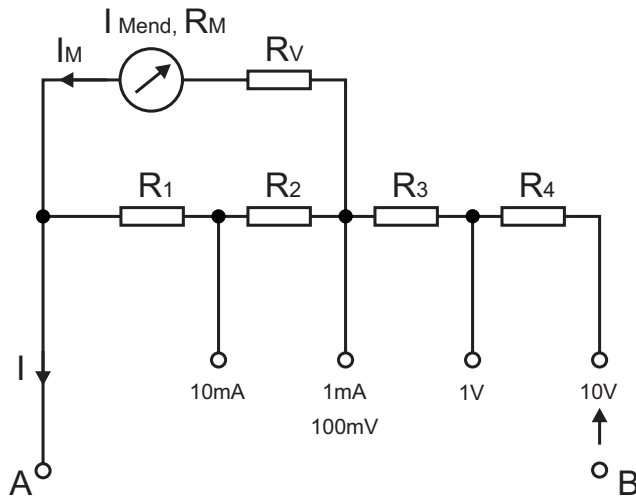


# **Beispielsammlung Messtechnik 376.045 mit Lösungen**

ACIN

30. Juni 2020

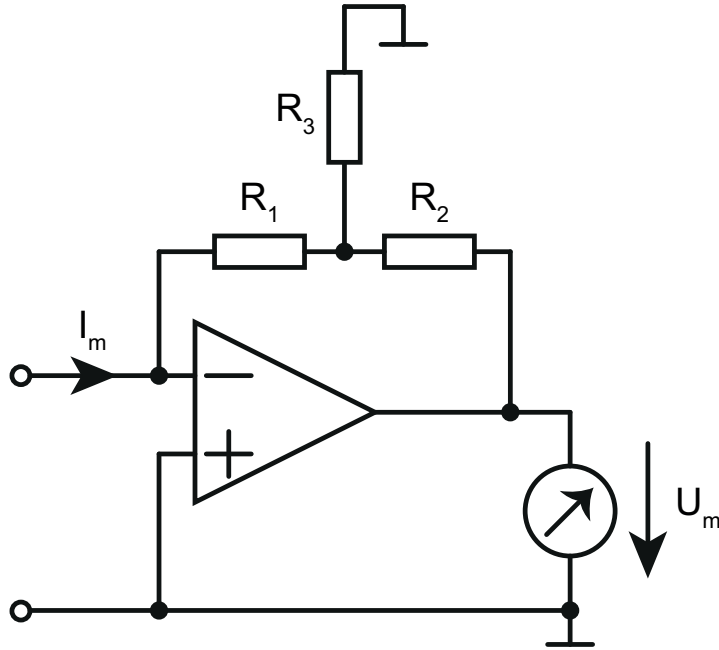
1. Dimensionierung Strom-/Spannungsmessgerät



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]  
**Antwort:**  $R_v = 800 \Omega$ ,  $P_{Rv} = 8 \mu\text{W}$ .
- Dimensionieren Sie  $R_1$  bis  $R_4$  für die angegebenen Messbereiche und bestimmen Sie die maximal abfallenden Verlustleistungen. [5 Punkte]  
**Antwort:**  $R_1 = 11.1 \Omega$ ,  $P_{R1} = 1.09 \text{ mW}$ ,  $R_2 = 100 \Omega$ ,  $P_{R2} = 81 \mu\text{W}$ ,  $R_3 = 900 \Omega$ ,  $P_{R3} = 0.9 \text{ mW}$ ,  $R_4 = 9 \text{ k}\Omega$ ,  $P_{R4} = 9 \text{ mW}$ .
- 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]  
**Antwort:**  $R_{e2} = 11 \Omega$ ,  $R_{Vber} = 1 \text{ k}\Omega/\text{V}$ .
- 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]  
**Antwort:**  $G = 1 \%$ .

