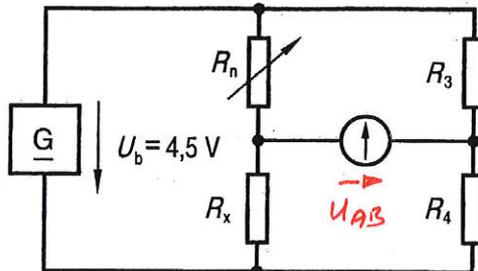


2.3.1 Abgleichbrücke

Eine Widerstandsmeßbrücke hat die Widerstände $R_3 = 2,5\text{k}\Omega$ und $R_4 = 7,5\text{k}\Omega$.



Berechnen Sie den Widerstandswert R_x des gesuchten Widerstandes, wenn die Brücke bei

a) $R_n = 1\text{k}\Omega$, b) $R_n = 10\text{k}\Omega$, c) $R_n = 25\text{k}\Omega$ abgeglichen ist.

d) WIE GROSS SIND DIE JEWEILIGEN DIAGONALSPANNUNGEN WENN $R_x = 7,5\text{k}\Omega$ BETRÄGT ?

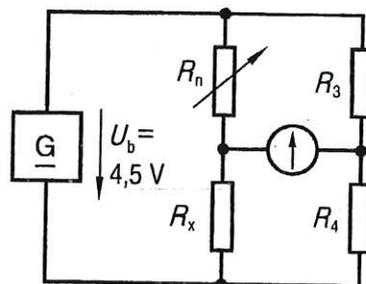
2.3.1 Abgleichbrücke

Aus der Abgleichbedingung

$$\frac{R_n}{R_x} = \frac{R_3}{R_4}$$

folgt: $R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_n$

- a) $R_x = 3\text{k}\Omega$
- b) $R_x = 30\text{k}\Omega$
- c) $R_x = 75\text{k}\Omega$



a) $R_{x1} = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_{n1} = \frac{7,5\text{k}\Omega}{2,5\text{k}\Omega} \cdot 1\text{k}\Omega = 3 \cdot 1\text{k}\Omega = \underline{\underline{3\text{k}\Omega}}$

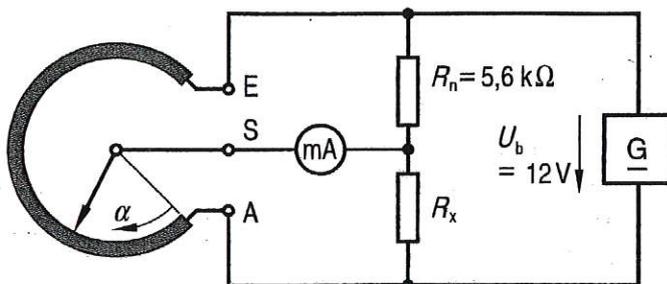
b) $R_{x2} = 3 \cdot R_{n2} = 3 \cdot 10\text{k}\Omega = \underline{\underline{30\text{k}\Omega}}$

c) $R_{x3} = 3 \cdot R_{n3} = 3 \cdot 25\text{k}\Omega = \underline{\underline{75\text{k}\Omega}}$

d) $U_{AB} = U_b \left(\frac{R_x}{R_x + R_n} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$

2.3.3 Widerstandsbestimmung

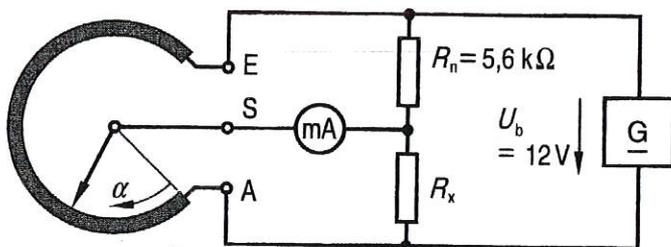
Der Widerstandswert der Heizwicklung eines Lötkolbens soll mit Hilfe einer Schleifdrahtmeßbrücke bestimmt werden. Der Schleifer hat einen Drehbereich $\alpha_{AE} = 270^\circ$, der Abgleich ist bei $\alpha_0 = 85^\circ$ erreicht.



- Berechnen Sie den Widerstandwert R_x .
- Diskutieren Sie den Einfluß der Betriebsspannung U_b auf die Meßgenauigkeit.

© Holland + Josenhans

2.3.3 Widerstandsbestimmung



- Widerstandswert

$$R_x = \frac{\alpha_0}{\alpha_{AE} - \alpha_0} \cdot R_n = \frac{85^\circ}{270^\circ - 85^\circ} \cdot 5,6 \text{ k}\Omega = 2,57 \text{ k}\Omega$$

- Betriebsspannung

Die Betriebsspannung hat auf die Genauigkeit keinen direkten Einfluss. Bei verringerter Betriebsspannung müsste allerdings die Empfindlichkeit des Nullindikators gesteigert werden.

