

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○
○○○
○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Teil I

Themenfeld 12.1 - Gleichstromnetzanalyse

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○○

Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz
(Pflicht)

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen
(Pflicht)

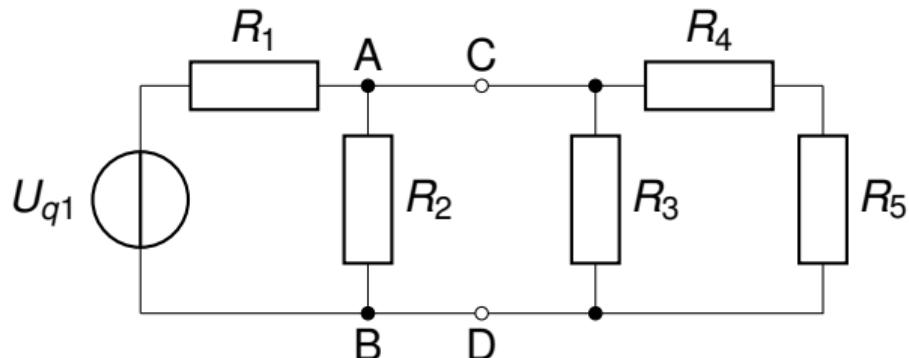
Knoten und Maschen

Kreisstromverfahren

Ersatzquellen

Zweipole

In der Schaltung unten sollen die Widerstände R_3 bis R_5 als ein virtuelles Bauteil dargestellt werden.



Werte für Berechnung

$$R_1 = 10\Omega$$

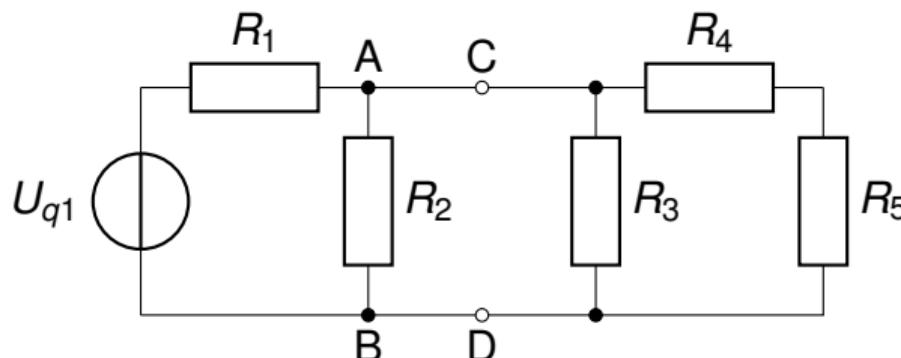
$$R_2 = 20\Omega$$

$$R_3 = 30\Omega$$

$$R_4 = 40\Omega$$

$$R_5 = 50\Omega$$

$$U_{q1} = 5V, \\ U_{q2} = 12V$$



Berechnung des Ersatzwiderstands

$$R_{45} = R_4 + R_5 \quad (1)$$

$$R_{45} = 40\Omega + 50\Omega \quad (2)$$

$$R_{45} = 90\Omega \quad (3)$$

$$\frac{1}{R_{3||45}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{45}} \quad (4)$$

$$\frac{1}{R_{3||45}} = \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{90\Omega} \quad (5)$$

$$R_{3||45} = 22,5\Omega \quad (6)$$

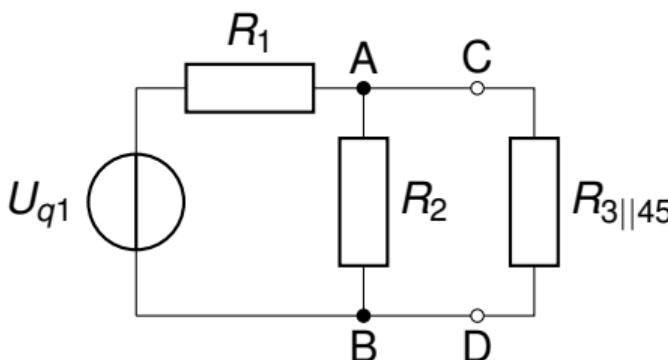


Abbildung: Berechnung
des Ersatzwiderstands

Übungen zu Zweipole I

Berechnen Sie jeweils den Ersatzwiderstand zwischen den Klemmen C und D zur Schaltung unten.

