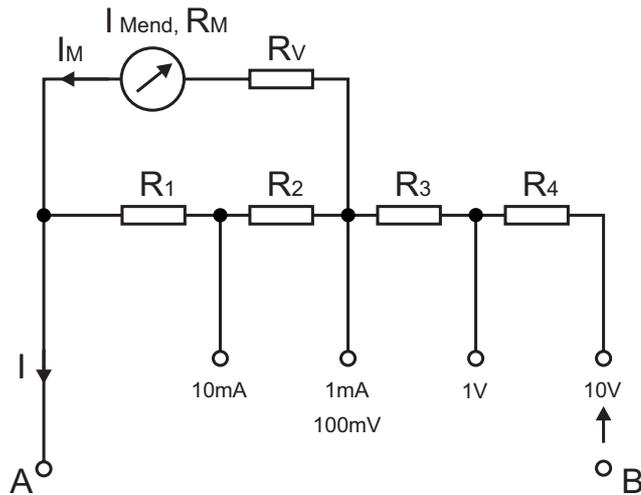


Beispielsammlung Messtechnik 376.045

ACIN

30. Juni 2020

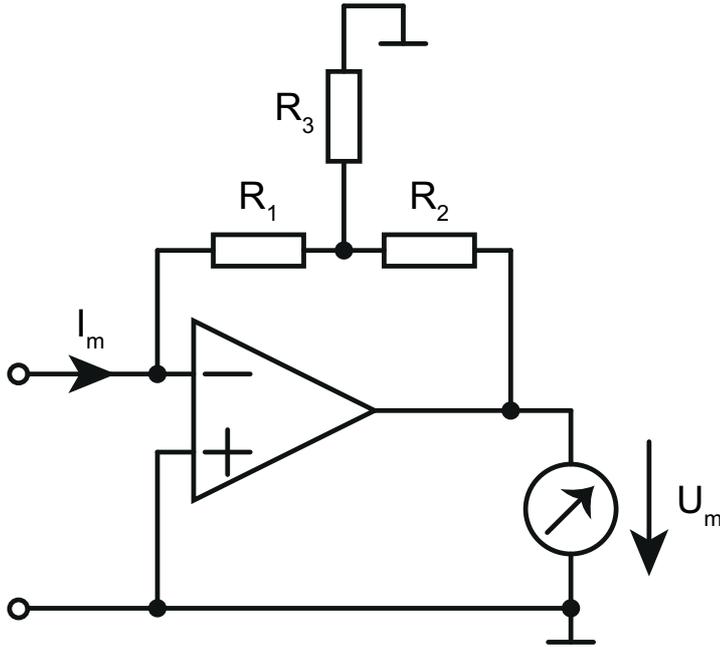
1. Dimensionierung Strom-/Spannungsmessgerät



Ein kombiniertes Strom-/Spannungsmessgerät soll für die angegebenen Messbereiche dimensioniert werden. Anschluss A ist fix, Anschluss B variabel (wird entsprechend dem gewählten Messbereich verschoben). Für die Anzeige wird ein Drehspulinstrument verwendet, das einen Eingangswiderstand $R_M = 200 \Omega$ und einen Strom bei Endausschlag von $I_{Mend} = 0.1 \text{ mA}$ aufweist.

- Berechnen Sie R_V nach Betrag und Leistung (Belastbarkeit). [5 Punkte]
- Dimensionieren Sie R_1 bis R_4 für die angegebenen Messbereiche und bestimmen Sie die maximal abfallenden Verlustleistungen. [5 Punkte]
- Welchen Eingangswiderstand R_{e2} hat das Messgerät im 10 mA Bereich? Wie groß ist der Eingangswiderstand R_{Vber} dieses Messgerätes bei einer Spannungsmessung bezogen auf den jeweiligen Messbereich? [5 Punkte]
- Welche Genauigkeitsklasse (k1, k1.5, k3; Anzeigefehler maximal 1/1.5/3% vom Messbereichsendwert) besitzt dieses Messgerät im 10 mA Bereich, wenn die in a) und b) berechneten Widerstände eine Toleranz von 0.5% besitzen? [5 Punkte]

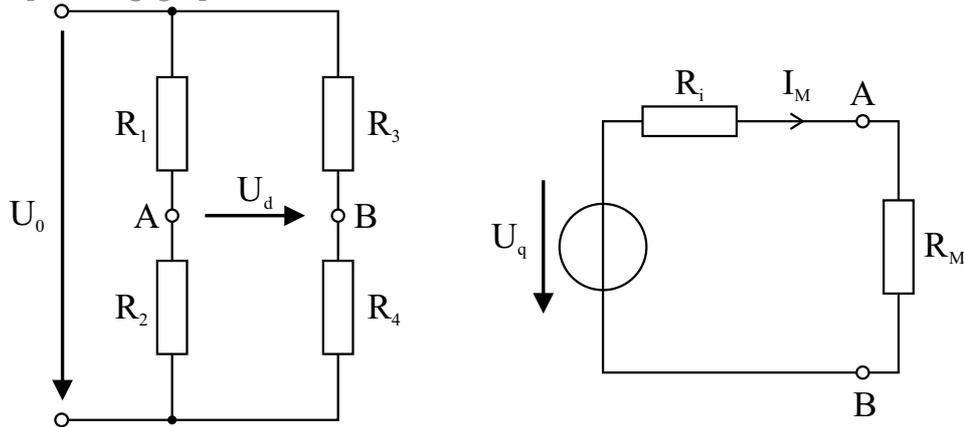
2. Messung kleinster Ströme



Die abgebildete Schaltung dient zur Messung kleinster Ströme bis in den pA-Bereich. Gegeben ist der Messbereich des Stromes mit $I_m = 0 \dots 10 \text{ nA}$ und der Bereich des zur Anzeige genutzten Messwerks mit $U_m = 0 \dots -1 \text{ V}$.

- Bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen dem Messstrom I_m und der Spannung am Messwerk U_m . Berechnen Sie weiters den Widerstandswert für R_3 wenn gilt $R_1 = R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ und der gesamte Bereich des Anzeigeinstruments ausgenutzt werden soll. [5 Punkte]
- Für welchen maximal zulässigen Eingangsstrom des OPVs bleibt die Abweichung der Schaltung bezogen auf den Bereichsendwert unter $|F_{rel}| = 0,1 \%$? [5 Punkte]
- Bestimmen Sie den relativen Fehler in % bezogen auf den Messbereichsendwert wenn der Operationsverstärker eine Eingangsoffsetspannung $U_{eo} = 100 \mu\text{V}$ aufweist. [5 Punkte]
- Berechnen Sie den maximalen relativen Fehler in % bezogen auf den Messbereichsendwert wenn die Widerstände eine Toleranz von $\pm 1 \%$ aufweisen. [5 Punkte]

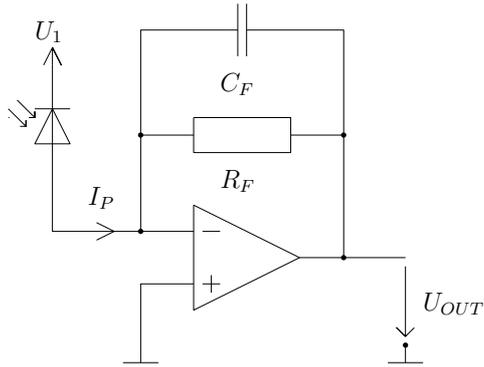
3. Spannungsgespeiste Brücke



Gegeben ist eine spannungsgespeiste DMS-Halbbrücke, wobei $R_1 = R_0 - \Delta R$ und $R_2 = R_0 + \Delta R$ mit $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$ und $R_3 = R_4 = R_0$, und $U_0 = 10 \text{ V}$

- Geben Sie die Formel der Diagonal-Spannung U_d in Abhängigkeit der Widerstandsänderung an und den Zahlenwert für den Fall der nicht verstimten Brücke. [5 Punkte]
- Durch mechanische Beanspruchung haben sich die DMS-Widerstände um $\Delta R = 29 \Omega$ geändert. Berechnen Sie die Diagonal-Spannung U_d der verstimten Brücke. [5 Punkte]
- Berechnen Sie R_i der verstimten Brücke für das Ersatzschaltbild (rechtes Bild). [5 Punkte]
- Berechnen Sie die Diagonal-Spannung für den Fall der belasteten Brücke. Die Diagonal-Spannung wird dabei mit einem Drehspulinstrument-Voltmeter mit einem Innenwiderstand von $R_M = 10 \text{ k}\Omega$ gemessen. Berechnen Sie Diagonal-Spannung U_d für den belasteten Fall und die relative Abweichung zum unbelasteten Fall. [5 Punkte]

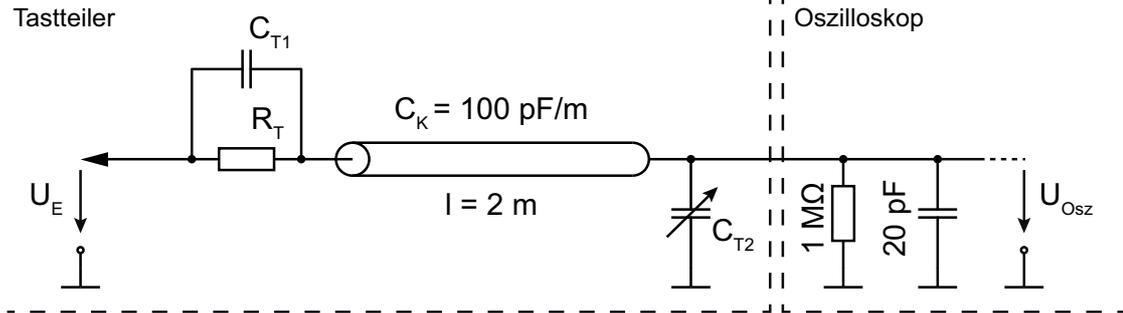
4. Transimpedanzverstärker



Ein Transimpedanzverstärker wird verwendet um den Photostrom I_P einer Photodiode zu verstärken. Die Photodiode hat für die verwendete Wellenlänge von $\lambda = 650 \text{ nm}$ eine Sensitivität von $S = 0.4 \frac{\text{A}}{\text{W}}$. Für eine Sperrspannung von $U_R = 2 \text{ V}$ besitzt die Photodiode eine Kapazität von $C_D = 30 \text{ pF}$ und einen parasitären Widerstand von $R_D = 1 \text{ G}\Omega$. Nehmen Sie einen idealen OPV an.

