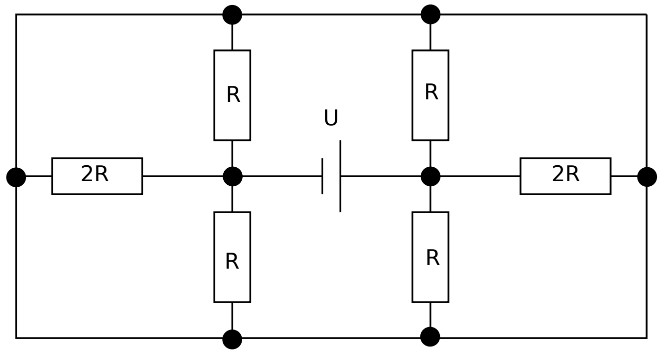
4. Übung zur Physik B2 für Nebenfächler SS 2018

Ausgabe: 03.05.2018
Abgabe: bis 10.05.2018 14:00 Uhr
Briefkästen: 247-249

Prof. Dr. D. Suter

Aufgabe 1: Gleichspannungsnetzwerk

Gegeben sei das folgende Gleichspannungsnetzwerk, welches in der unteren Abbildung dargestellt ist:



a) Bestimmen sie den Strom I, welchen die Quelle abgibt, wenn $R = 125\,\Omega$ und $U = 10\,\mathrm{V}$ gilt.
Tipp: Wie können Sie die drei parallel geschalteten Widerstände links und rechts zusammenfassen?

b) Wie groß ist die abgegebene Gesamtleistung der Quelle?

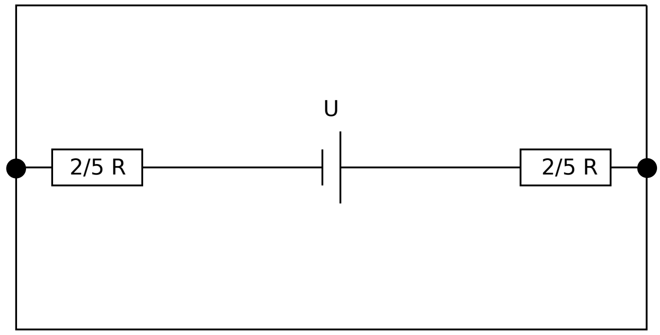
c) Wie groß ist die umgesetzte Leistung an den einzelnen Widerständen?

Lösung:

a) Die 3 parallel geschalteten Widerstände auf der linken bzw. rechten Seite können folgendermaßen zusammengefasst werden:

$$R_\mathrm{l} = R_\mathrm{r} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{2R} + \frac{1}{R}} = \frac{2}{5}R\,.$$

Damit ergibt sich das folgende Ersatzschaltbild, wobei die beiden Widerstände rechts und links in Reihe geschaltet sind.



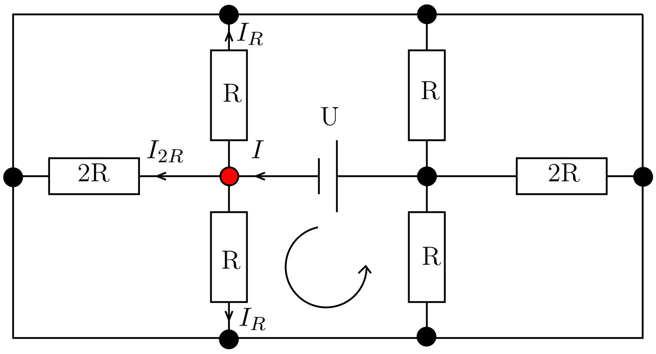
Entsprechend berechnet sich der Strom für die Reihenschaltung zu

$$I = \frac{U}{\frac{2}{5}R + \frac{2}{5}R} = \frac{5}{4}\frac{U}{R} = 0{,}1\,\mathrm{A} = 100\,\mathrm{mA}$$

b) Mit dem Ergebnis aus a) folgt für die Gesamtleistung

$$P = U \cdot I = \frac{5}{4}\frac{U^2}{R} = 1\,\mathrm{W}$$

c) Zunächst kann die Maschenregel für die gezeigte Masche angewendet werden.