- a $R_1 = R_2 = 220\Omega$ $R_3 = R_5 = 230\Omega$ $R_4 = 470\Omega$
- b $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = 230\Omega$ $R_4 = 560\Omega$
- c $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 150\Omega$ $R_3 = 120\Omega$

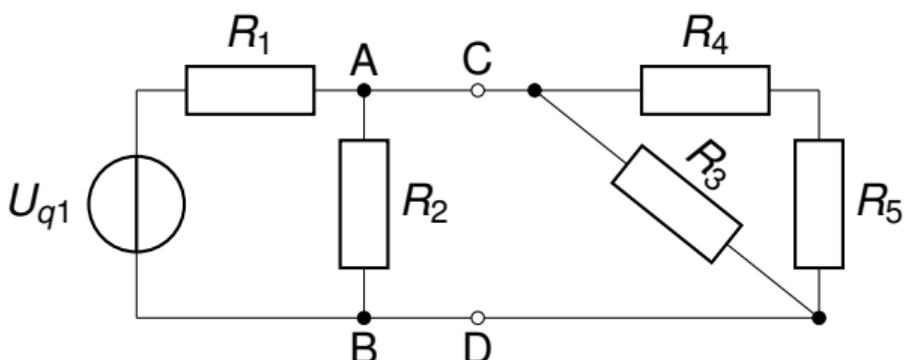


Abbildung: Schaltung zu Übung Ersatzzweipol - Teil 1

Übungen zu Zweipole II

Berechnen Sie jeweils den Ersatzwiderstand zwischen den Klemmen C und D zur Schaltung unten.

- a $R_1 = R_2 = 220\Omega$ $R_3 = R_5 = 230\Omega$ $R_4 = 470\Omega$
- b $R_1 = R_2 = R_3 = 150\Omega$ $R_5 = 230\Omega$ $R_4 = 560\Omega$
- c $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 150\Omega$ $R_3 = 120\Omega$

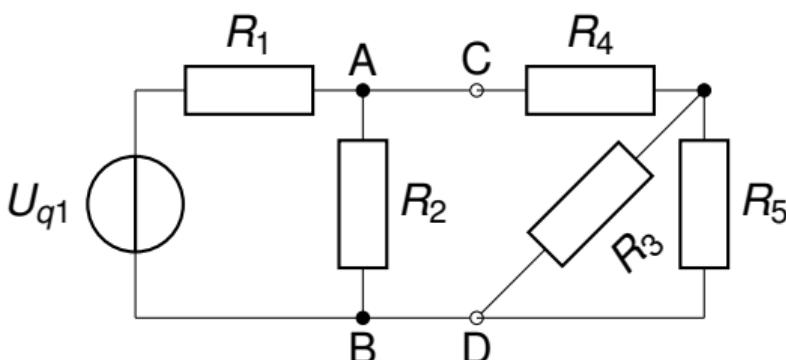
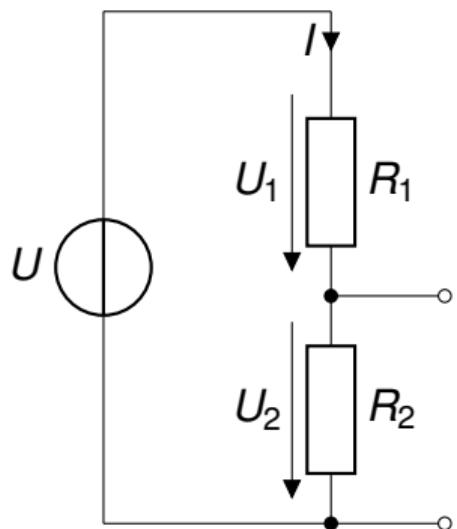


Abbildung: Schaltung zu Übung Ersatzzweipol - Teil 2



Spannungsteiler

$$U = U_1 + U_2 \quad (7)$$

$$I = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \quad (9)$$

$$U_2 = I * R_2 \quad (10)$$

$$U_2 = \frac{U}{R_{ges}} * R_2 \quad (11)$$

$$U_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} * R_2 \quad (12)$$

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (13)$$

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
●Überlagerung
○○○○○○
○○○
○○Dreieck <-> Stern
○○○○○Gleichungen
○○○○○Knoten und Maschen
○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Übungsaufgaben zu Spannungsteiler