© Holland + Josenhans

$$\frac{R(\alpha_{AE} - \alpha_0)}{R(\alpha_0)} = \frac{R_n}{R_x}$$

$$\frac{\alpha_{AE} - \alpha_0}{\alpha_0} = \frac{R_n}{R_x}$$

$$R_x = \frac{\alpha_0}{\alpha_{AE} - \alpha_0} \cdot R_n$$

$$R_x = \frac{85^\circ}{270^\circ - 85^\circ} \cdot 5,6 \text{ k}\Omega$$

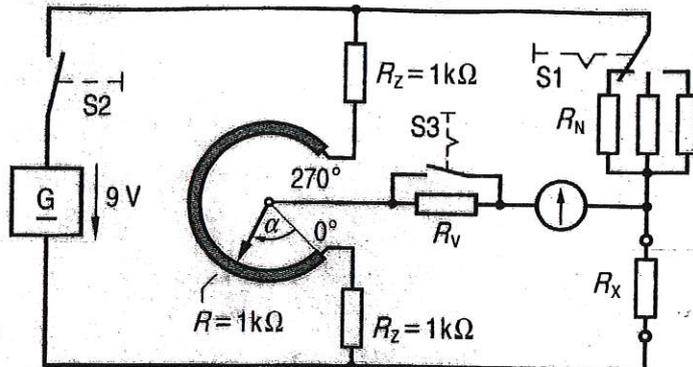
$$R_x = \frac{85^\circ}{185^\circ} \cdot 5,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_x = 0,46 \cdot 5,6 \text{ k}\Omega$$

$$\underline{\underline{R_x = 2,573 \text{ k}\Omega}}$$

T 8.2.4 Widerstandsmessung

Der Widerstandswert eines ohmschen Widerstandes wird mit folgender Meßschaltung bestimmt:



- Stellen Sie die Abgleichbedingung der Brücke auf.
- Wozu dient der Vorwiderstand R_V ?
- Wozu dienen die Zusatzwiderstände R_Z ?
- Mit dem Bereichsumschalter S1 ist der Normalwiderstand $R_N = 1\text{ k}\Omega$ eingeschaltet, der Abgleich der Meßbrücke erfolgt bei $\alpha = 115^\circ$. Berechnen Sie den Widerstand R_X .

$$\beta = 270^\circ - \alpha$$

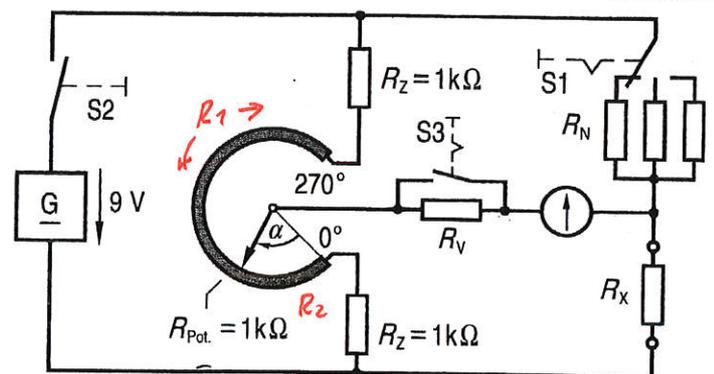
$$R_1 = \frac{R_{Pot}}{270^\circ} \cdot (270^\circ - \alpha)$$

$$R_1 = 0,0037 \Omega/\% \cdot (270^\circ - \alpha)$$

$$R_2 = \frac{R_{Pot}}{270^\circ} \cdot \alpha$$

$$R_2 = 0,0037 \Omega/\% \cdot \alpha$$

T 8.2.4 Widerstandsmessung



a) Abgleichbedingung

Der Brückenabgleich ist erreicht, wenn gilt:

$$\frac{R_Z + \frac{(270^\circ - \alpha) \cdot R_{Pot}}{270^\circ}}{R_Z + \frac{\alpha \cdot R_{Pot}}{270^\circ}} = \frac{R_N}{R_X}$$

b) Vorwiderstand

Der Vorwiderstand R_V macht den Brückenast hochohmiger und damit die Messbrücke weniger empfindlich. Das Zuschalten von R_V ist zu Beginn der Messung sinnvoll, wenn die Brücke noch sehr schlecht abgeglichen ist. Der Widerstand verhindert, dass das Nullinstrument überlastet wird. Ist die Brücke mit fortschreitendem Abgleichvorgang nahezu abgeglichen, so wird der Widerstand überbrückt und die Empfindlichkeit der Brücke wieder erhöht.

c) Zusatzwiderstände

Die Zusatzwiderstände R_Z bewirken eine Art Dehnung des Potentiometers. Dadurch ist ein feinerer Abgleich möglich.

d) Widerstandsbestimmung

Aus der Abgleichbedingung folgt:

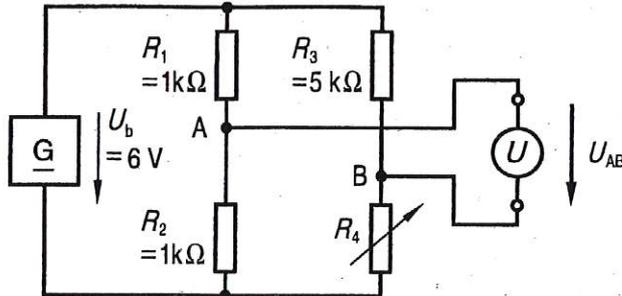
$$R_X = \frac{R_Z + \frac{\alpha}{270^\circ} \cdot R_{Pot}}{R_Z + \frac{(270^\circ - \alpha)}{270^\circ} \cdot R_{Pot}} \cdot R_N = \dots = 906 \Omega$$

$$R_X = \frac{1\text{ k}\Omega + \frac{115^\circ}{270^\circ} \cdot 1\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega + \frac{(270^\circ - 115^\circ)}{270^\circ} \cdot 1\text{ k}\Omega} \cdot 1\text{ k}\Omega = \frac{1,426}{1,574} \cdot 1\text{ k}\Omega$$

$$R_X = 0,906 \cdot 1\text{ k}\Omega = 906 \Omega$$

2.3.2 Ausschlagbrücke

Eine Brückenschaltung enthält außer den Festwiderständen R_1 , R_2 und R_3 einen Widerstand R_4 , dessen Wert sich im Bereich von 0 bis $1\text{ k}\Omega$ ändern läßt.