- Berechnen Sie den Photostrom I_P für eine maximale Strahlungsleistung Φ am Detektor von $1 \mu\text{W}$. [5 Punkte]
- Dimensionieren Sie R_F so, dass U_{OUT} im Bereich $[-0.3, 0] \text{ V}$ liegt. [5 Punkte]
- Bestimmen Sie die Transferfunktion $G(j\omega) = \frac{U_{OUT}(j\omega)}{I_P(j\omega)}$ der Schaltung und dimensionieren Sie C_F um eine -3 dB Bandbreite von 100 kHz zu erreichen. [5 Punkte]
- Über welche Transferfunktion $G_{U_{T,R_F}}(j\omega) = \frac{U_{OUT}(j\omega)}{U_{T,R_F}(j\omega)}$ wirkt das thermische Rauschen von R_F auf den Ausgang? [5 Punkte]

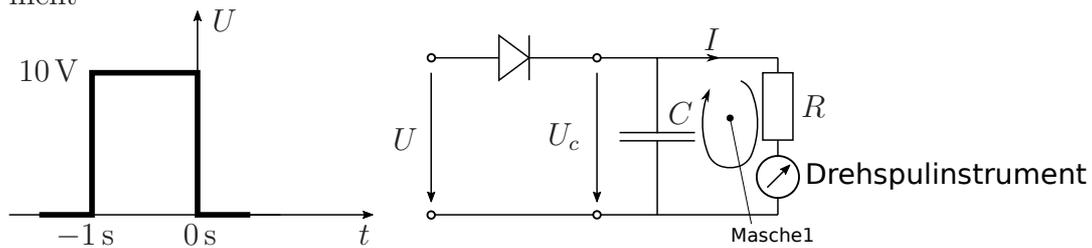
5. Tastteiler



Gegeben ist die dargestellte Ersatzschaltung für einen Tastteiler, der mit einem Kabel der Länge l mit einem Oszilloskop verbunden ist. Die gegebene Kabelkapazität weist eine Unsicherheit von $\pm 5\%$ auf. Die Eingangskapazität des Oszilloskops wird vom Hersteller mit einer Unsicherheit von $\pm 10\%$ angegeben. Die Unsicherheiten aller anderen Komponenten sind vernachlässigbar.

- Berechnen Sie für den dargestellten Tastteiler den Widerstand R_T für ein Teilverhältnis U_E/U_{Osz} von 10:1. [5 Punkte]
- Welchen Kapazitätswert muss C_{T1} mindestens aufweisen um mit dem Trimmkondensator $C_{T2} = [0 \dots \tilde{C}_{T2}]$ die gegebenen Unsicherheiten ausgleichen zu können? [5 Punkte]
- Berechnen Sie den minimalen Wert von \tilde{C}_{T2} um einen Abgleich über den gesamten Unsicherheitsbereich zu ermöglichen. Verwenden Sie C_{T1} , welches Sie in Punkt b) berechnet haben. [5 Punkte]
- Schätzen Sie die Eingangsimpedanz des abgeglichenen Tastteilers für ein sinusförmiges Eingangssignal mit $f = 100 \text{ MHz}$ ab. Nehmen Sie an, dass sich der Trimmkondensator C_{T2} in der Mittelstellung befindet. [5 Punkte]

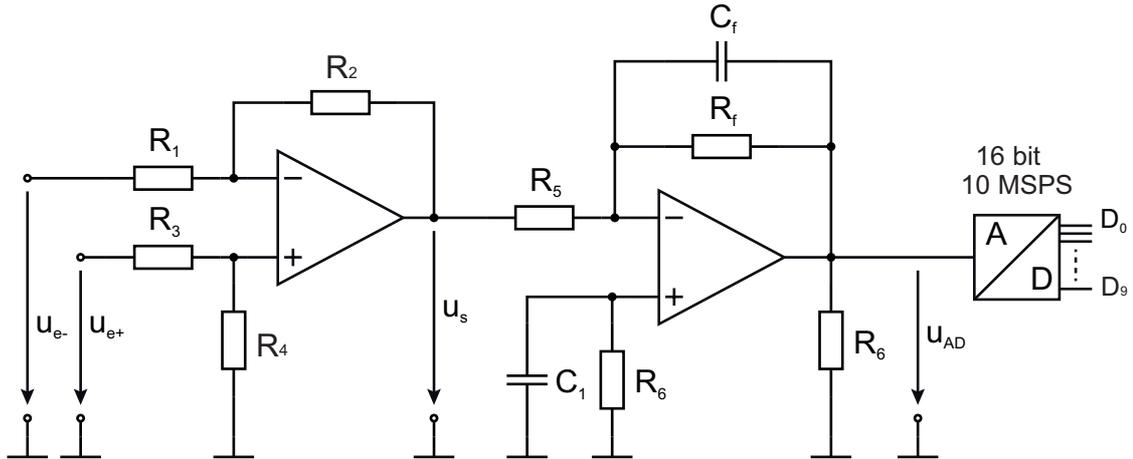
6. Auslegung eines Kondensators zur Spannungsmessung mit einem Drehspulinstrument



Die Quelle für die Spannung U , das Drehspulinstrument und die Diode sind als **ideal** anzunehmen (Flussspannung $U_f = 0$ V).

- Welchen Wert hat die Kondensatorspannung $U_c(t)$ in der Zeit $-1 \text{ s} \leq t \leq 0 \text{ s}$? Wie groß muss der Widerstand R mindestens sein, damit der Strom durch das Drehspulinstrument 1 mA nicht übersteigt? [5 Punkte]
- Stellen Sie die Maschengleichung und die Differentialgleichung für die eingezeichnete Masche 1 auf. Ersetzen Sie dafür das Drehspulinstrument mit einem Kurzschluss. [5 Punkte]
- Berechnen und zeichnen Sie allgemein den Zeitverlauf der Kondensatorspannung $U_c(t)$ für $t > 0$. Berechnen Sie außerdem den Wert $U_c(t = RC)$ und zeichnen Sie diesen im Zeitverlauf ein. [5 Punkte]
- Angenommen $R = 10 \text{ k}\Omega$. Wie groß müssen Sie C mindestens wählen, damit sich der Strom $I(t)$ in der Zeit von $0 < t < 10 \text{ ms}$ nicht mehr als 1% ändert? [5 Punkte]