## 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  $U_m = 0 \dots -1 \text{ V}$ .

- a) 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]

**Antwort:**  $U_m = -I_m(R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3})$ ,  $R_3 = 100,2 \Omega$

- b) Für welchen maximal zulässigen Eingangsstrom des OPVs bleibt die Abweichung der Schaltung bezogen auf den Bereichsendwert unter  $|F_{rel}| = 0,1 \%$ ? [5 Punkte]

**Antwort:**  $I_{e0,max} = 10 \text{ pA}$

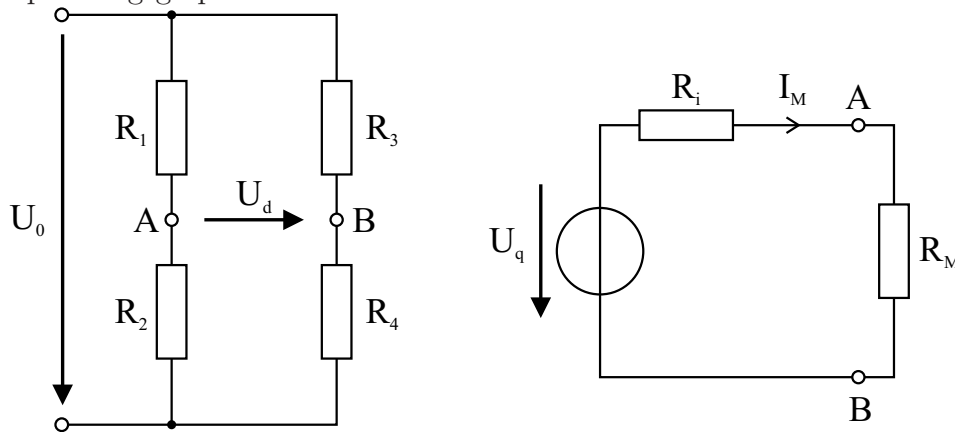
- c) Bestimmen Sie den relativen Fehler in % bezogen auf den Messbereichsendwert wenn der Operationsverstärker eine Eingangsoffsetspannung  $U_{eo} = 100 \mu\text{V}$  aufweist. [5 Punkte]

**Antwort:**  $F = 9,99 \%$

- d) Berechnen Sie den maximalen relativen Fehler in % bezogen auf den Messbereichsendwert wenn die Widerstände eine Toleranz von  $\pm 1 \%$  aufweisen. [5 Punkte]

**Antwort:**  $F = 3 \%$

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  $U_0 = 10 \text{ V}$

- a) 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]

**Antwort:**  $U_d = U_3 - U_1 = U_0 \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} = U_0 \frac{\Delta R}{2R_0} = 0 \text{ V}$

- b) 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]

**Antwort:**  $U_d = U_0 \frac{29 \Omega}{2 \text{ k}\Omega} = 145 \text{ mV}$

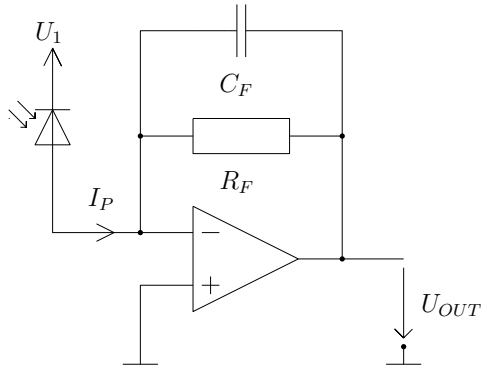
- c) Berechnen Sie  $R_i$  der verstimten Brücke für das Ersatzschaltbild (rechtes Bild). [5 Punkte]

**Antwort:**  $R_i = 999.580 \Omega$

- d) 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]

**Antwort:**  $U_M = 131.8 \text{ mV}$ , Relative Abweichung =  $-9,09\%$

#### 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.

- a) Berechnen Sie den Photostrom  $I_P$  für eine maximale Strahlungsleistung  $\Phi$  am Detektor von  $1 \mu\text{W}$ . [5 Punkte]

**Antwort:**  $I_P = 400 \text{ nA}$

- b) Dimensionieren Sie  $R_F$  so, dass  $U_{OUT}$  im Bereich  $[-0.3, 0] \text{ V}$  liegt. [5 Punkte]

