

**Univ.Prof. Dr.sc.techn. Georg Schitter**  
**[schitter@acin.tuwien.ac.at](mailto:schitter@acin.tuwien.ac.at)**

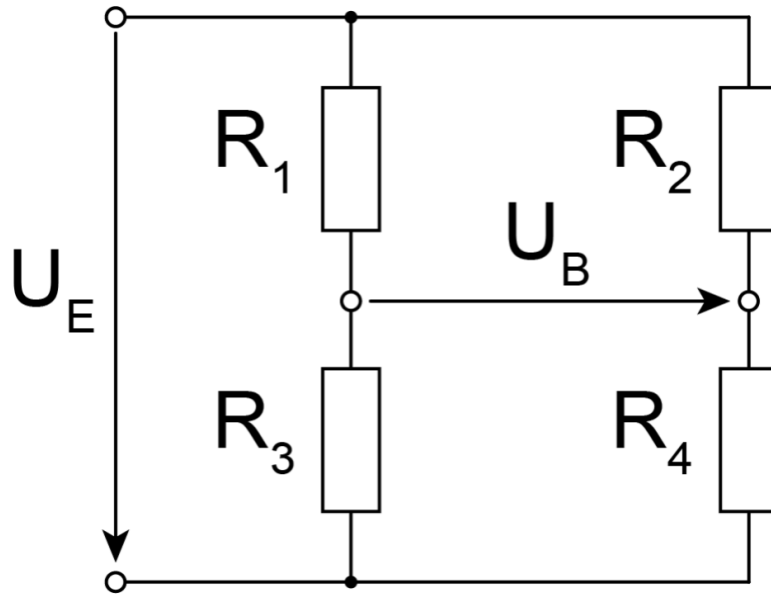
# **Ausgabe Rechenübung 3**

## **Brückenschaltungen, Physikalische Sensorik I**

**Messtechnik, VU 376.045 (3 SWS, 4 ECTS)**  
**Sommersemester 2020**

- Die Bearbeitung der Beispiele erfolgt auf freiwilliger Basis. Im Hinblick auf den schriftlichen Teil der Prüfung empfehlen wir die Beispiele selbst zu lösen.
- Bei Fragen zu den Beispielen wenden Sie sich bitte an **wertjanz@acin.tuwien.ac.at**
- Online-Diskussion der Beispiele am Mi. 28.05.2020 um 09:15 Uhr
- Link zum Videomeeting:  
<https://www.gotomeet.me/LVAMesstechnik>
- Passwort: messkette

# Bsp. 1 Ausschlagbrücke



$$U_E = 1V$$

$$R = R_2 = R_3 = R_4 = 350\Omega$$

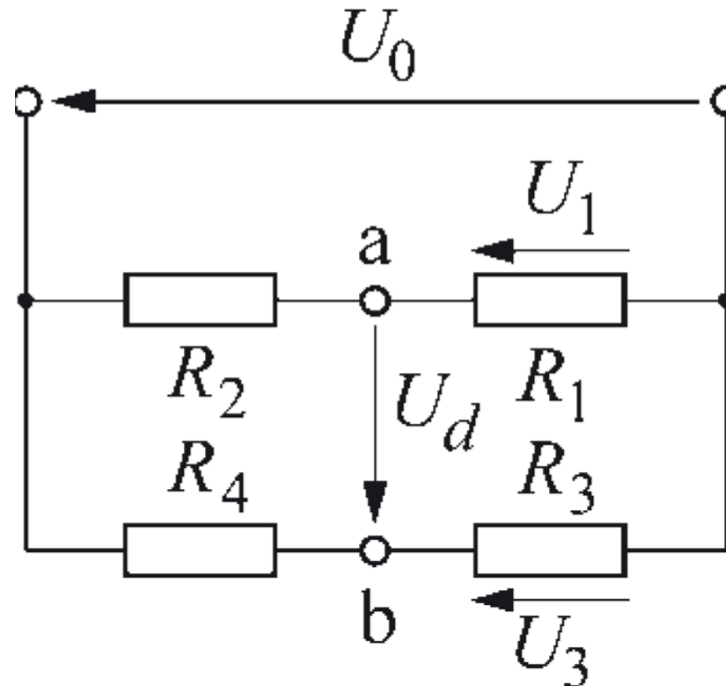
$$R_1 = R + \Delta R$$

- Gegeben ist die abgebildete Ausschlagbrücke.
- Berechnen Sie die Brückenspannung  $U_B$  in Abhängigkeit der Widerstandsänderung  $\Delta R$  des DMS und berechnen Sie die Brückenspannung für  $\Delta R = 3 \Omega$ .