U [V]	R ₁ [Ω]	R ₂ [Ω]	I _{R1}	I _{R2}
5	220	330		
12	220	470		
12	220		12 mA	
12	470			10,4 mA
	560	120	22 mA	
	470	1,5k	3,3 mA	

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
●○○○○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Aufgaben zu Überlagerung

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Knoten und Maschen

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○●○○○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○○

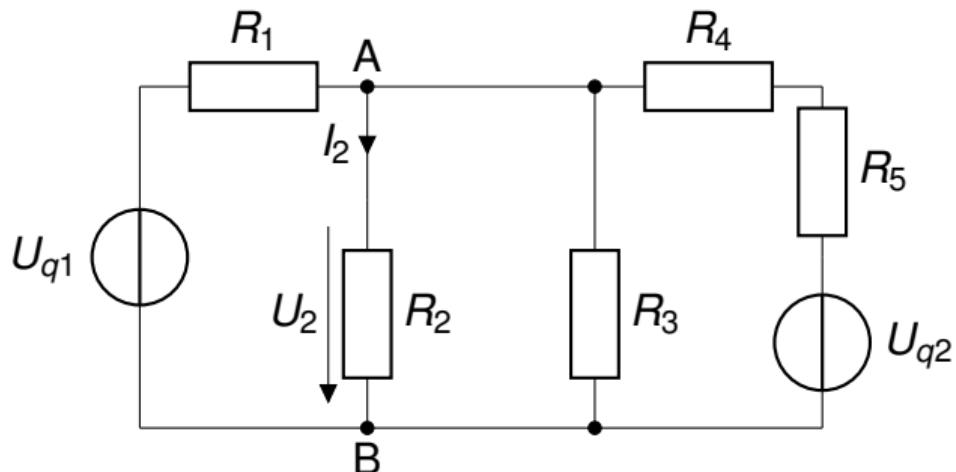
Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

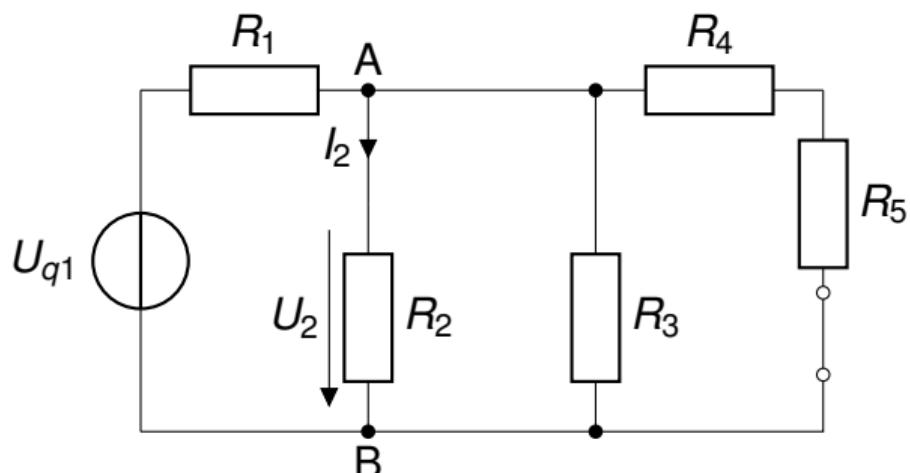
Zwei Spannungsquellen U_1 und U_2



$$\begin{aligned}R_1 &= 10\Omega, R_2 = 20\Omega \\R_3 &= 30\Omega, R_4 = 40\Omega \\R_5 &= 50\Omega \\U_{q1} &= 5 V, U_{q2} = 12 V\end{aligned}$$

Abbildung: Überlagerung, Schaltung 1, Zwei Quellen aktiv

Zwei Spannungsquellen U_1 und U_2



$$\begin{aligned}R_1 &= 10\Omega, \quad R_2 = 20\Omega \\R_3 &= 30\Omega, \quad R_4 = 40\Omega \\R_5 &= 50\Omega \\U_{q1} &= 5 \text{ V}, \quad U_{q2} = 12 \text{ V}\end{aligned}$$

Abbildung: Nur Quelle eins aktiv

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○●○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Berechnung Ersatzwiderstand I

$$U_{2'} = I_2 * R_2 || R_3 || R_4 + R_5 \quad (14)$$

$$U_{2'} = I_2 * \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4+R_5}} \quad (15)$$

I_2 ist nicht bekannt.