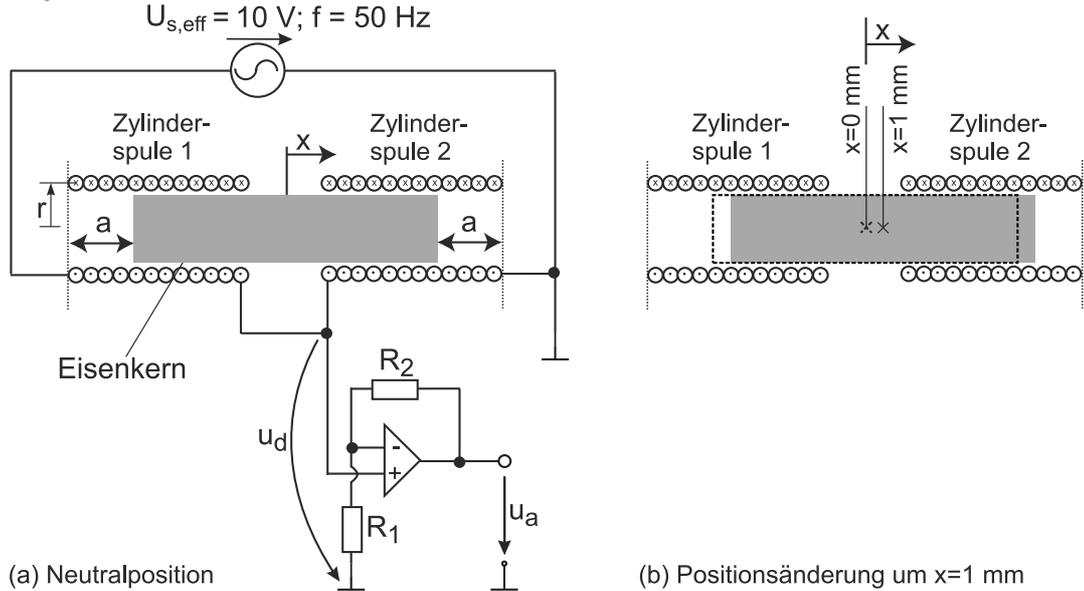
7. Signalkonditionierung für einen Analog-Digital Umsetzer



In der Abbildung ist eine Schaltung zur Signalkonditionierung für einen Analog-Digital Umsetzer (ADU) dargestellt. Der Eingangsspannungsbereich des ADU ist $\pm 5\text{ V}$. Die Operationsverstärker können als ideal vorausgesetzt werden. Es gilt $R_5 = 5\text{ k}\Omega$, $R_6 = R_5 || R_f$, $C_1 = C_f$, $u_{e+} = 200\text{ mV}_{pp} = -u_{e-}$ und $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$.

- Nehmen Sie sinusförmige, gleichphasige Eingangsspannungen an. Berechnen Sie $u_{s,pp}$. [5 Punkte]
- Berechnen Sie R_f , sodass die entstehende Spannung am ADU u_{AD} eine Wandlung mit größtmöglicher Genauigkeit erlaubt (für $U_{s,pp}$ aus Pkt a). [5 Punkte]
- Nehmen Sie an, dass u_{AD} ein sinusförmiges Signal mit einer Frequenz von 1 kHz ist, welches den ADU voll aussteuert. Berechnen Sie näherungsweise die maximale Abweichung des Signalspannungswertes vom digitalisierten Spannungswert ΔU_{max} in Vielfachen von U_{LSB} , die bei der Digitalisierung des Signals innerhalb eines Abtastschrittes entsteht. [5 Punkte]
- Nehmen Sie an, dass $R_f = 1\text{ k}\Omega$ gilt. Dimensionieren Sie den Kondensator C_f für eine -3 dB -Grenzfrequenz des aktiven Filters von $f_g = 100\text{ kHz}$. [5 Punkte]

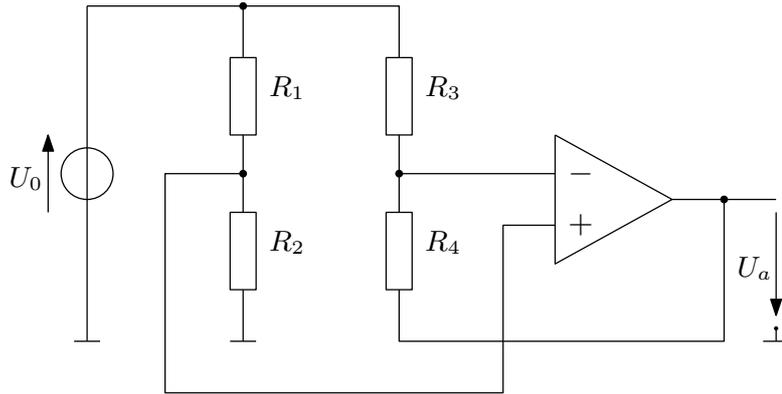
8. Physikalische Sensorik



Dargestellt ist ein induktiver Positionssensor (LVDT), der die Positionsänderung x des Eisenkerns in eine proportionale Spannung u_d wandelt. Die Zylinderspulen haben einen Radius $r = 10 \text{ mm}$ und $N = 100$ Windungen. Bei $x = 0 \text{ mm}$ (Neutralposition) beträgt der Abstand zwischen Eisenkern und Spulenende $a = 5 \text{ mm}$. Für die Berechnung sollen folgenden Annahmen getroffen werden: (i) Die relative Permeabilität des Eisenkerns ist sehr groß ($\mu_r \rightarrow \infty$), (ii) die Spulen sind magnetisch nicht gekoppelt und (iii) Streufflüsse sind vernachlässigbar klein.