# Bsp. 1 Ausschlagbrücke

- Berechnen Sie die Sensitivität der Brückenspannung bezüglich  $\Delta R$ , d.h.  $\frac{dU_B}{d\Delta R}$ .
- Der Widerstand  $R_3$  wird durch einen weiteren DMS ersetzt, wobei  $R_3' = R - \Delta R$  gilt. Wie verändert sich die Sensitivität  $\frac{dU_{B'}}{d\Delta R}$  im Vergleich zur einfachen Brückenschaltung?

# Bsp. 2 Wheatstone-Messbrücke

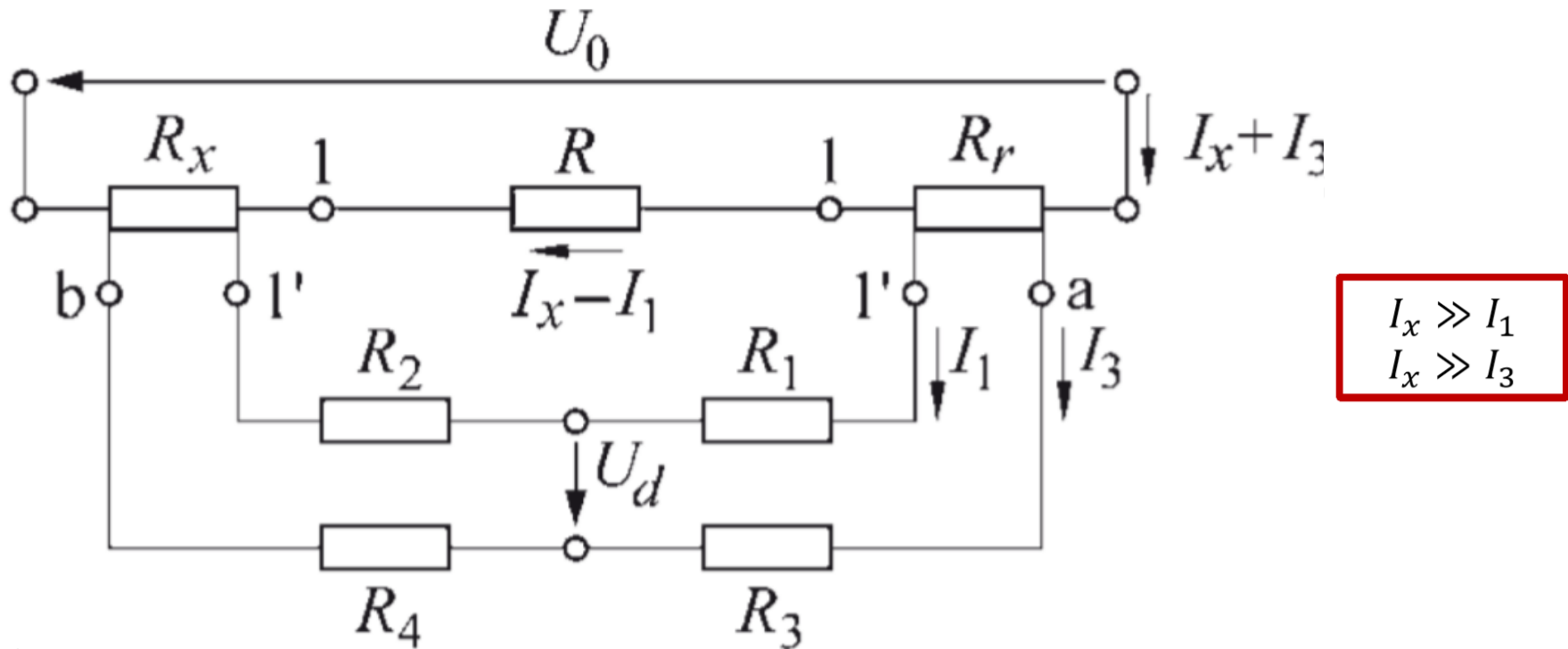


- Gegeben ist die abgebildete Wheatstone-Messbrücke. Berechnen Sie allgemein die Abgleichbedingung ( $U_D = 0$ ) in Abhängigkeit der Widerstände  $R_1$  bis  $R_4$