- In welchem Bereich läßt sich die Brückenspannung U_{AB} ändern?
- In welchem Widerstandsbereich muß R_4 einstellbar sein, damit sich die Brückenspannung in dem Bereich zwischen -1 V und $+1\text{ V}$ einstellen läßt?

2.3.2 Ausschlagbrücke

FALL 1: U_{AB} . $R_4 = 0$ FOLGT

$$U_{AB} = \left(\frac{1\text{ k}\Omega}{2\text{ k}\Omega} - \frac{0}{5\text{ k}\Omega + 0} \right) \cdot 6\text{ V}$$

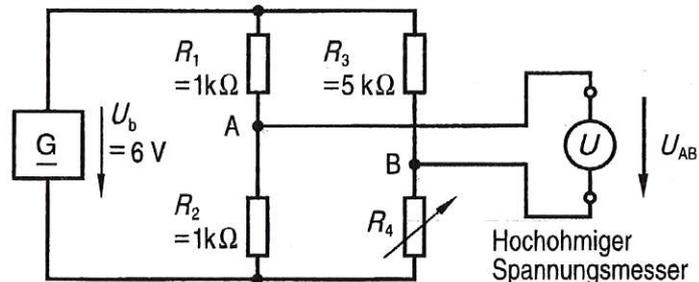
$$U_{AB} = 0,5 \cdot 6\text{ V} = \underline{\underline{3\text{ V}}}$$

FALL 2 $R_4 = 1\text{ k}\Omega$ FOLGT

$$U_{AB} = \left(\frac{1\text{ k}\Omega}{2\text{ k}\Omega} - \frac{1\text{ k}\Omega}{6\text{ k}\Omega} \right) \cdot 6\text{ V}$$

$$U_{AB} = (0,5 - 0,1\bar{6}) \cdot 6\text{ V}$$

$$U_{AB} = 0,3\bar{3} \cdot 6\text{ V} = \underline{\underline{2,0\text{ V}}}$$



a) Brückenspannung

$$\text{Aus } U_{AB} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U \text{ folgt}$$

$$\text{für } R_4 = 0: U_{AB} = 3\text{ V} \quad \text{für } R_4 = 1\text{ k}\Omega: U_{AB} = \underline{\underline{2\text{ V}}}$$

U_{AB} läßt sich im Bereich von 2 V bis 3 V einstellen.

b) Widerstandsbereich

$$\text{Aus } U_{AB} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U \text{ folgt}$$

$$R_4 = \frac{\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_{AB}}{U} \right) \cdot R_3}{\left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_{AB}}{U} \right)}$$

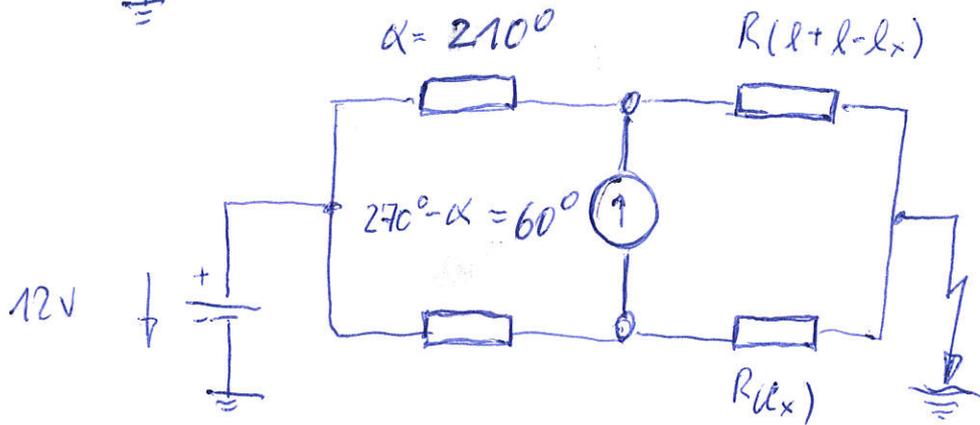
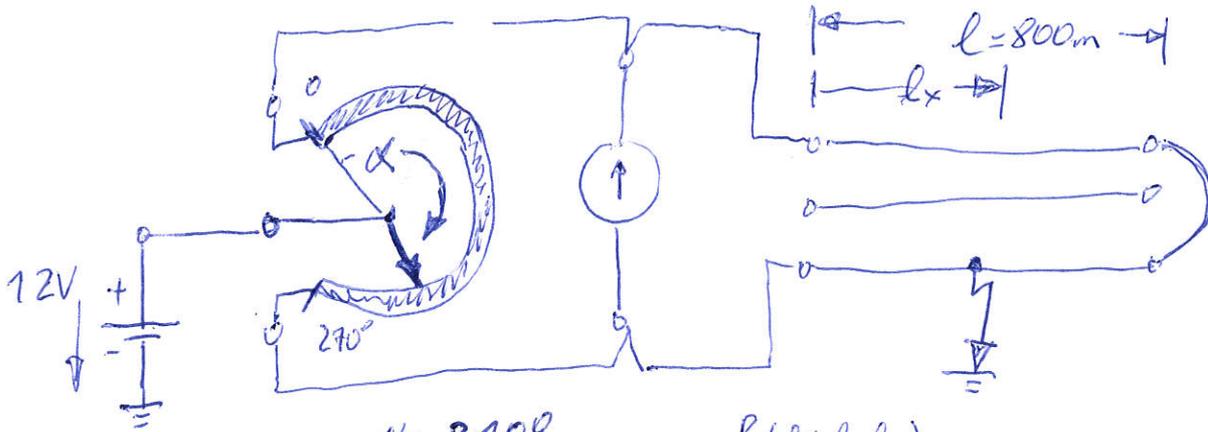
$$\text{Daraus erhält man für } U_{AB} = +1\text{ V} \longrightarrow R_4 = 2,5\text{ k}\Omega$$