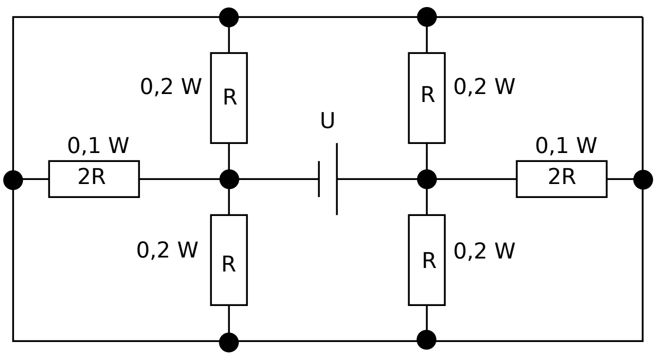
Unter Verwendung des Ohmschen Gesetzes $U = R \cdot I$ ergibt sich für diese Masche

$$U = I_R \cdot R + I_R \cdot R = 2I_R \cdot R \iff I_R = \frac{U}{2R} = 0{,}04\,\mathrm{A} = 40\,\mathrm{mA}.$$

Als nächstes kann mit Hilfe der Knotenregel an dem rot eingezeichneten Knoten der Strom I_{2R} bestimmt werden. Es gilt

$$I = I_{2R} + I_R + I_R \iff I_{2R} = I - 2I_R = 20\,\mathrm{mA}$$

Da die Schaltung symmetrisch ist, sind damit alle notwendigen Größen bekannt um die umgesetzten Leistungen anzugeben



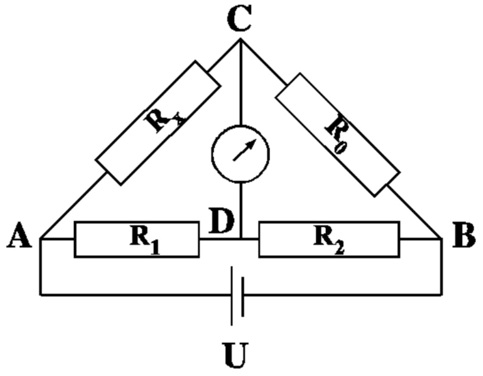
Aufgabe 2: Wheatstone'sche Brückenschaltung

a) Wofür wird die Whetstone'sche Brückenschaltung, dargestellt in der Abbildung unten, benutzt? Wie realisiert man diese?

b) Der Dehnungsfaktor K eines Dehnungsmessstreifens ist definiert als die relative Änderung des Widerstands ($\Delta R/R$) dividiert durch die raltive Längenänderung:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

und bei einer gegebenen Temperatur näherungsweise konstant. Ein Dehnungsmessstreifen mit einem Dehnungsfaktor von $K = 1,8$ ist an einen Muskel von 4,5 mm Länge befestigt. Das Messgerät



ist als der unbekannte Zweig einer Wheatstone'sche Brücke geschaltet. Bei entspanntem Muskel ist die Wheatstone'sche Brücke abgeglichen (es fließt also kein Strom durch das Amperemeter), wenn $R_1/R_2 = 1,48$ und $R_0 = 40{,}7\,\Omega$ gilt. Bei angespanntem Muskel ist sie bei $R_0 = 40{,}736\,\Omega$ abgeglichen. Wie weit hat sich der Muskel gedehnt?

Lösung:

a) Die Whetstone'sche Brückenschaltung wird benutzt um einen unbekannten Widerstand zu bestimmen. Ein Widerstand (hier R_0) wird varriiert, bis das Amperemeter einen Strom $I = 0\,\mathrm{A}$ anzeigt. Sobald der Strom verschwindet sind die Punkte C und D auf einem Potential und es muss gelten: $I_1 = I_2$ und $I_x = I_0$. Daraus folgt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_x}{U_0} \Longrightarrow \frac{R_1 I_1}{R_2 I_2} = \frac{R_x I_x}{R_0 I_0} \Longrightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_0. \tag{1}$$

b) Um zu berechnen wie weit sich der Muskel dehnt, muss die Längenänderung ΔL bestimmt werden:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \Longrightarrow \Delta L = \frac{\Delta R/R}{K} \cdot L. \tag{2}$$

Mit Gleichung (1) kann der Widerstand R_x im entspanntem und angespanntem Zustand des Muskels bestimmt werden:

$$\begin{aligned} R_x^{entsp} &= \frac{R_1}{R_2} \cdot R_0^{entsp} = 1,48 \cdot 40{,}7\,\Omega = 60{,}236\,\Omega \\ R_x^{angesp} &= \frac{R_1}{R_2} \cdot R_0^{angesp} = 1,48 \cdot 40{,}736\,\Omega = 60{,}2893\,\Omega \end{aligned}$$

und daraus die Differenz der Widerstände ΔR:

$$\Delta R = 0{,}0533\,\Omega.$$

Die Längendifferenz ergibt sich mit Gleichung (2) und R_x^{entsp} zu:

$$\Delta L = \frac{0{,}0533\,\Omega}{60{,}236\,\Omega} \cdot \frac{0{,}0045\,\mathrm{m}}{1,8} = 8{,}8485 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m} = 2{,}21\,\mu\mathrm{m}.$$