**Antwort:**  $R_F = 750 \text{ k}\Omega$

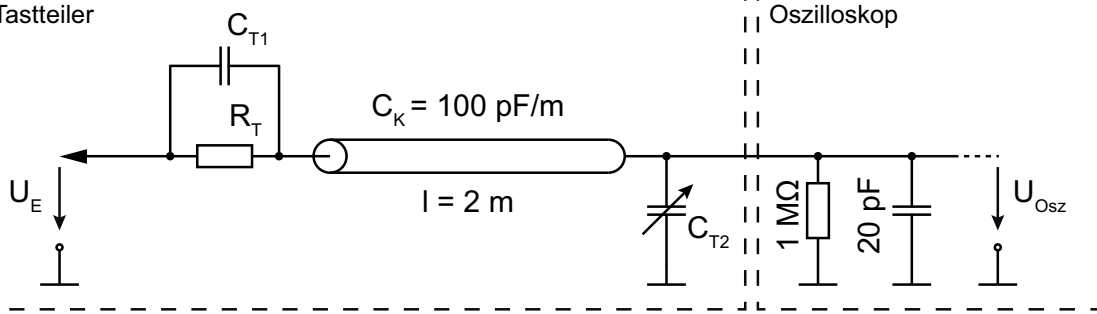
- c) Bestimmen Sie die Transferfunktion  $G(j\omega) = \frac{U_{OUT}(j\omega)}{I_P(j\omega)}$  der Schaltung und dimensionieren Sie  $C_F$  um eine  $-3 \text{ dB}$  Bandbreite von  $100 \text{ kHz}$  zu erreichen. [5 Punkte]

**Antwort:**  $G(j\omega) = \frac{R_F}{1+j\omega R_F C_F}$ ,  $C_F = 2.12 \text{ pF}$

- d) 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]

**Antwort:**  $G_{U_{T,R_F}}(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega R_F C_F}$

5. Tastteiler  
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.

- a) Berechnen Sie für den dargestellten Tastteiler den Widerstand  $R_T$  für ein Teilverhältnis  $U_E/U_{Osz}$  von 10:1. [5 Punkte]

**Antwort:**  $R_T = 9\text{ M}\Omega$

- b) 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]

**Antwort:**  $C_{T1} = 1\text{ M}\Omega / R_T (C'_K \cdot l \cdot 1,05 + 20\text{ pF} \cdot 1,1) = 25,7\text{ pF}$

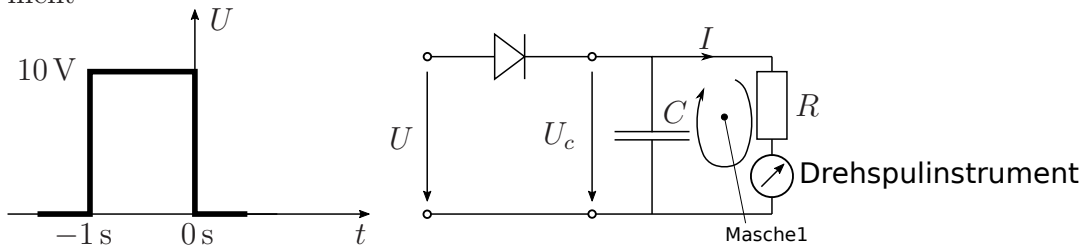
- c) Berechnen Sie den minimalen Wert von  $\tilde{C}_{T2}$  um einen Abgleich über den gesamten Unsicherheitsbereich zu ermöglichen. Verwenden Sie  $C_{T1}$ , welches Sie in Punkt b) berechnet haben. [5 Punkte]

**Antwort:**  $C_{T2} = R_T / R_O \cdot C_{T1} - (C'_K \cdot l \cdot 0,95 + C_O \cdot 0,9) = 23,9\text{ pF}$

- d) 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]

**Antwort:**  $Z_E \approx 68\ \Omega$

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  $U_f = 0\text{ V}$ ).

- a) 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  $1\text{ mA}$  nicht übersteigt? [5 Punkte]

**Antwort:**

$$U_c = 10\text{ V} \quad (0.1)$$

$$R \geq \frac{10\text{ V}}{1\text{ mA}} = 10\text{ k}\Omega \quad (0.2)$$

- b) Stellen Sie die Maschengleichung und die Differentialgleichung für die eingezeichnete Masche 1 auf. Ersetzen Sie dafür das Drehspulinstrument mit einem Kurzschluss. [5 Punkte]

**Antwort:**

$$U_c = Ri_c \quad \Rightarrow \quad U_c = -RC\dot{U}_c \quad (0.3)$$

- c) 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]

**Antwort:** Variante 1 mit Ansatz  $U_c(t) = U_{c,0} e^{\lambda t}$ :

$$U_{c,0} e^{\lambda t} = -U_{c,0} RC\lambda e^{\lambda t} \quad \Rightarrow \quad \lambda = -\frac{1}{RC} \quad (0.4)$$