$$\text{für } U_{AB} = -1\text{ V} \longrightarrow R_4 = 10\text{ k}\Omega$$

R_4 muss im Bereich $2,5\text{ k}\Omega$ und $10\text{ k}\Omega$ einstellbar sein.

Hinweis: eine zweite Lösungsmöglichkeit erhält man durch die Betrachtung der Potentiale $\varphi_A = 3\text{ V}$ und $\varphi_B = 4\text{ V}$ bei $U_{AB} = -1\text{ V}$ und $\varphi_B = 2\text{ V}$ bei $U_{AB} = +1\text{ V}$. Damit können die Teilspannungen, die Teilströme und die Widerstände R_4 berechnet werden.

8.10.1



$$\frac{60^\circ}{R(l_x)} = \frac{210^\circ}{R(2l-l_x)}$$

$$\frac{60^\circ}{l_x} = \frac{210^\circ}{2l-l_x}$$

$$\frac{60^\circ}{210^\circ} = \frac{l_x}{2l-l_x} = \frac{l_x}{2 \cdot 800\text{m} - l_x} = \frac{l_x}{1600\text{m} - l_x}$$

$$0,286 = \frac{l_x}{1600\text{m} - l_x}$$

$$0,286 \cdot (1600\text{m} - l_x) = l_x \quad \Rightarrow \quad 457,6\text{m} - 0,286 l_x = l_x$$

$$457,6\text{m} = 1,286 \cdot l_x$$

$$l_x = \frac{457,6\text{m}}{1,286}$$

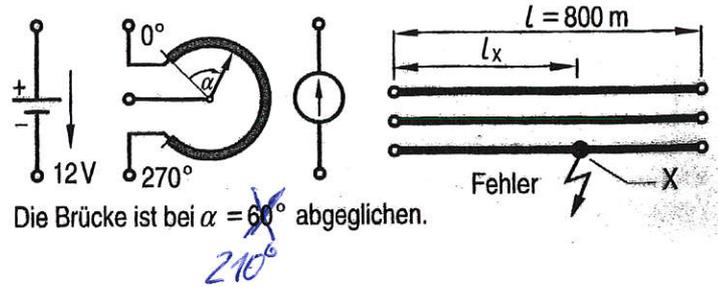
$$l_x = \underline{\underline{355,5\text{m}}}$$

~~5600m = 3,5lx~~
~~800m = 3,5lx + lx~~
~~lx = 5600m / 4,5 = 1244,4m~~

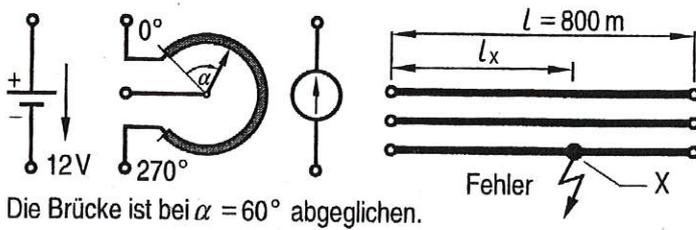
8.10.1 Kabel mit Erdschluß

Nebenstehende Kabel hat an der Stelle x einen Erdschluß. Die Länge l_x soll mit einer Brückenmessung bestimmt werden.

- a) Vervollständigen Sie die Meßschaltung.
- b) Berechnen Sie die Länge l_x .

