechnen Sie die maximale Spannung U_0 damit für die Widerstandsbahn die Verlustleistungsdichte von 100 W/m^2 eingehalten wird analytisch und numerisch. (6 Pkt.)
- c) Es sei nun eine Last von $5 \text{ k}\Omega$ an den Klemmen A und B angeschlossen und der Schleifer auf $k = x/l = 0.8$ eingestellt. Berechnen Sie die resultierenden Teilwiderstände des Potentiometers anhand des Ersatzschaltbilds nach Teilaufgabe a), die Spannungen über den Teilwiderständen und die Verlustleistungsdichten in den beiden Teilabschnitten der Widerstandsbahn. Ist die maximal zulässige Verlustleistungsdichte von 140 W/m^2 eingehalten? (11 Pkt.)

Name, Vorname:
Matrikel-Nr.:

Aufgabe NUS I-3: Messbereichserweiterung einer Strommessung

20 Punkte

Mittels des in **Fig. 3** gezeigten Strommessgerätes soll der Quellenstrom (Kurzschlussstrom) I_q einer realen Stromquelle ermittelt werden. Damit der Strom durch das interne Messgerät I_{MW} den Wert $I_{MW,max}$ nicht überschreitet, wird die Widerstandskette mit den Widerständen R_1 , R_2 und R_{mwi} eingeführt. Je nach Messbereich MB wird der zu messende Strom I über eine andere Verbindung geleitet.

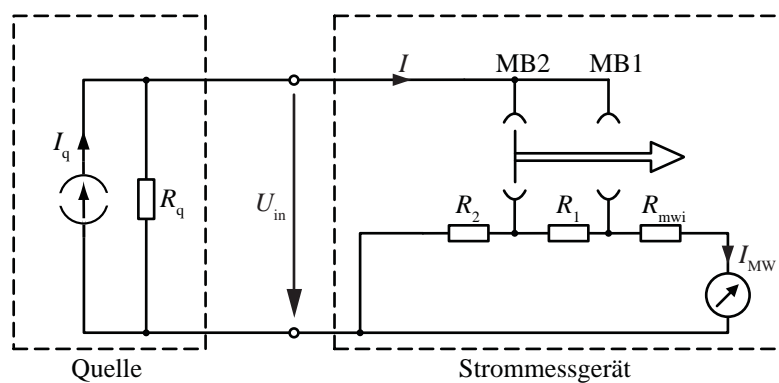


Fig. 3: Netzwerk mit Quelle und Strommessgerät.

Der Wert des Messwiderstands R_{mwi} beträgt $100\ \Omega$. Für die beiden Messbereiche sind die folgenden Ströme zulässig: MB1: $0\text{ A} \leq I \leq 0.50\text{ A}$, MB2: $0\text{ A} \leq I \leq 1.5\text{ A}$.

- Die maximale Leistung, welche am Widerstand R_{mwi} auftreten darf, beträgt $P_{mwi,max} = 8\text{ mW}$. Wie gross ist folglich der maximale Strom $I_{MW,max}$? Berechnen Sie weiter R_1 und R_2 mit Hilfe der vorgegebenen Messbereiche. (6 Pkt.)
- Berechnen Sie die maximalen Leistungen $P_{1,max}$ und $P_{2,max}$, die an den beiden Widerständen R_1 und R_2 auftreten. Wie gross ist die maximale Eingangsspannung U_{in} am Strommessgerät? (5 Pkt.)
- Der zu messende Strom sei $I_q = 200\text{ mA}$ und der Innenwiderstand der Quelle sei $R_q = 120\ \Omega$. Zudem weist das Messgerät eine Anzeigeungenauigkeit von maximal $\pm 0.4\%$ bezogen auf den Strom I auf (d.h. die Messanzeige hat bei MB1 einen Offset von maximal $\pm 2\text{ mA}$ und bei MB2 von maximal $\pm 6\text{ mA}$). Berechnen Sie für beide Messbereiche MB1 und MB2 den (betragsmässig) grösstmöglichen relativen Fehler, welcher sich aus dem Messfehler aufgrund von R_q und der Anzeigeungenauigkeit des Messgerätes zusammensetzt. In welchem Messbereich kann der Quellenstrom im ungünstigsten Fall genauer bestimmt werden? (9 Pkt.)