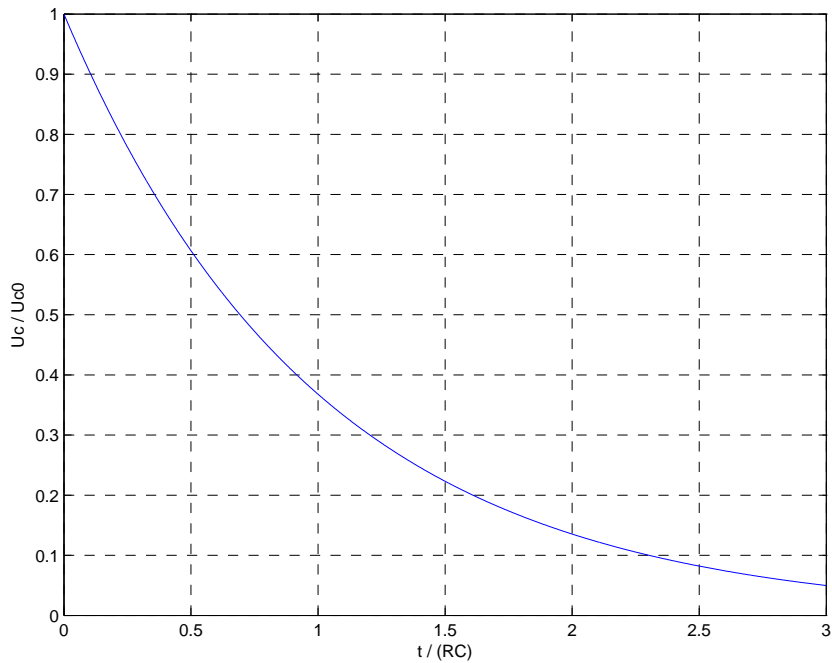
$$U_c(t) = U_{c,0} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (0.5)$$

$$U_c(t = RC) = \frac{U_{c,0}}{e} = 3,679\text{ V} \quad (0.6)$$

Variante 2 mit Laplacetransformation:

$$U_c + RC\dot{U}_c = 0 \quad \Rightarrow \quad U_c + RCsU_c - RCU_{c,0} = 0 \quad (0.7)$$

$$U_c = \frac{1}{1/(RC) + s} U_{c,0} \quad \Rightarrow \quad U_c(t) = U_{c,0} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (0.8)$$



- d) 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]

**Antwort:**

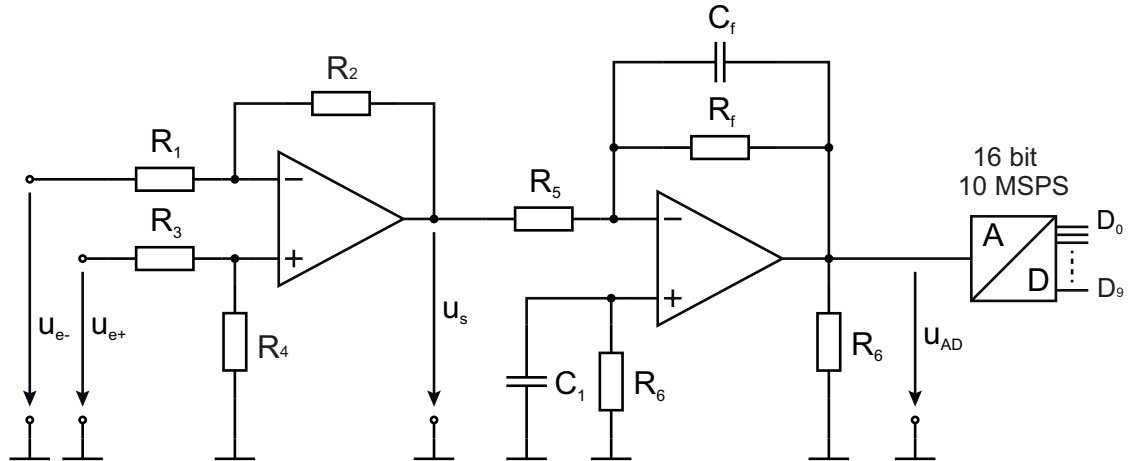
$$e^{-\frac{t}{\tau}} > 1 - 0.01 \quad \Rightarrow \quad -\frac{t}{\tau} > \ln(1 - 0.01) \quad (0.9)$$

$$\Rightarrow \quad \tau > -\frac{10\text{ ms}}{\ln(1 - 0.01)} = 994.992\text{ ms} \quad (0.10)$$

$$\Rightarrow \quad C = \frac{\tau}{R} > 99.5\text{ }\mu\text{F} \quad (0.11)$$



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  $R_5 = 5\text{ k}\Omega$ ,  $R_6 = R_5 || R_f$ ,  $C_1 = C_f$ ,  $u_{e+} = 200\text{ mVpp} = -u_{e-}$  und  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ .

- a) Nehmen Sie sinusförmige, gleichphasige Eingangsspannungen an. Berechnen Sie  $u_{s,pp}$ . [5 Punkte]

**Antwort:**  $U_{s,pp} = +400\text{ mV}$

- b) 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]

**Antwort:**  $R_f = 125\text{ k}\Omega$

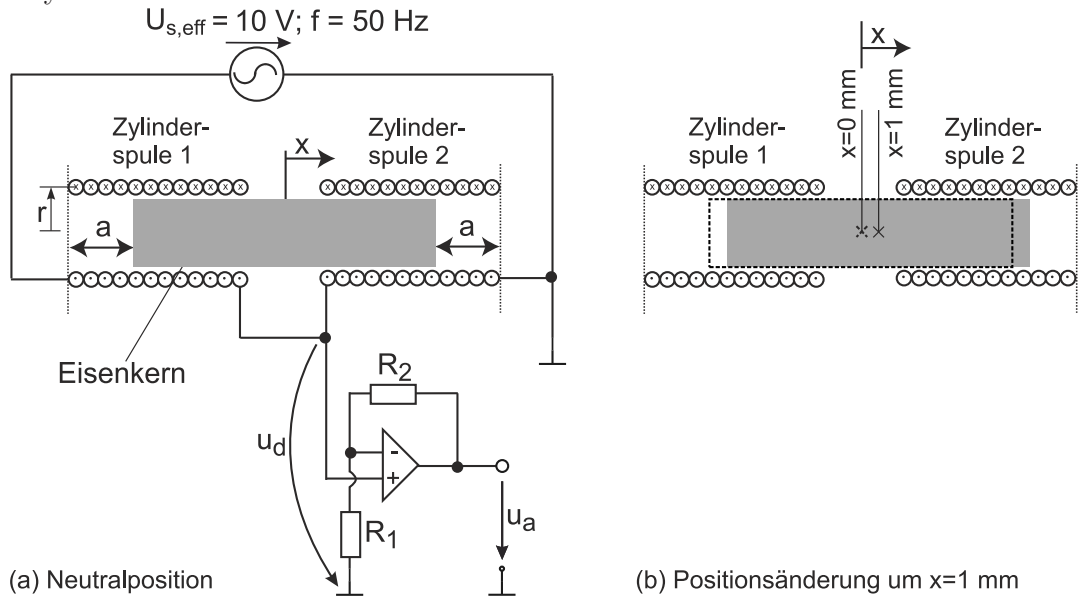
- c) Nehmen Sie an, dass  $u_{AD}$  ein sinusförmiges Signal mit einer Frequenz von  $1\text{ kHz}$  ist, welches den ADU voll aussteuert. Berechnen Sie näherungsweise die maximale Abweichung des Signalspannungswertes vom digitalisierten Spannungswert  $\Delta U_{max}$  in Vielfachen von  $U_{LSB}$ , die bei der Digitalisierung des Signals innerhalb eines Abtastschrittes entsteht. [5 Punkte]

**Antwort:**  $\Delta U_{max} = 20,588 \cdot U_{LSB} = 3,142\text{ mV}$

- d) Nehmen Sie an, dass  $R_f = 1\text{ k}\Omega$  gilt. Dimensionieren Sie den Kondensator  $C_f$  für eine  $-3\text{ dB}$ -Grenzfrequenz des aktiven Filters von  $f_g = 100\text{ kHz}$ . [5 Punkte]

**Antwort:**  $C_f = 1,591\text{ nF}$

8. Physikalische Sensorik



(a) Neutralposition

(b) Positionsänderung um  $x=1$  mm

Dargestellt ist ein induktiver Positionssensor (LVDT), der die Positionsänderung  $x$  des Eisenkerns in eine proportionale Spannung  $u_d$  wandelt. Die Zylinder­spulen haben einen Radius  $r = 10$  mm und  $N = 100$  Windungen. Bei  $x = 0$  mm (Neutralposition) beträgt der Abstand zwischen Eisenkern und Spulen­ende  $a = 5$  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.