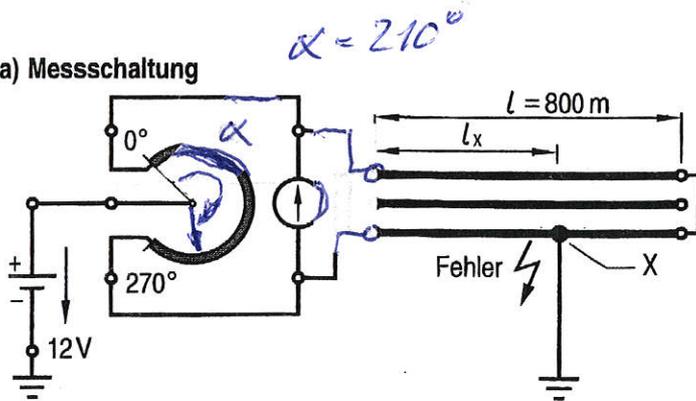


8.10.1 Kabel mit Erdschluss



© Holland + Insaniane

a) Messschaltung

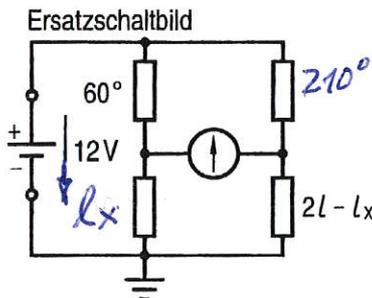


$$\frac{R(\alpha)}{R(l_x)} = \frac{R(270^\circ - \alpha)}{R(2l - l_x)}$$

$$\frac{R(\alpha)}{R(270^\circ - \alpha)} = \frac{R(l_x)}{R(2l - l_x)}$$

$$\frac{\alpha}{270^\circ - \alpha} = \frac{l_x}{2l - l_x}$$

b) Auswertung



Bei abgeglichener Brücke gilt:

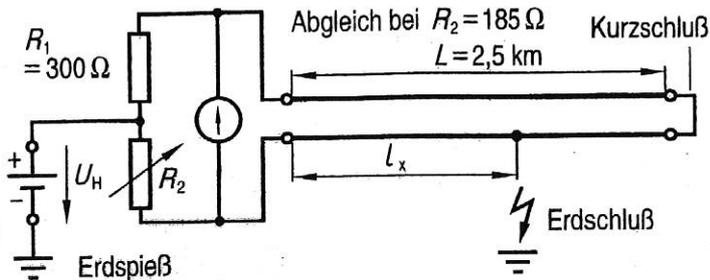
$$\frac{l_x}{2l - l_x} = \frac{60^\circ}{210^\circ}$$

$$l_x = \frac{2 \cdot l}{4,5} = \frac{2 \cdot 800 \text{ m}}{4,5}$$

$$l_x = 355,5 \text{ m}$$

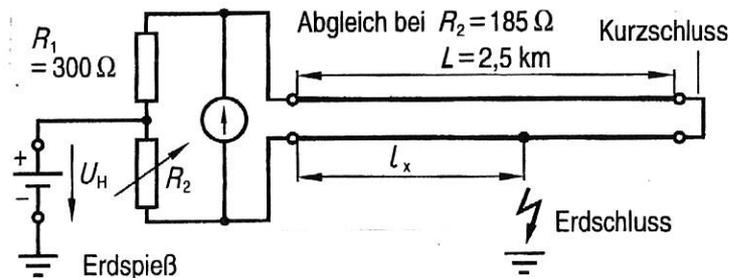
2.3.6 Fehlerortbestimmung

Ein Erdkabel NAYY 4x150 mm² Cu der Länge $L=2,5$ km hat an einer unbekannt Stelle einen satten Erdschluß.

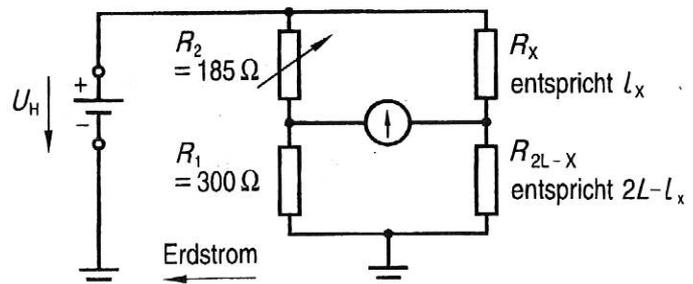


Zur Fehlerortung wird das Kabelende kurzgeschlossen, ein Erdspieß stellt eine Erdverbindung her.

- Skizzieren Sie die vollständige Brückenschaltung.
- Berechnen Sie die Entfernung l_x der Fehlerstelle.
- Diskutieren Sie den Einfluß der Erdwiderstände und der Spannung U_H auf das Meßergebnis.

2.3.6 Fehlerortbestimmung**a) Brückenschaltung**

Durch Umzeichnen ergibt sich folgende Brückenschaltung:

**b) Entfernung des Fehlers**

$$\text{Abgleichbedingung: } \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_{2L-x}} = \frac{l_x}{2L-l_x}$$

$$l_x \cdot R_1 = 2L \cdot R_2 - l_x \cdot R_2$$

$$l_x = \frac{2L \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5 \text{ km} \cdot 185 \Omega}{300 \Omega + 185 \Omega} = 1,9 \text{ km}$$

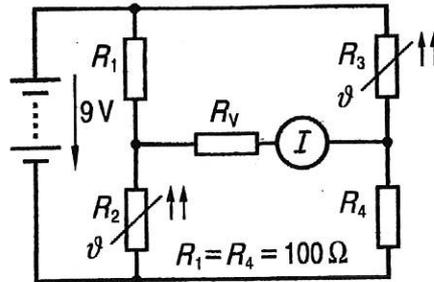
c) Fehler

Die Erderwiderstände haben praktisch keinen Einfluß auf das Messergebnis. Bei sehr großen Erderwiderständen muss die Speisespannung U_H entsprechend erhöht werden.