# Bsp. 2 Wheatstone-Messbrücke

- Zur Messung des Widerstandes  $R_2$  werden die bekannten Widerstände  $R_3 = R_4 = 30\Omega$ , sowie ein einstellbarer Widerstand  $R_1$  verwendet.
- Die Brücke ist abgeglichen und  $R_2 = 2\Omega$ . Berechnen Sie  $R_1$ .
- Der Anschluss des Widerstands  $R_2$  besteht aus einem Kontaktwiderstand  $R_k = 0.25\Omega$  und einem Leitungswiderstand  $R_L = 0.5\Omega$ . Berechnen Sie  $R_1$ .
- Berechnen Sie den relativen Fehler der Widerstandsmessung der durch den Anschlusswiderstand entsteht.

# Bsp. 3 Thomson-Brücke



- Um den Einfluss des Anschlusswiderstandes bei der Messung kleiner Widerstände zu reduzieren, wird eine Thomson-Messbrücke verwendet.

# Bsp. 3 Thomson-Brücke

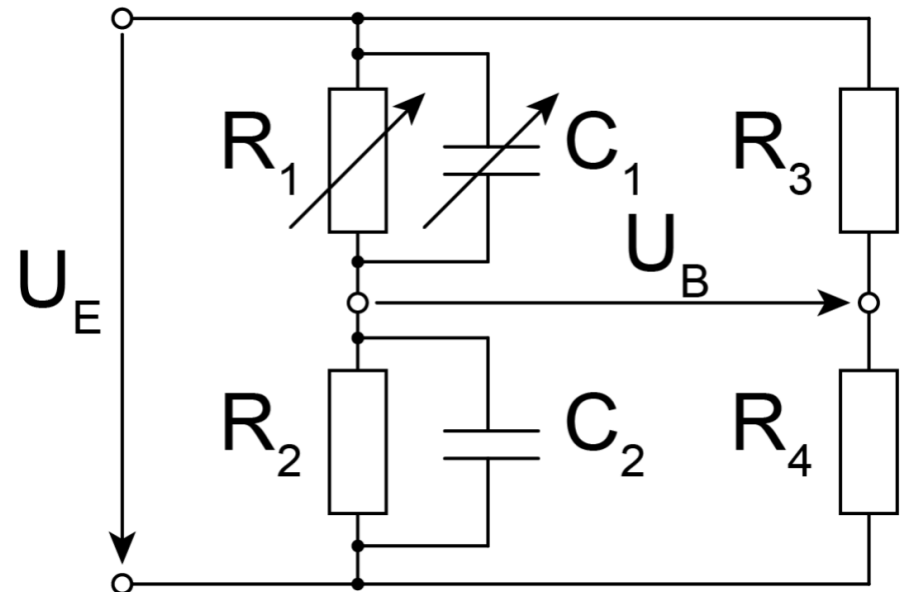
- $R_x$  ist der zu messende Widerstand,  $R$  ist der i.d.R. unbekannte Leitungs – und Kontaktwiderstand und  $R_r$  ein bekannter Referenzwiderstand.
- Gehen sie davon aus, dass  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$  gilt, die beiden Brückenzweige sind also mechanisch gekoppelt.
- Berechnen Sie einen Ausdruck für die Abgleichbedingung ( $U_D = 0$ ) in Abhängigkeit aller Widerstände und formen Sie nach  $R_x$  um.
- Wie müssen die Widerstände  $R_1, R_2, R_3, R_4$  gewählt werden, damit die die Näherung  $I_x \gg I_1$  und  $I_x \gg I_3$  gilt?