- a) Berechnen Sie den magnetischen Widerstand  $R_{m1}$  der Zylinder­spule 1 an der Position  $x = 0$  mm unter Verwendung der magnetischen Feldkonstante  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m. [5 Punkte]

**Antwort:**  $R_{m1} = \frac{a}{r^2 \pi \mu_0} = 1.27 \times 10^7$  A/Wb

- b) Berechnen Sie die Induktivitäten  $L_1(x)$  und  $L_2(x)$  von Zylinder­spule 1 und Zylinder­spule 2 an der Position  $x = 1$  mm. [5 Punkte]

**Antwort:**  $L_1(x) = \frac{N^2 r^2 \pi \mu_0}{a+x} = 6.58 \times 10^{-4}$  H ;  $L_2(x) = \frac{N^2 r^2 \pi \mu_0}{a-x} = 9.87 \times 10^{-4}$  H

- c) 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  $x = 1$  mm. Der Widerstand der Spulen soll hierbei vernachlässigt werden! [5 Punkte]

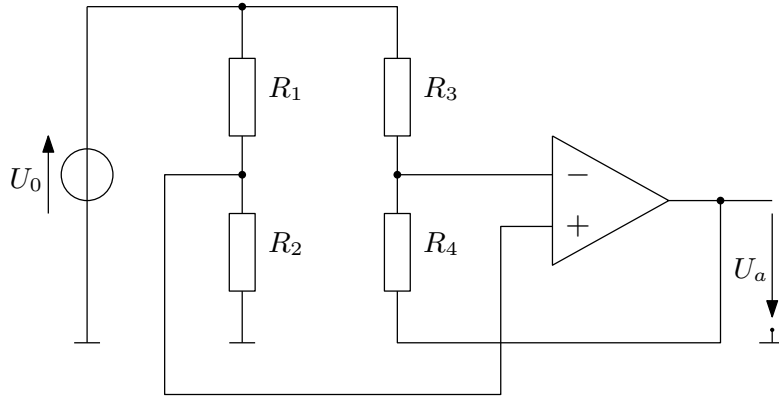
**Antwort:**  $U_{d,eff} = \frac{a+x}{2a} U_{s,eff} = 6$  V

- d) Berechnen Sie den Verstärkungsfaktor  $u_a/u_d$  für  $R_1 = 10$  k $\Omega$  und  $R_2 = 10$  k $\Omega$ , und geben Sie die Sensitivität  $S = dU_{a,eff}/dx = \Delta U_{a,eff}/\Delta x$  [V/mm] an. [5

Punkte]

**Antwort:**  $\frac{u_a}{u_d} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 2$  ;  $\frac{\Delta U_{a,eff}}{\Delta x} = \frac{U_{s,eff}}{a} = 2 \text{ V/mm}$

9. Kompensierte Wheatstone-Brücke



Der Operationsverstärker in der dargestellten Schaltung sei als ideal angenommen.

- a) Berechnen Sie die Spannung  $U_a$  als Funktion der Widerstände  $R_1$  bis  $R_4$ , sowie  $U_0$ . [5 Punkte]

**Antwort:**  $U_a = U_0 \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2) R_3}$

- b) 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]

**Antwort:**  $R_3 = \frac{U_0}{2\nu} = 1.875k\Omega$

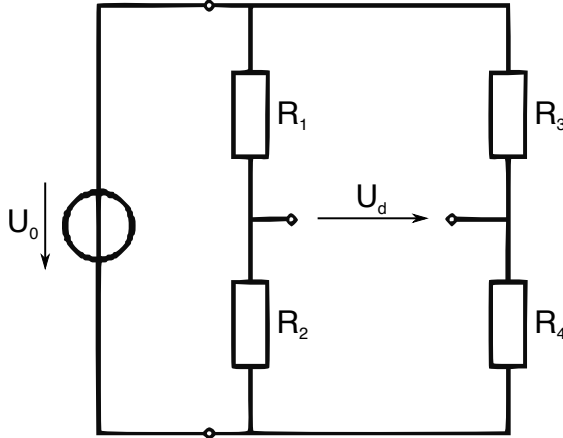
- c) Berechnen Sie den Bereich in dem sich der Widerstand  $R_4$  ändern kann um ein Ausgangssignal im Bereich  $[0, U_0]$  zu erzeugen. [5 Punkte]

**Antwort:**  $R_4 = [R_3, 3R_3]$

- d) 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]

**Antwort:**  $U_{a,I=0} = 1.25V$ ,  $U_{a,I=1\mu A} = 1.261V$ ,  $F = 0.44\%$

10. Wheatstone-Brücke



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

- a) Berechnen Sie allgemein die Diagonalspannung  $U_d$  der Brücke. [5 Punkte]