T 2.3.4 Temperatur-Meßbrücke

Mit nebenstehender Meßbrücke werden Temperaturen von 0°C bis 100°C gemessen. Als Temperaturfühler dienen Pt-100-Widerstände.

- a) Berechnen Sie R_V so, daß das Meßwerk bei 100°C seinen Vollausschlag $\alpha = 100\%$ hat.
- b) Berechnen Sie den Ausschlag bei $\vartheta = 50^\circ\text{C}$.
- c) Skizzieren Sie den Ausschlag $\alpha = f(\vartheta)$.



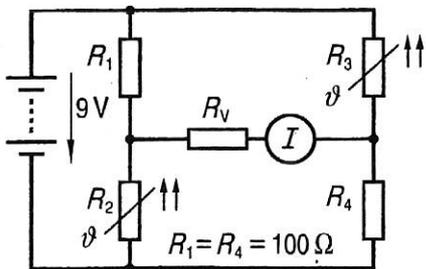
Platin-Sensoren Pt 100 haben bei 0°C den Widerstand 100Ω

$$R_W = R_0 \cdot (1 + \alpha_{Pt} \cdot \Delta\vartheta)$$

mit $\alpha_{Pt} = 3,9 \cdot 10^{-9}$

Meßwerk:
 $I_i = 1\text{ mA}$, $U_i = 100\text{ mV}$

T 2.3.4 Temperatur-Messbrücke



Platin-Sensoren Pt 100 haben bei 0°C den Widerstand 100Ω

$$R_W = R_0 \cdot (1 + \alpha_{Pt} \cdot \Delta\vartheta)$$

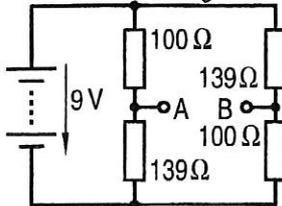
mit $\alpha_{Pt} = 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$

Messwerk
 $I_i = 1\text{ mA}$, $U_i = 100\text{ mV}$

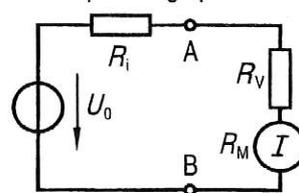
Die Aufgabe wird sinnvollerweise mit Hilfe einer Ersatzspannungsquelle gelöst.

Bei $\vartheta = 100^\circ\text{C}$ ist $R_2 = R_3 = 100\Omega (1 + 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot 100) = 139\Omega$

Brückenschaltung



Ersatzspannungsquelle



Ersatzspannungsquelle $U_0 = \varphi_A - \varphi_B = \dots = 1,47\text{ V}$

$$R_i = R_1 \parallel R_2 + R_3 \parallel R_4 = \dots = 116,3\Omega$$

Messgerät $R_M = \frac{U_{iM}}{I_{iM}} = \frac{100\text{ mV}}{1\text{ mA}} = 100\Omega$

Zu Aufgabe T 2.3.4

a) Vorwiderstand

Für Vollausschlag des Messgerätes gilt:

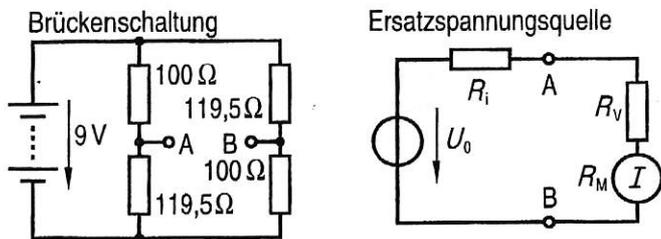
$$I_{M \text{ Vollausschl.}} = \frac{U_0}{R_i + R_M + R_V}$$

$$R_V = \frac{U_0}{I_{M \text{ Vollausschl.}}} - R_i - R_M$$

$$R_V = \frac{1,47V}{1 \text{ mA}} - 116,3\Omega - 100\Omega = 1254\Omega$$

b) Ausschlag bei 50 °C

Bei $\vartheta = 50^\circ\text{C}$ ist $R_2 = R_3 = 100\Omega (1 + 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot 50) = 119,5\Omega$



Ersatzspannungsquelle $U_0 = \varphi_A - \varphi_B = 4,9V - 4,1V = 0,8V$

$$R_i = R_1 \parallel R_2 + R_3 \parallel R_4 = \dots = 108,9\Omega$$

Strom im Messgerät

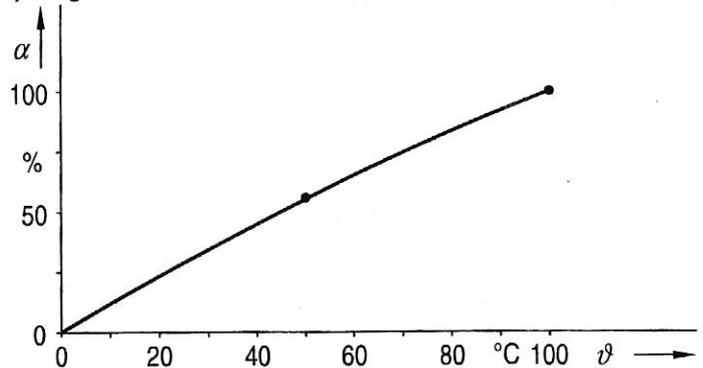
$$I = \frac{U_0}{R_i + R_M + R_V} = \frac{0,8V}{108,9\Omega + 100\Omega + 1254\Omega} = 0,55 \text{ mA}$$