# Bsp. 4 Wien-Brücke

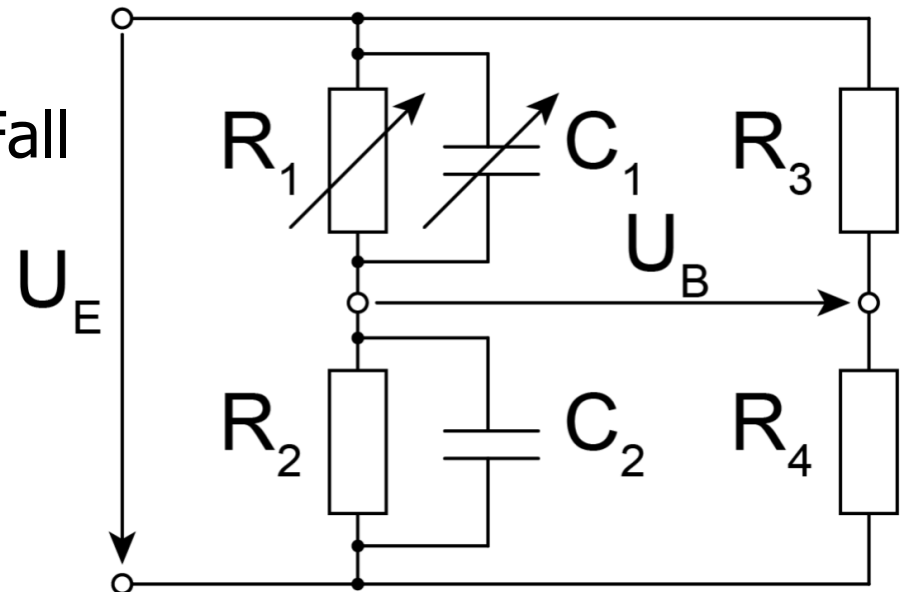
- Berechnen Sie allgemein und zahlenmäßig
  - Die Brückenspannung  $U_B$  für das Eingangssignal  $U_E = A + B \cdot \sin(\omega t)$
  - $A=10V$ ,  $B=5V$ ,  $f=200\text{Hz}$
- Verwenden Sie dazu folgende Werte

- $R_1 = 250\Omega$
- $R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{k}\Omega$
- $C_1 = 1\text{nF}$
- $C_2 = 10\text{nF}$



# Bsp. 4 Wien-Brücke

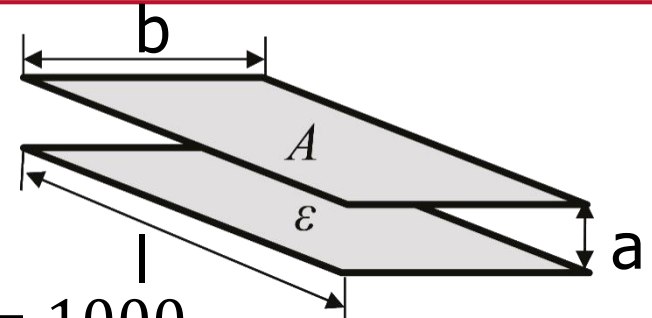
- Berechnen Sie allgemein die Abgleichbedingungen für diese Brücke
- Der Widerstand  $R_1$  und der Kondensator  $C_1$  sind einstellbar und können für den Abgleich der Brücke verwendet werden.
- Berechnen Sie die Werte von  $R_2$  und  $C_2$  im abgeglichenen Fall
- Verwenden Sie dazu
  - $R_1 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$
  - $C_1 = 1 \text{ nF}$



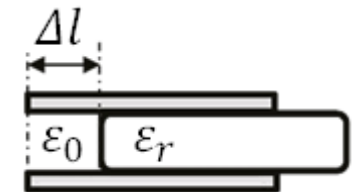
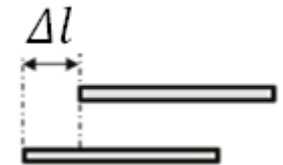
# Bsp. 5 Kapazitive Aufnehmer

- Gegeben ist der dargestellte Plattenkondensator

$$l = 10 \text{ mm}, b = 1 \text{ mm}, a = 0.1 \text{ mm}, \varepsilon_r = 1000$$



- Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit des Plattenabstands  $a_0 + \Delta a$
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Plattenüberlappung  $l - \Delta l$
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Position des Dielektrikums  $\Delta l$

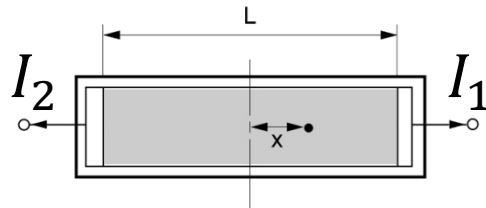


# Bsp. 6 Optischer Aufnehmer

- Mit einer lateralen Photodiode (S3932) soll die Position eines Laserstrahls gemessen werden
- Berechnen Sie die Position  $x$  des Laserstrahls in Abhängigkeit der Ströme  $I_1$  und  $I_2$ . Nehmen Sie dabei eine lineare Abhängigkeit zwischen  $x$  und der Differenz der Ströme  $\Delta I = I_1 - I_2$  an.