- Berechnen Sie den magnetischen Widerstand R_{m1} der Zylinderspule 1 an der Position $x = 0 \text{ mm}$ unter Verwendung der magnetischen Feldkonstante $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$. [5 Punkte]
- Berechnen Sie die Induktivitäten $L_1(x)$ und $L_2(x)$ von Zylinderspule 1 und Zylinderspule 2 an der Position $x = 1 \text{ mm}$. [5 Punkte]
- Berechnen Sie den Effektivwert $U_{d,eff}$ zunächst allgemein in Abhängigkeit der Position x , und anschließend den Zahlenwert von $U_{d,eff}$ an der Position $x = 1 \text{ mm}$. Der Widerstand der Spulen soll hierbei vernachlässigt werden! [5 Punkte]
- Berechnen Sie den Verstärkungsfaktor u_a/u_d für $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, und geben Sie die Sensitivität $S = dU_{a,eff}/dx = \Delta U_{a,eff}/\Delta x$ [V/mm] an. [5 Punkte]

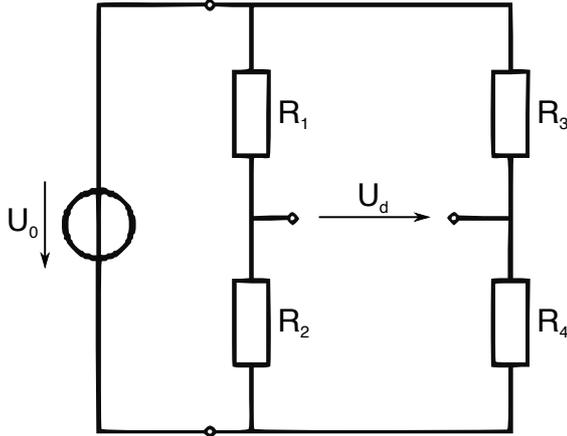
9. Kompensierte Wheatstone-Brücke



Der Operationsverstärker in der dargestellten Schaltung sei als ideal angenommen.

- Berechnen Sie die Spannung U_a als Funktion der Widerstände R_1 bis R_4 , sowie U_0 . [5 Punkte]
- Berechnen Sie unter Annahme $R_1 = R_2$ und $U_0 = 2.5V$ den Widerstand R_3 so, dass sich $\frac{\partial U_a}{\partial R_4} = \nu = \frac{2}{3} \frac{mV}{\Omega}$ ergibt. [5 Punkte]
- Berechnen Sie den Bereich in dem sich der Widerstand R_4 ändern kann um ein Ausgangssignal im Bereich $[0, U_0]$ zu erzeugen. [5 Punkte]
- Berechnen Sie den Fehler von U_a , bezogen auf das maximale Ausgangssignal, für einen Eingangsstrom des Operationsverstärkers (je Eingang, aus den Eingängen fließend) von $1\mu A$. Nehmen Sie dazu $R_1 = R_2 = 10k\Omega$ und $2R_3 = R_4 = 4k\Omega$ an. [5 Punkte]

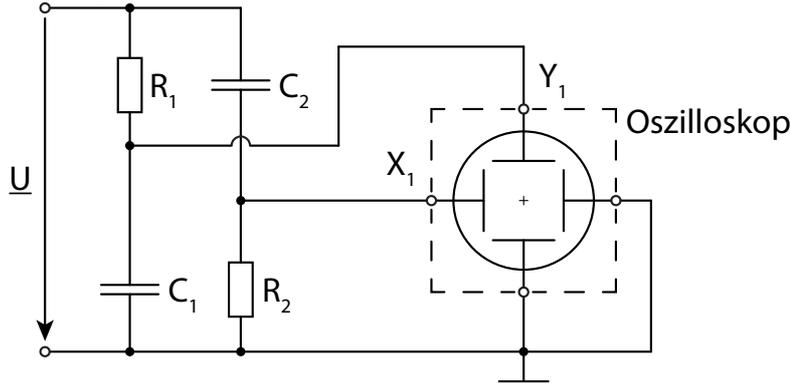
10. Wheatstone-Brücke



Gegeben ist eine Wheatstone-Brücke, bestehend aus den beiden Spannungsteilern R_1 und R_2 , sowie R_3 und R_4 .

- Berechnen Sie allgemein die Diagonalspannung U_d der Brücke. [5 Punkte]
- Der Widerstand R_2 sei ein Sensor, dessen Widerstandsänderung ΔR erfasst werden soll. Zusätzlich habe R_2 einen temperaturbedingten Fehler ΔR_T , sodass sich $R_2 = R_0 + \Delta R + \Delta R_T$ ergibt. Die anderen Brückenwiderstände sind mit R_0 anzunehmen. Berechnen Sie U_d . [6 Punkte]
- Die Abhängigkeit der Diagonalspannung U_d vom Temperaturfehler ΔR_T soll verringert werden. Hierzu steht ein Widerstand mit identischem Temperaturverhalten zur Verfügung: $R_K = R_0 + \Delta R_T$. Setzen Sie R_K an geeigneter Stelle (statt R_1 , R_3 oder R_4) in die Schaltung ein und begründen Sie Ihre Wahl. [3 Punkte]
- Zeigen Sie, wie sich durch den Einsatz von R_K der Einfluss von ΔR_T reduziert. Berechnen Sie hierzu die Empfindlichkeit von U_d gegenüber dem Temperaturfehler bei eingesetztem R_K und nicht eingesetztem R_K . Bilden Sie dann den Quotienten aus den beiden Empfindlichkeiten. [6 Punkte]