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○●○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Berechnung Ersatzwiderstand II

$$U_{q1} = U_1 + U_2 \quad (16)$$

$$U_2 = U_{q1} * \frac{R_2 || R_3 || R_{45}}{R_1 + R_2 || R_3 || R_{45}} \quad (17)$$

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○
○

Überlagerung
○○○○○●○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Einsetzen I

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{R_2 || R_3 || R_{45}}{R_1 + R_2 || R_3 || R_{45}} \quad (18)$$

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}} \quad (19)$$

(20)

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○●
○○○○Dreieck <-> Stern
○○○○○Gleichungen
○○○○○Knoten und Maschen
○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Einsetzen II

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{R_2 || R_3 || R_{45}}{R_1 + R_2 || R_3 || R_{45}}$$

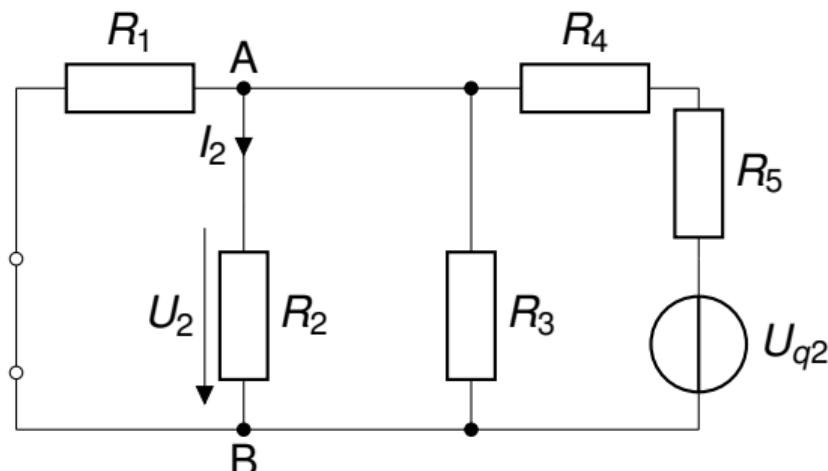
$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}$$

$$U_{2'} = 5 V * \frac{10,59 \Omega}{10 \Omega + 10,59 \Omega} \quad (21)$$

$$U_{2'} = 5 V * 0,514 \quad (22)$$

$$U_{2'} = 2,57 V \quad (23)$$

Zwei Spannungsquellen U_1 und U_2



$$\begin{aligned}R_1 &= 10\Omega, R_2 = 20\Omega \\R_3 &= 30\Omega, R_4 = 40\Omega \\R_5 &= 50\Omega \\U_{q1} &= 5 V, U_{q2} = 12 V\end{aligned}$$

Abbildung: Nur Quelle zwei aktiv

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○
○

Überlagerung
○○○○○○
○●○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Quelle 2, Einsetzen I

$$U_{2''} = U_{q2} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}}{R_4 + R_5 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}} \quad (24)$$

(25)

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○
○○●○Dreieck <-> Stern
○○○○○Gleichungen
○○○○○Knoten und Maschen
○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Quelle 2, Einsetzen II

$$U_{2''} = U_{q2} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}}{R_4 + R_5 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}} \quad (26)$$

$$U_{2''} = 12 \text{ V} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{10 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{30 \Omega}}}{40 \Omega + 50 \Omega + \frac{1}{\frac{1}{10 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{30 \Omega}}} \quad (27)$$

$$U_{2''} = 12 \text{ V} * 0,057 \quad (28)$$

$$U_{2''} = 0,685 \text{ V} \quad (29)$$

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○
○

Überlagerung
○○○○○○○
○○○●
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Addition