[www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com)



# Bsp. 6 Optischer Aufnehmer

- Die Anzeige der Auslenkung soll mit einem Voltmeter erfolgen (Messbereich:  $\pm 10 V$ ,  $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ ). Laser Leistung:  $5 \text{ mW}$ , Laser Wellenlänge:  $\lambda = 920 \text{ nm}$ . Restliche Daten aus dem Datenblatt auf der nächsten Folie. Entwerfen und dimensionieren Sie die entsprechende Beschaltung des Voltmeters (Vollausschlag bei voller Auslenkung des Lasers).

# Bsp. 6 Optischer Aufnehmer

General ratings / Absolute maximum ratings

Type No.	Package	Window material *1	Active area size (mm)	Absolute maximum ratings		
				Reverse voltage VR Max. (V)	Operating temperature Topr (°C)	Storage temperature Tstg (°C)
S3931	Ceramic	R	1 × 6	20	-10 to +60	-20 to +80
S3932		R	1 × 12			
S3270 *2		R (B)	1 × 37		-10 to +75	

Electrical and optical characteristics (Typ. Ta=25 °C, unless otherwise noted)

Type No.	Spectral response range $\lambda$ (nm)	Peak sensitivity wavelength $\lambda_p$ (nm)	Photo sensitivity S $\lambda=\lambda_p$ (A/W)	Interelectrode resistance Rie Vb=0.1 V			Position detection error *3 E VR=5 V light spot $\phi$ 200 $\mu$ m		Saturation photocurrent *4 VR=5 V RL=1 k $\Omega$ ( $\mu$ A)	Dark current ID VR=5 V		Temp. coefficient of ID TCID (times/°C)	Rise time tr VR=5 V RL=1 k $\Omega$ ( $\mu$ s)	Terminal capacitance Ct VR=5 V f=10 kHz (pF)	Position resolution *5 ( $\mu$ m)
				Min. (k $\Omega$ )	Typ. (k $\Omega$ )	Max. (k $\Omega$ )	Typ. ( $\mu$ m)	Max. ( $\mu$ m)		Typ. (nA)	Max. (nA)				
S3931	320 to 1100	920	0.55	30	50	80	±30	±120	100	0.15	10	1.15	1.5	40	0.2
S3932							±60	±240		0.2	20				
S3270	700 to 1100	960	0.55	10	15	20	±100	±400	300	0.5	20		1.0	100	2.8

www.hamamatsu.com

# Lösungen Bsp. 1 - Ausschlagbrücke

- $U_B = -2,13 \text{ mV}$

- $\frac{dU_B}{d\Delta R} = -U_E \frac{R}{(2R+\Delta R)^2}$

- $\frac{dU_B}{d\Delta R} = -U_E \frac{1}{2R}$

# Lösungen Bsp. 2 – Wheatstone-Brücke

- Abgleichbedingung:  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$
- $R_1 = 2\Omega$
- $R_{1f} = 2.75\Omega, f = 0.375$



# Lösungen Bsp. 3 – Thomson-Brücke

- Abgleichbedingung:  $R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_r$
- $R_1 + R_2 \gg R, \quad R_3 + R_4 \gg R + R_r + R_x$

# Lösungen Bsp. 4 – Wien-Brücke

- $U_B = 4,756 \text{ V} + 2,378 \text{ V} \cdot \sin(400\pi t - 0,3593^\circ)$
- $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_3}{R_4}$
- $R_2 = 10 \text{ k}\Omega, C_2 = 1 \text{ nF}$

# Lösungen Bsp. 5 - Kapazitive Aufnehmer

- $C_0 = 885 \text{ pF}$

- $C = C_0 \cdot \frac{a_0}{a_0 + \Delta a}, E = -C_0 \cdot \frac{a_0}{(a_0 + \Delta a)^2}$