**Antwort:**  $U_d = \left( \frac{R_2}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4} \right) U_0$

- b) Der Widerstand  $R_2$  sei ein Sensor, dessen Widerstandsänderung  $\Delta R$  erfasst werden soll. Zusätzlich habe  $R_2$  einen temperaturbedingten Fehler  $\Delta R_T$ , so dass 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]

**Antwort:**  $U_d = \frac{U_0}{2} \frac{\Delta R + \Delta R_T}{2R_0 + \Delta R + \Delta R_T}$

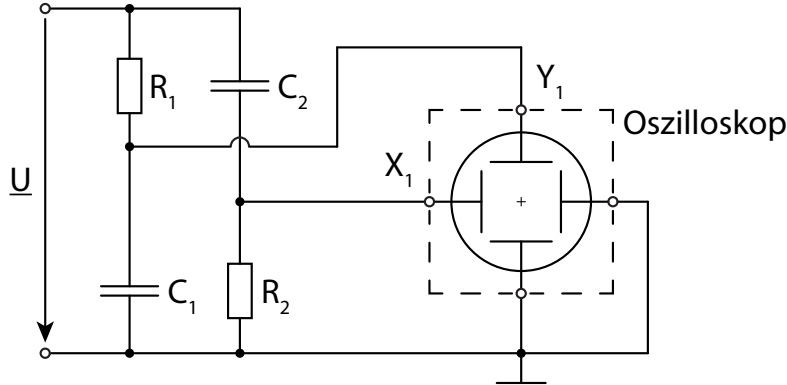
- c) Die Abhängigkeit der Diagonalspannung  $U_d$  vom Temperaturfehler  $\Delta R_T$  soll verringert werden. Hierzu steht ein Widerstand mit identischem Temperaturverhalten zur Verfügung:  $R_K = R_0 + \Delta R_T$ . Setzen Sie  $R_K$  an geeigneter Stelle (statt  $R_1$ ,  $R_3$  oder  $R_4$ ) in die Schaltung ein und begründen Sie Ihre Wahl. [3 Punkte]

**Antwort:**  $R_K$  und  $R_X$  im selben Spannungsteiler, d.h.  $R_1 = R_K$ .

- d) Zeigen Sie, wie sich durch den Einsatz von  $R_K$  der Einfluss von  $\Delta R_T$  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]

**Antwort:**  $\frac{\partial U_{d1}}{\partial \Delta R_T} = \frac{U_0}{2} \frac{2R_0}{(2R_0 + \Delta R + \Delta R_T)^2}$ ,  $\frac{\partial U_{d2}}{\partial \Delta R_T} = \frac{U_0}{2} \frac{-\Delta R}{(2R_0 + \Delta R + \Delta R_T)^2}$ ,  
 $\frac{\partial U_{d2}}{\partial \Delta R_T} / \frac{\partial U_{d1}}{\partial \Delta R_T} = -\frac{\Delta R}{2R_0}$