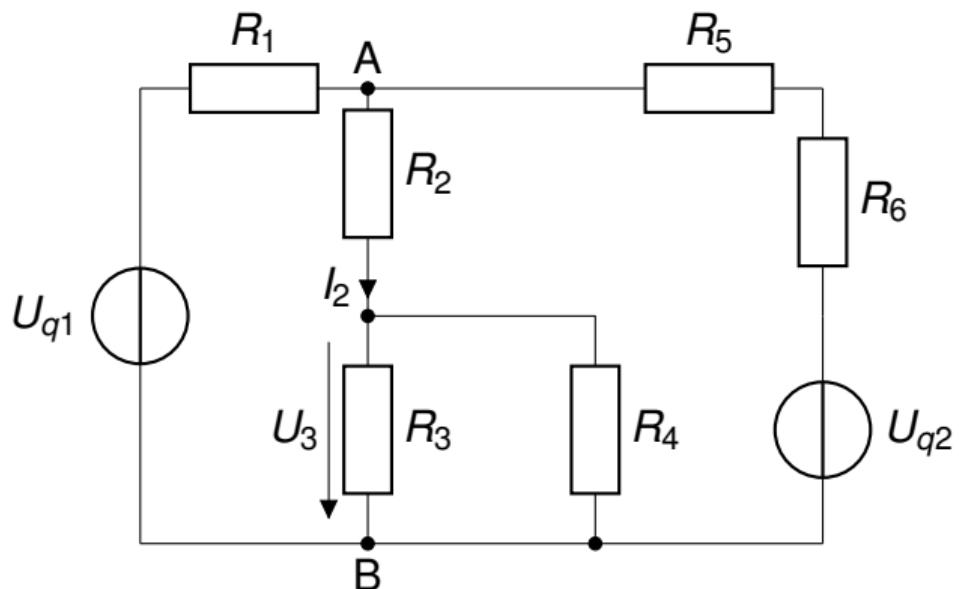
Zum Abschluss werden die beiden Teilspannungen addiert.

$$U_2 = U_{2'} + U_{2''} \quad (30)$$

$$U_2 = 2,57 \text{ V} + 0,685 \text{ V} \quad (31)$$

$$U_2 = 3,26 \text{ V} \quad (32)$$

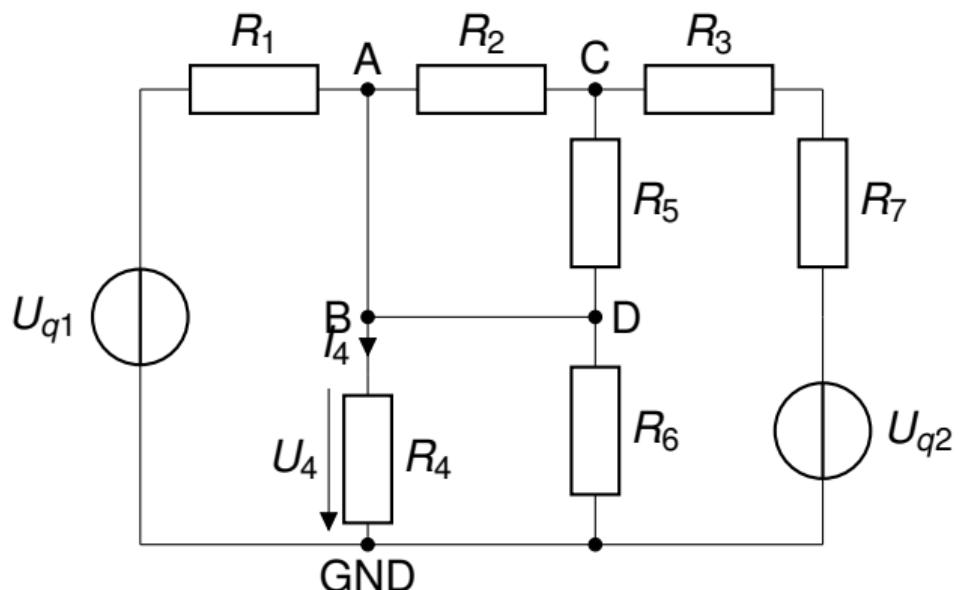
Schaltung 2



$$\begin{aligned}R_1 &= 100\Omega, R_2 = 220\Omega \\R_3 &= 270\Omega, R_4 = 470\Omega \\R_5 &= 560\Omega, R_6 = 180\Omega \\U_{q1} &= 12V, U_{q2} = 15V\end{aligned}$$

Abbildung: Überlagerung, Schaltung 2

Schaltung 3



$$\begin{aligned} R_1 &= 100 \Omega, R_2 = 220 \Omega \\ R_3 &= 270 \Omega, R_4 = 470 \Omega \\ R_5 &= 470 \Omega, R_6 = 560 \Omega \\ R_7 &= 120 \Omega \\ U_{q1} &= 12 V, U_{q2} = 15 V \end{aligned}$$