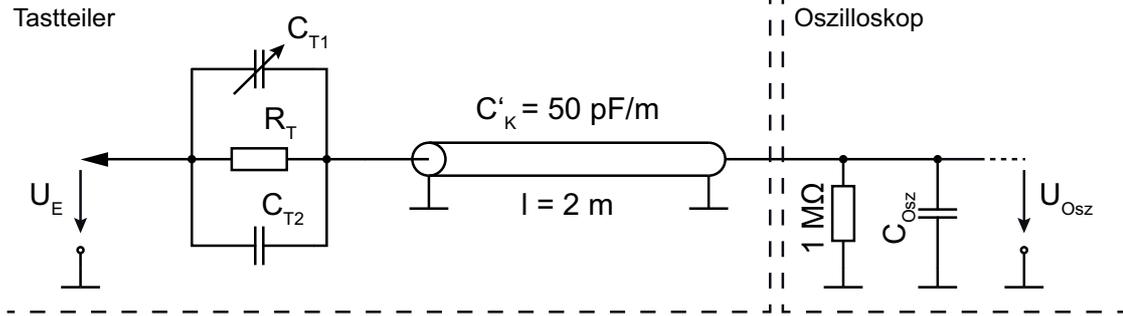
11. Analoges Oszilloskop



Gegeben ist die dargestellte Schaltung mit den idealen Bauteilen $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$. Die Empfindlichkeiten des Oszilloskops in X - und Y -Richtung sind gleich eingestellt. Die speisende Spannungsquelle \underline{U} kann als ideal angenommen werden. Das Oszilloskop wird im $X - Y$ Betrieb verwendet. Die Rückwirkung des Oszilloskops auf die Schaltung kann vernachlässigt werden.

- Die beiden Zweige der Schaltung stellen einen passiven Tief- und Hochpass erster Ordnung dar. Berechnen Sie die Übertragungsfunktion der beiden Filter $G_1(j\omega)$ und $G_2(j\omega)$ und zeichnen Sie die Bode-Diagramme (Betrags- und Frequenzgang). [5 Punkte]
- Bei welcher Frequenz f der sinusförmigen Spannung \underline{U} ergibt sich die Darstellung eines Kreises als Schirmbild? [5 Punkte]
- Welches Bild ergibt sich bei der Frequenz f nach b), wenn anstelle von C_1 eine ideale Induktivität mit $L_1 = 1 \text{ H}$ verwendet wird? Die Ablenkung sei so, dass bei einem Potential $\varphi_{X1} \gg \varphi_0$ der Strahl von der Mitte nach links, bei $\varphi_{Y1} \gg \varphi_0$ von der Mitte nach oben bewegt wird. [5 Punkte]
- Der Widerstandswert von R_1 weiche vom angegebenen Wert ab. Erklären Sie mit Hilfe der Bode-Diagramme aus a) die Auswirkung auf die Phasendifferenz zwischen dem X - und Y -Signal. Welches Bild beobachten Sie nun bei der in b) berechneten Frequenz f auf dem Schirm? [5 Punkte]

12. Tastteiler

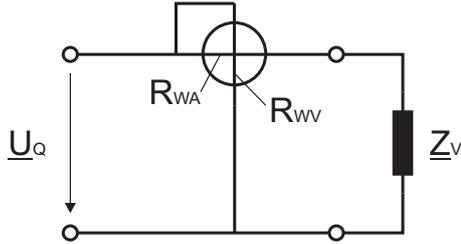


Gegeben ist die dargestellte Ersatzschaltung für einen Tastteiler der mit einem Kabel der Länge l mit einem Oszilloskop (3 GHz Bandbreite) verbunden ist. Die Eingangskapazität C_{Osz} des Oszilloskops wird vom Hersteller mit einem Bereich von $C_{Osz} = 8 \dots 35 \text{ pF}$ spezifiziert.

- Dimensionieren Sie den Widerstand R_T , die Kapazität C_{T2} und den Trimmkondensator $C_{T1} = [0 \dots C_{T1,max}]$ für ein Teilverhältnis $U_e/U_{Osz} = 10 : 1$, um die Kompensation über den gesamten vom Hersteller spezifizierten Bereich der Eingangskapazität zu ermöglichen. Wählen Sie dabei $C_{T1,max}$ so klein wie möglich. [5 Punkte]
- Sie messen an einer hochohmigen Gleichspannungsquelle mit einem Innenwiderstand $R_i = 2 \text{ M}\Omega$. Bestimmen Sie den relativen systematischen Messfehler für die Messung mit und ohne Tastteiler. Hinweis: Berücksichtigen Sie das Teilverhältnis des Tastteilers. [5 Punkte]
- Berechnen Sie die Eingangskapazität des abgeglichenen Tastteilers für $C_{Osz} = 26 \text{ pF}$. [5 Punkte]
- Sie verwenden den abgeglichenen Tastteiler an einem Oszilloskop mit $C_{Osz} = 26 \text{ pF}$. Welche -3 dB Grenzfrequenz ergibt sich bei der Messung an einer Quelle mit einem Innenwiderstand von 50Ω . [5 Punkte]

Beispiele ohne Lösungen

1. Leistungsmessung - Messfehler bei Eigenverbrauch



Mit der abgebildeten Schaltung soll eine Verlustleistungsmessung (Wirkleistungsmessung) an einer verlustbehafteten Induktivität \underline{Z}_V mit $L_V = 220 \text{ mH}$ und $\tan \delta = 0.1$ (bei 50 Hz) durchgeführt werden. Die Eingangsspannung beträgt $\underline{U}_Q = 220 \text{ V}$ mit $f = 50 \text{ Hz}$ und das elektrodynamische Messwerk hat folgenden Daten:

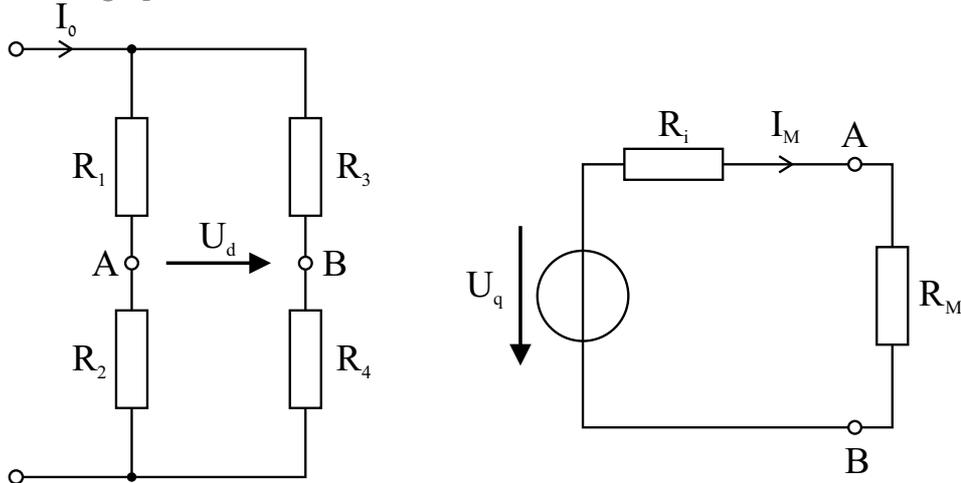
Spannungsspule: $U_{max} = 240 \text{ V}$, $R_{WV} = 100 \text{ k}\Omega$

Stromspule: $I_{max} = 1 \text{ A}$ (dauernd, 4-fach überlastbar), $R_{WA} = 0.1 \Omega$

Bei U_{max} , I_{max} und $\cos \phi_{max} = 1$ tritt Vollausschlag mit $N=100$ Skalenteilen auf.

- Berechnen Sie den Bereichsendwert P_{Wend} und die Wattmeterkonstante C_W (Leistung pro Skalenteil) des Leistungsmessers. [5 Punkte]
- Kann die Verlustleistungsmessung an \underline{Z}_V durchgeführt werden, ohne das Wattmeter zu überlasten? Begründen Sie Ihre Antwort. Wie groß ist der Ausschlag n in Skalenteilen bei dieser Verlustleistungsmessung? Bei der Berechnungen ist der Eigenverbrauch des Messwerkes zu vernachlässigen. [5 Punkte]
- Wie groß ist der relative Messfehler den Sie bei der Messung nach Punkt b) machen, wenn der Eigenverbrauch des Wattmeters berücksichtigt wird und eine stromrichtige Schaltung zur Messung verwendet wird? Der wahre Wert sei die bei Beschaltung mit dem Leistungsmesser tatsächlich in \underline{Z}_V umgesetzte Wirkleistung. [5 Punkte]
- Berechnen Sie den Betrag von \underline{Z}_V , bei dem der Wechsel zwischen strom- und spannungsrichtiger Schaltung erfolgen muss, um den durch den Eigenverbrauch des Messgerätes verursachten relativen Messfehler möglichst klein zu halten. Der wahre Wert sei die bei Beschaltung mit dem Leistungsmesser tatsächlich in \underline{Z}_V umgesetzte Wirkleistung.
Hinweis: Berechnen Sie den relativen Fehler bei spannungsrichtiger Messung und setzen Sie diesen dem relativen Fehler bei stromrichtiger Messung aus c) gleich. [5 Punkte]

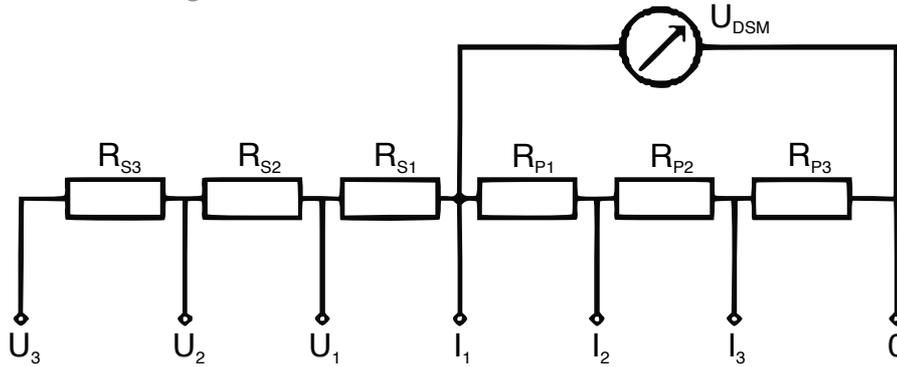
2. Strom-gespeiste Brücke



Gegeben ist eine stromgespeiste Brückenschaltung mit folgenden Werten: $R_1 = R_0 - \Delta R$, $R_2 = R_0 + \Delta R$, $R_0 = 140 \Omega$, $R_3 = R_4 = R_0$ und $I_0 = 10 \text{ mA}$.

- Geben Sie die Formel der Diagonal-Spannung U_d in Abhängigkeit der Widerstandsänderung ΔR an und den Zahlenwert für den Fall der nicht verstimmt (abgeglichen) Brücke. [5 Punkte]
- Durch mechanische Beanspruchung haben sich die DMS-Widerstände um $\Delta R = 2 \Omega$ geändert. Berechnen Sie die Diagonal-Spannung der verstimmt Brücke. [5 Punkte]
- Berechnen Sie allgemein den Innenwiderstand R_i der Brückenschaltung (von den Klemmen A und B aus gesehen) und den Zahlenwert.
Hinweis: Die rechte Seite der Abb. zeigt das Ersatzschaltbild der Brückenschaltung. Das Ersatzschaltbild ist bereits mit einer Belastung durch das Messgerät zwischen den Klemmen A und B dargestellt! [5 Punkte]
- Berechnen Sie die Änderung der Diagonal-Spannung U_d aus Punkt b) für den Fall der belasteten Brücke. Die Diagonal-Spannung wird dabei mit einem Voltmeter mit einem Innenwiderstand von $R_M = 10 \text{ k}\Omega$ gemessen. Berechnen Sie die relative Abweichung zum unbelasteten Fall. [5 Punkte]