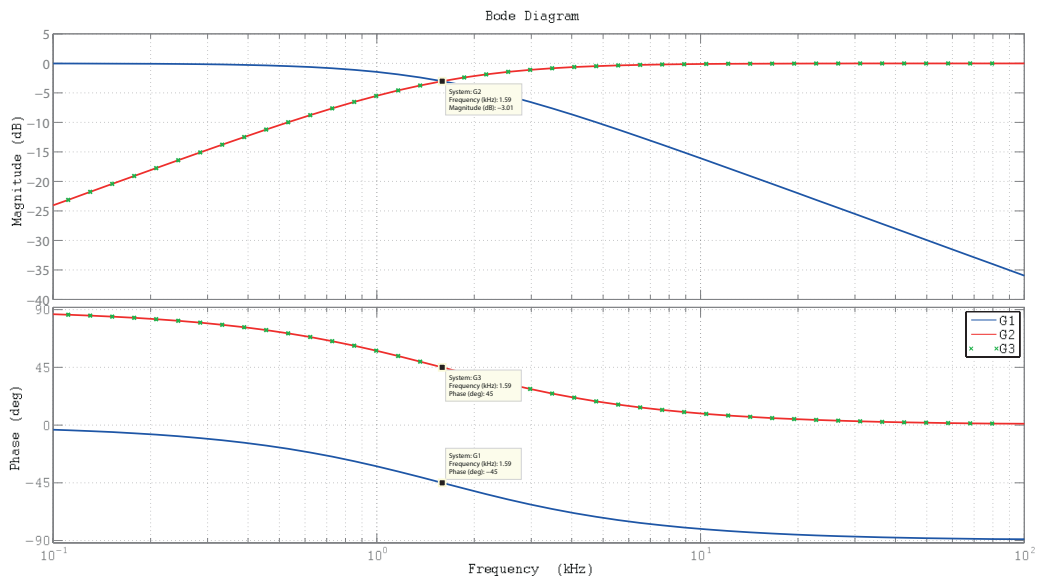
### 11. Analoges Oszilloskop



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.

- a) 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]

**Antwort:**  $G_1(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega R_1 C_1}$ ,  $G_2(j\omega) = \frac{j\omega R_2 C_2}{1+j\omega R_2 C_2}$ ,



- b) Bei welcher Frequenz  $f$  der sinusförmigen Spannung  $\underline{U}$  ergibt sich die Darstellung eines Kreises als Schirmbild? [5 Punkte]

**Antwort:**  $f_{g1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = f_{g2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{5}{\pi} 10^3 \text{ Hz} \approx 1.592 \text{ kHz}$

- c) Welches Bild ergibt sich bei der Frequenz  $f$  nach b), wenn anstelle von  $C_1$  eine ideale Induktivität mit  $L_1 = 1$  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]

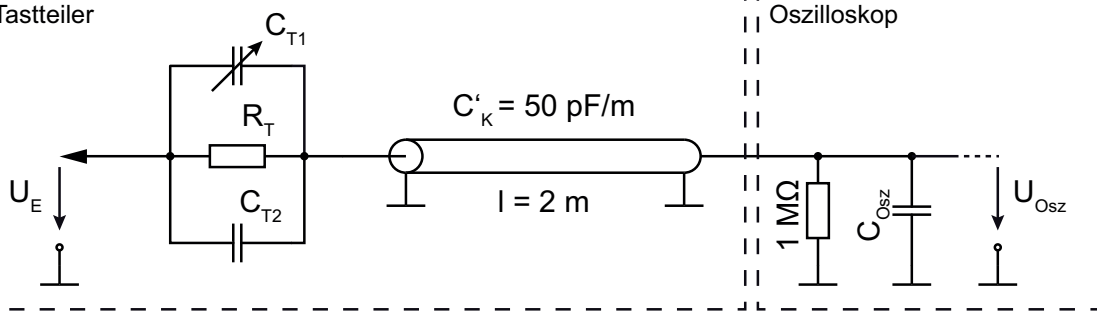
**Antwort:**  $G_3(j\omega) = \frac{1}{R_1^2 + \omega^2 L_1^2} (\omega^2 L_1^2 + j\omega R_1 L_1)$ ,  $f_{g3} = \frac{R_1}{2\pi L_1} = \frac{5}{\pi} 10^3 \text{ Hz} \approx 1.59 \text{ kHz}$

Es ergibt sich eine Gerade mit einem Winkel von  $135^\circ$  zur X-Achse (von links oben nach rechts unten durch den Nullpunkt).

- d) 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]

**Antwort:** Die Knickfrequenz des Tiefpasses wird verschoben, sodass die Phasendifferenz zwischen  $x$ - und  $y$ -Signal von  $90^\circ$  abweicht. Das Schirmbild wird verkippt - man beobachtet eine gedrehte Ellipse statt eines Kreises.

12. Tastteiler  
Tastteiler



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

- a) 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]

**Antwort:**  $R_T = 9\text{M}\Omega$ ,  $C_{T1} = 0 \dots 3\text{pF}$ ,  $C_{T2} = 12\text{pF}$

- b) 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]

**Antwort:**  $-16,6\%$ ,  $-66,6\%$

- c) Berechnen Sie die Eingangskapazität des abgeglichenen Tastteilers für  $C_{Osz} = 26\text{pF}$ . [5 Punkte]

**Antwort:**  $12,6\text{pF}$

- d) Sie verwenden den abgeglichenen Tastteiler an einem Oszilloskop mit  $C_{Osz} = 26\text{pF}$ . Welche  $-3\text{dB}$  Grenzfrequenz ergibt sich bei der Messung an einer Quelle mit einem Innenwiderstand von  $50\Omega$ . [5 Punkte]

**Antwort:**  $252,63\text{MHz}$