Abbildung: Überlagerung, Schaltung 3

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○
○

Überlagerung
○○○○○○○
○○○
○○

Dreieck \leftrightarrow Stern
●○○○○

Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck \leftrightarrow Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Knoten und Maschen

Kreisstromverfahren

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○●○○○

Gleichungen
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Messbrücke

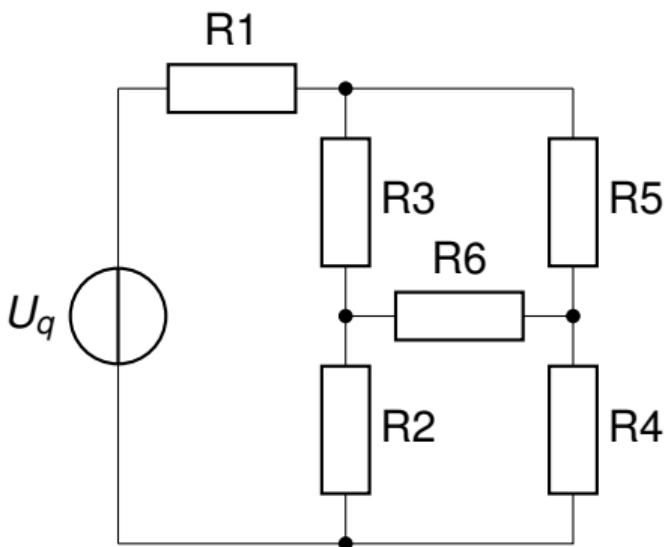


Abbildung: Messbrücke

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○●○○○

Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Messbrücke

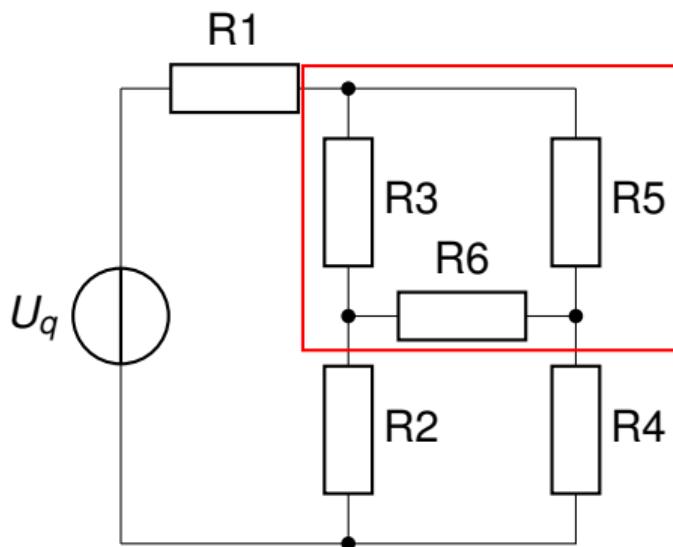


Abbildung: Messbrücke

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○
○○○○○
○○○○○

Dreieck <-> Stern
○○●○○○

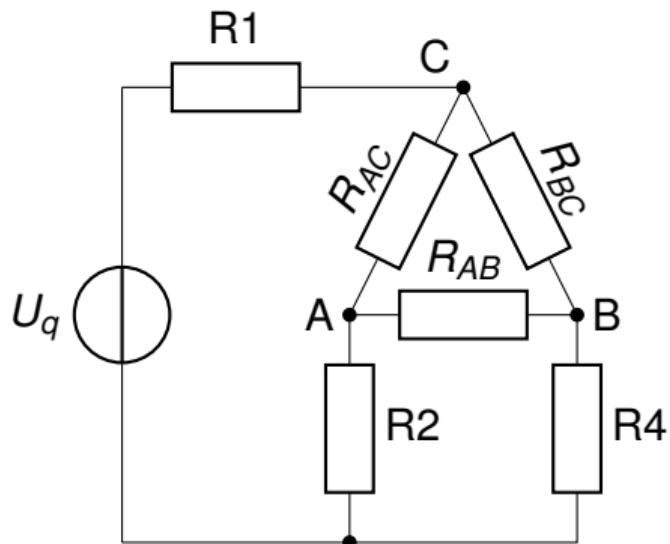
Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Messbrücke - Stern-Dreieck