Zu Aufgabe T 2.3.4

Verlauf der Anzeige

Das Messgerät zeigt bei 50°C etwas mehr als den halben Vollausschlag. Der Ausschlag wird vermutlich nicht ganz linear mit der Temperatur steigen.

c) Diagramm

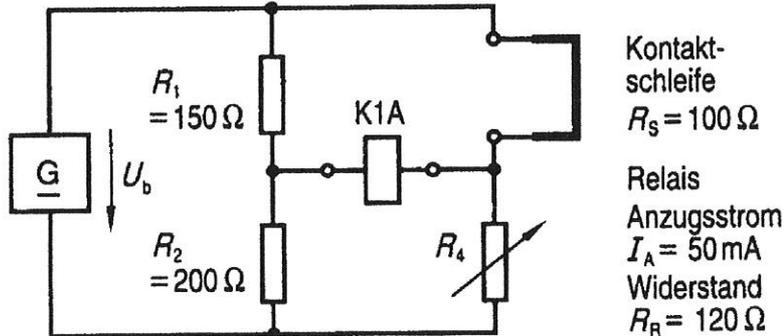


Für einen genaueren Kurvenverlauf können weitere Punkte berechnet werden:

ϑ in °C	0	20	40	50	60	80	100
R_2, R_3 in Ω	100	107,8	115,6	119,5	123,4	131,2	139
$I_{\text{Brücke}}$ in mA	0	0,23	0,45	0,55	0,64	0,83	1,0
α/α_{100} in %	0	23	45	55	64	83	100

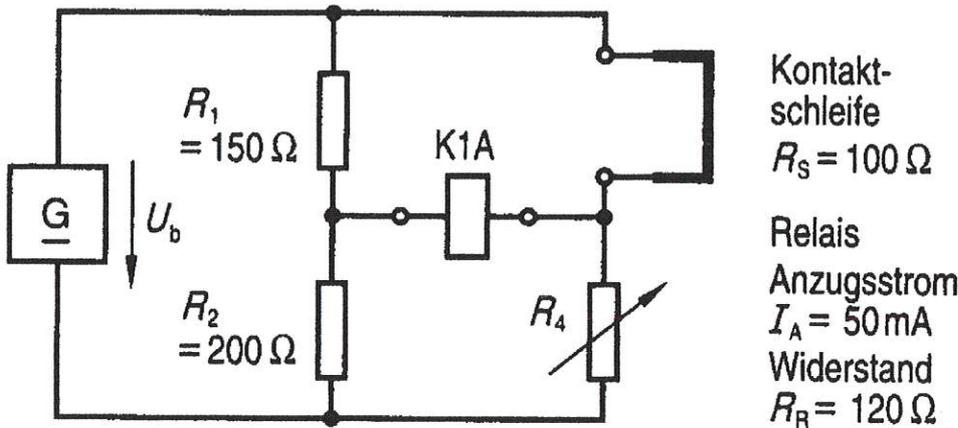
Aufgabe: Alarmanlage

Eine Alarmanlage arbeitet nach dem Ruhestromprinzip.



- Erklären Sie die Arbeitsweise der Schaltung.
- Berechnen Sie R_4 , sodaß das Relais K1A bei intakter Kontaktschleife stromlos ist.
- Berechnen Sie die notwendige Betriebsspannung U_b , damit das Relais bei Unterbrechung der Kontaktschleife sicher anzieht.

Lösung Aufgabe 2: Alarmanlage



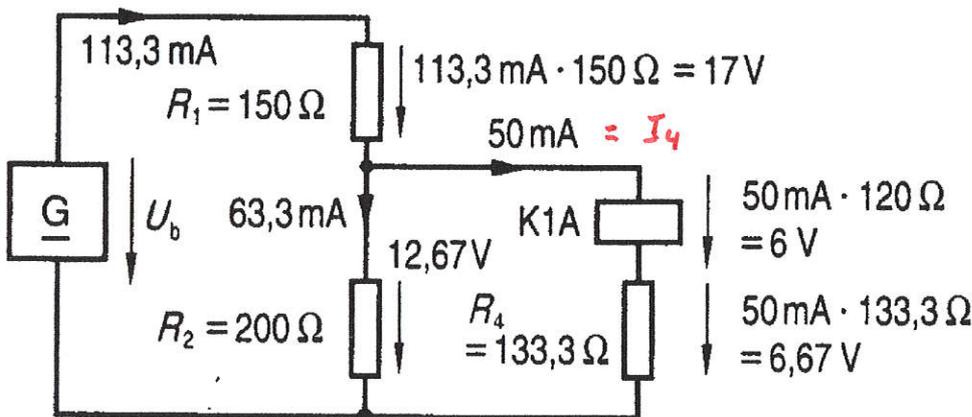
a) Funktion

Bei fehlerfreier Kontaktschleife stellt die Schaltung eine abgeglichene Brücke dar. An Relais K1A liegt keine Spannung. Wird die Kontaktschleife unterbrochen, so liegt an K1A Spannung, das Relais zieht an und löst Alarm aus.

b) Brückenabgleich

$$R_4 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3 = \frac{200 \Omega}{150 \Omega} \cdot 100 \Omega = 133,3 \Omega$$

c) Betriebsspannung



7. $\rightarrow U_b = U_{R1} + U_{R2} = 17 \text{ V} + 12,67 \text{ V} = 29,67 \text{ V} \approx 30 \text{ V}$
Die Betriebsspannung muss mindestens 30 V betragen.