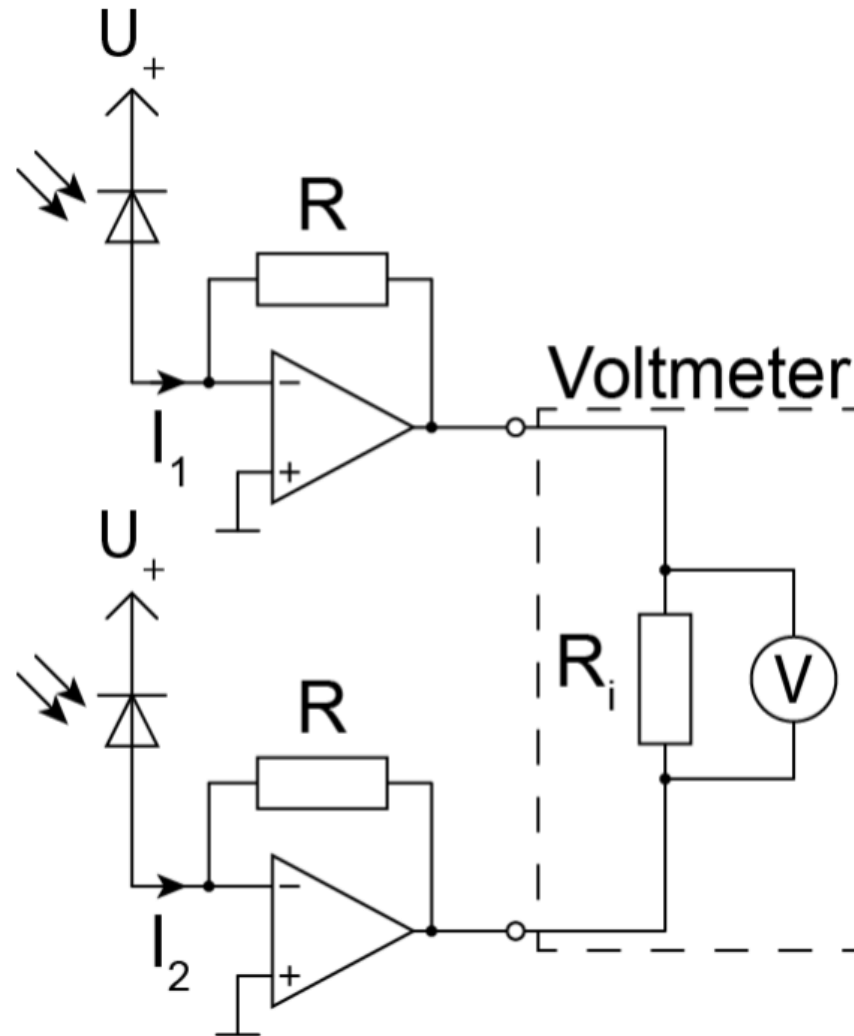
- $C = C_0 \cdot \left(1 - \frac{|\Delta l|}{l}\right), E = \frac{C_0}{l} \text{sign}(\Delta l)$

- $C = C_0 \cdot \left(1 - \frac{|\Delta l|}{l} + \frac{|\Delta l|}{l \cdot \epsilon_r}\right), E = -C_0 \cdot \frac{\epsilon_r - 1}{l \cdot \epsilon_r} \cdot \text{sign}(\Delta l)$

# Lösungen Bsp. 6 - Optischer Aufnehmer

■  $x = L \cdot \frac{\Delta I}{2 \cdot (I_1 + I_2)}$

■  $R = 3,64 \text{ k}\Omega$



# Hinweise

---

- Bei Fragen zu den Beispielen wenden Sie sich bitte an **wertjanz@acin.tuwien.ac.at**
- Online-Diskussion der Beispiele am Do. 28.05.2020 um 09:15 Uhr
- Link zum Videomeeting:  
<https://www.gotomeet.me/LVAMesstechnik>
- Passwort: messkette
- Versuchen Sie im Hinblick auf den schriftlichen Teil der Prüfung die Aufgabenstellungen selbst zu lösen.

**Viel Erfolg!**