$$R_{AC} = R_3$$

$$R_{AB} = R_6$$

$$R_{BC} = R_5$$

Abbildung: Messbrücke

Umwandlung Dreieck → Stern

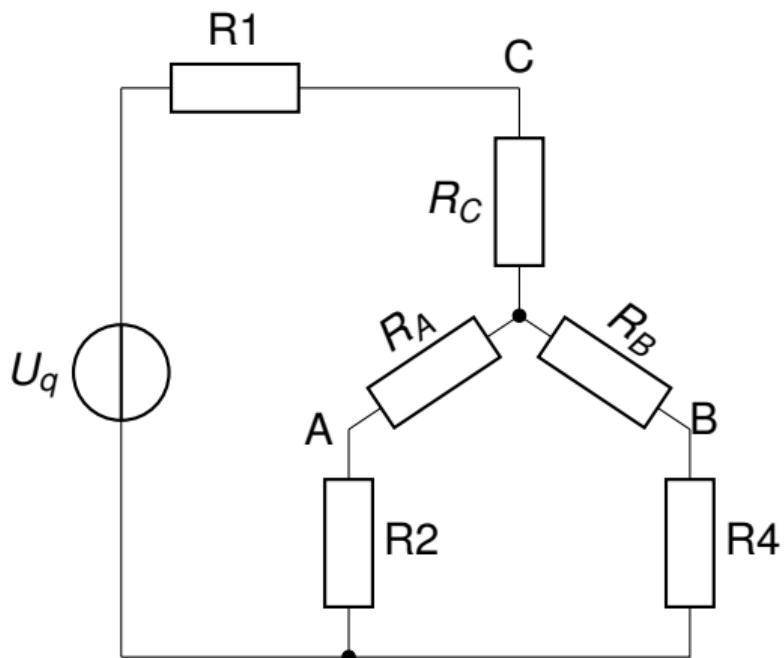
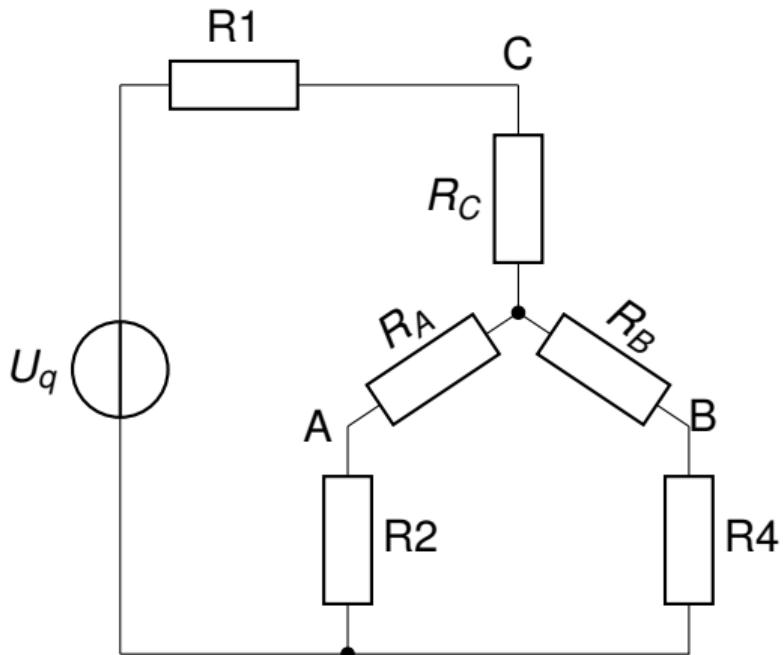