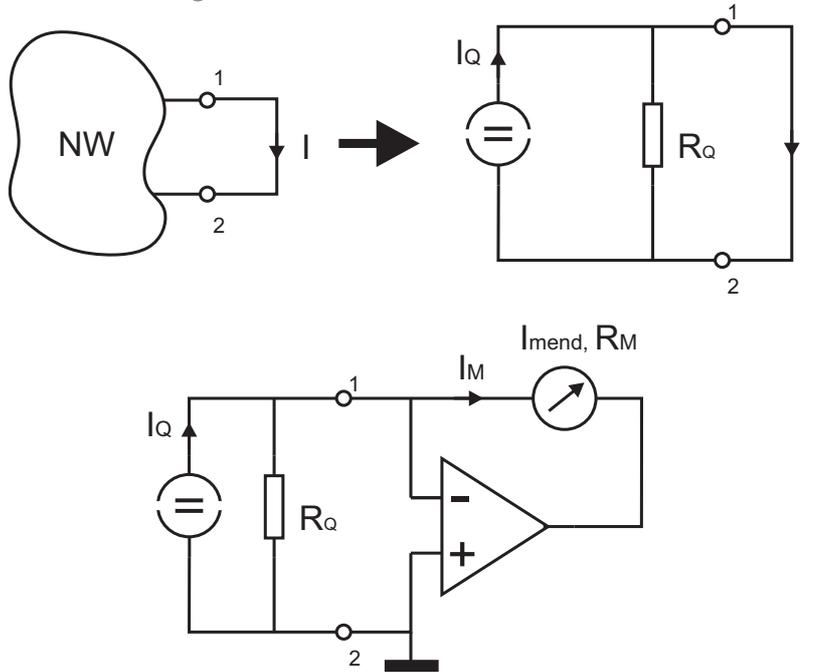
3. Vielfachmessgerät



Gegeben sei das dargestellte Drehspulmesswerk (DSM; $U_{max} = 0.1 \text{ V}$, $R_i = 100 \Omega$). Mit Hilfe der angegebenen Schaltung soll eine Messbereichserweiterung vorgenommen werden. Folgende Messbereiche sollen einstellbar sein: Eingangsspannung: $U_1 = 0.2 \text{ V}$ / $U_2 = 2 \text{ V}$ / $U_3 = 20 \text{ V}$, Eingangsstrom: $I_1 = 2 \text{ mA}$ / $I_2 = 20 \text{ mA}$ / $I_3 = 200 \text{ mA}$.

- Dimensionieren Sie die Widerstände R_{P1} bis R_{P3} so, dass bei den jeweiligen Eingangsströmen I_1 bis I_3 das Drehspulmesswerk vollen Ausschlag zeigt. [6 Punkte]
- Dimensionieren Sie die Widerstände R_{S1} bis R_{S3} so, dass bei den jeweiligen Eingangsspannungen U_1 bis U_3 das Drehspulmesswerk vollen Ausschlag zeigt. [4 Punkte]
- Geben Sie den größten Strommessbereich (I_{max}) als Funktion der Widerstände R_{P1} bis R_{P3} und des Stroms durch das Drehspulmesswerk I_M an. [4 Punkte]
- Die Widerstandswerte seien mit einem relativen Fehler von $f_R = 0.1 \%$ behaftet. Der relative Fehler des Stroms I_M durch das Drehspulmesswerk ist zu $f_I = 1.5 \%$ gegeben. Wie groß ist dann der maximal mögliche Fehler $|\Delta I|$ für den größten Strommessbereich I_{max} ? [6 Punkte]

4. Strommessung mit OPV



An einem nach außen geführten Zweig eines linearen Netzwerkes soll der Strom I gemessen werden. Bei Auftrennung dieses Zweiges lässt sich das lineare Netzwerk in Bezug auf die beiden Klemmen durch eine Ersatzstromquelle (siehe Abb.) darstellen. Die Messung soll nun unter der Verwendung eines Drehspulmesswerks und einer Operationsverstärkerschaltung durchgeführt werden. Nehmen Sie dafür an, dass $I_Q = 10 \text{ mA}$ und $R_Q = 1 \text{ k}\Omega$ betragen.

- Messung von I durch direkte Beschaltung mit einem Drehspulmesswerk welches einen Strom bei Endausschlag von $I_{Mend} = 10 \text{ mA}$ und einen Innenwiderstand $R_M = 100 \Omega$ aufweist. Bestimmen Sie I_M , sowie den relativen Fehler f der Messung. [5 Punkte]
- Messen Sie I unter Verwendung eines als ideal angenommenen Operationsverstärkers entsprechend der gegebenen OPV-Messschaltung (siehe Abb.). Berechnen Sie I_M sowie den relativen Fehler f der Messung. [5 Punkte]
- Messen Sie I entsprechend der gegebenen OPV-Messschaltung (siehe Abb.) unter Verwendung eines realen Operationsverstärkers, dessen Daten bis auf die endliche Verstärkung $V_0 = 1000$ und den Ausgangswiderstand $r_A = 1 \text{ k}\Omega$ ideal sind. Berechnen Sie I_M sowie den relativen Fehler f der Messung. [5 Punkte]
- Wie groß ist der resultierende Widerstand $R_{M,OPV}$ dieser Messschaltung? [5 Punkte]