6. $U_1 = I_1 \cdot R_1 = 113,3 \text{ mA} \cdot 150 \Omega$
 $U_1 = 17 \text{ V}$

3. $U_2 = 6 \text{ V} + 6,67 \text{ V} = 12,67 \text{ V}$

4. $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12,67 \text{ V}}{200 \Omega}$

5. $I_1 = I_2 + I_4$
 $I_1 = 63,3 \text{ mA} + 50 \text{ mA}$
 $I_1 = 113,3 \text{ mA}$

$$\frac{l+x}{l-x} = 1,35 = \frac{R_2}{R_1}$$

$$l+x = 1,35(l-x)$$

$$l+x = 1,35l - 1,35x$$

$$x + 1,35x = 1,35l - l$$

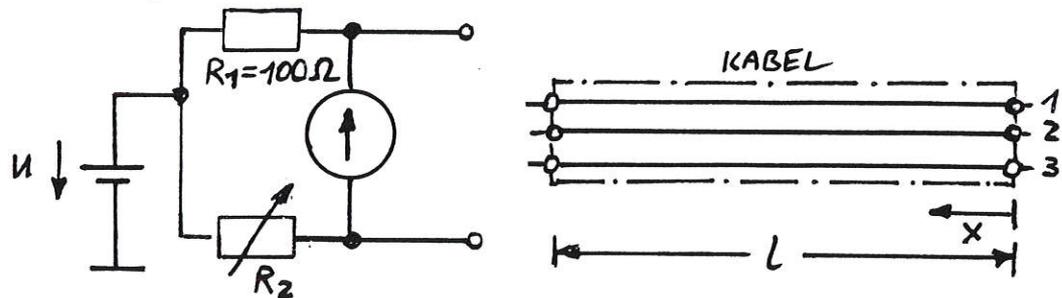
$$x(1+1,35) = l(1,35-1)$$

$$x = \frac{(1,35-1)}{(1,35+1)} \cdot l$$

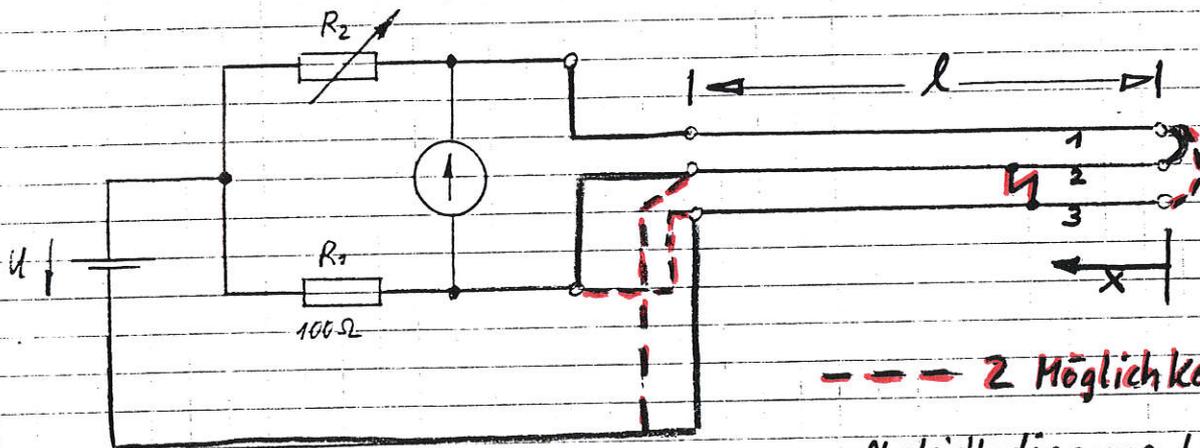
8 Fehlerortbestimmung an Kabeln

8.1 Aufgabe 1

Mit der abgebildeten Schaltung soll der Kurzschluß zwischen den Adern 2 und 3 des 8km langen Kabels gefunden werden.



- Geben Sie die **Verschaltung mit dem Kabel** an, sodaß der Übergangswiderstand im Kurzschlußpunkt nicht mitgemessen wird!
Wie müssen Spannungsquelle und Kurzschlußbügel eingeschaltet werden?
- Der **Fehlerort**, gemessen vom Kabelende, soll bestimmt werden. Wie lautet die allgemeine **Abgleichbedingung**?
- Bestimmen Sie x , wenn für $R_2 = 135 \text{ Ohm}$ das Instrument stromlos wird!



Abgleichbedingung bleibt gleich!

$$b) \quad \boxed{\frac{R_2}{R_1} = \frac{l+x}{l-x}} = 1,35 = \frac{135 \Omega}{100 \Omega}$$

$$c) \quad x = \frac{1,35 - 1}{1,35 + 1} \cdot l = \underline{\underline{1,19 \text{ km}}}$$