Aufgabe 3: Dipol im Magnetfeld

a) Für die Magnetfelder H und B gelte der folgende Zusammenhang: $B = \mu_0 H$, mit $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$. Wie lautet die Einheit von μ_0 in SI-Einheiten?

b) Wie groß ist das Magnetfeld B im Inneren einer 30 cm langen, zylinderförmige Spule mit $N = 1000$ Windungen bei einem Strom von $I = 6\,\mathrm{A}$?

c) Wie viel Energie müssen Sie aufwenden, um einen magnetischen Dipol der Größe $\mu = 3\,\mathrm{Am}^2$ welcher parallel zu dem Magnetfeld aus b) ausgerichtet ist, um 30° zu verkippen?

d) Wie groß ist das auf den um 30° verkippten Dipol wirkende Drehmoment?
Hinweis: Es genügt den Betrag zu berechnen.

e) Für das Drehmoment gilt außerdem: $\vec{M} \propto \frac{d\vec{\mu}}{dt}$. Welche Art von Bewegung ergibt sich damit für den Dipol aus Aufgabenteil c)?
Hinweis: Welche Art von Bewegung führt ein Kreisel aus, auf welchen ein nicht verschwindendes Drehmoment wirkt? (vgl. Kap 2.5.8)

f) Aus welchem Grund kommt es dennoch dazu, dass sich beispielsweise eine Kompassnadel in einem homogenen Magnetfeld ausrichtet?
Hinweis: Wieso fällt in der Realität auch ein Kreisel nach einer gewissen Zeit um?

Lösung:

a) Mit den Einheiten für H und B aus der Vorlesung $\left([H] = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}} \text{ und } [B] = \frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2}\right)$ ergibt sich für μ_0:

$$[\mu_0] = \frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{mA}}\,.$$

b) Für das Magnetfeld im Inneren einer langen Spule gilt:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{6\,\mathrm{A} \cdot 1000}{0{,}3\,\mathrm{m}} = 20000\,\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}.$$

Damit folgt für B

$$B = \mu_0 H \approx 0{,}025\,\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2} = 0{,}025\,\mathrm{T} = 25\,\mathrm{mT}$$

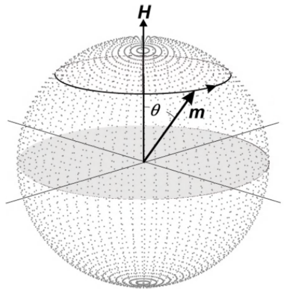
c) Die Energie, die aufgewendet werden muss um den Dipol aus der Gleichgewichtslage zu drehen ergibt sich aus

$$E = E_{pot,2} - E_{pot,1} = -\mu \cdot B\cos(30) + \mu \cdot B\cos(0) \approx 0{,}01\,\mathrm{J} = 10\,\mathrm{mJ}$$

d) Um den Betrag des Drehmoments zu berechnen genügt es den zu $\vec{B}$ senkrechten Anteil von $\vec{\mu}$ zu berücksichtigen.

$$M = \vec{\mu} \times \vec{B} = \sin(30)\,\mu \cdot B = 0{,}0375\,\mathrm{Nm} = 37{,}5\,\mathrm{Nmm}$$

e) Da die zeitliche Änderung des Dipols senkrecht zur momentanen Ausrichtung und dem Magnetfeld steht, ergibt sich analog zum Kreisel im Schwerefeld eine Präzessionsbewegung. Die Bewegung ist in der folgenden Abbildung dargestellt, wobei $\vec{m} = \vec{\mu}$ ist.



f) Durch Reibungskräfte büßt ein Kreisel ständig einen Teil seiner kinetischen Energie ein und fällt schlussendlich um. Ebenso verliert auch ein präzedierender Dipol, auf Grund von Reibung ständig einen Teil seiner Energie. Als Folge dessen wird die potentielle magnetische Energie immer geringer bis sie ihr Minimum erreicht. Dieses Minimum entspricht der parallelen Ausrichtung von Dipol und Magnetfeld. Es ergibt sich die unten dargestellte spiralförmige Bewegung.