Abbildung: Messbrücke

Umwandlung Dreieck → Stern



$$R_A = \frac{R_{AC} \cdot R_{AB}}{R_{AC} + R_{AB} + R_{BC}}$$

$$R_B = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_{AC} + R_{AB} + R_{BC}}$$

$$R_C = \frac{R_{AC} \cdot R_{BC}}{R_{AC} + R_{AB} + R_{BC}}$$

Abbildung: Messbrücke

Umwandlung - Stern → Dreieck

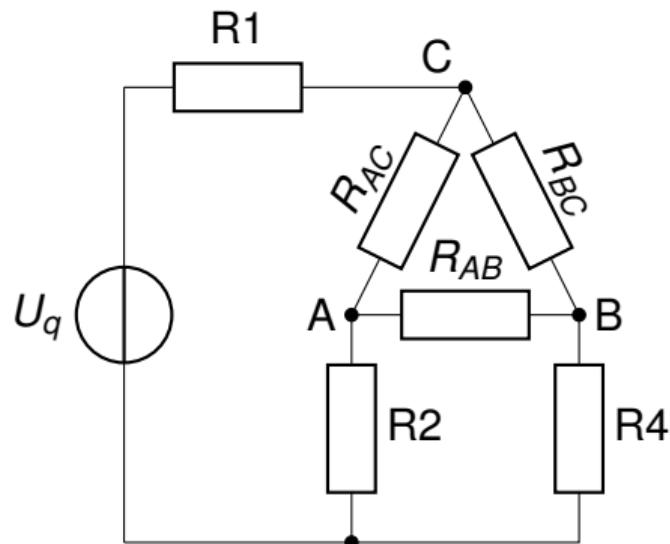
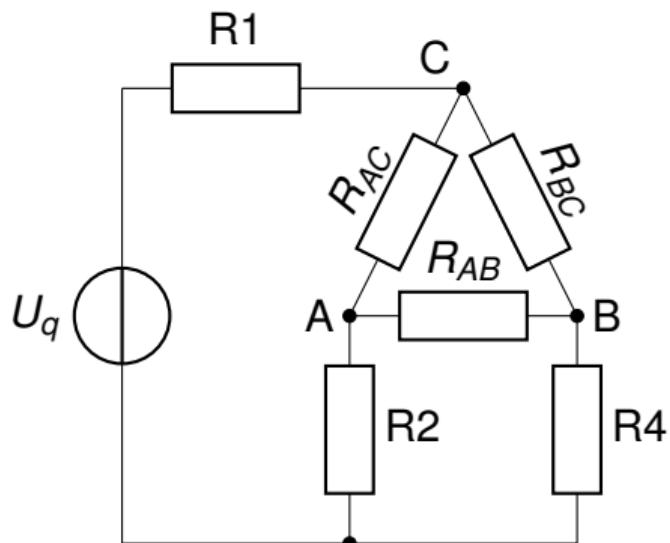


Abbildung: Messbrücke

Umwandlung - Stern → Dreieck



$$R_{AB} = \frac{R_A \cdot R_B}{R_C} + R_A + R_B$$

$$R_{AC} = \frac{R_A \cdot R_C}{R_B} + R_A + R_C$$

$$R_{BC} = \frac{R_B \cdot R_C}{R_A} + R_B + R_C$$

Abbildung: Messbrücke

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○
○○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○●

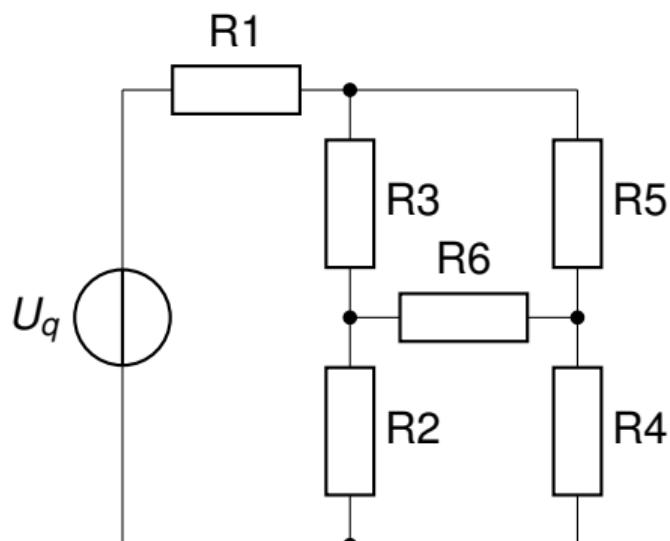
Gleichungen
○○
○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Aufgabe: Messbrücke



$$R_1 = 220 \Omega$$

$$R_2 = 470 \Omega$$

$$R_3 = 330 \Omega$$

$$R_4 = 330 \Omega$$

$$R_5 = 560 \Omega$$

$$R_6 = 390 \Omega$$

$$U_q = 5 V$$

$$R_4 = R_{\text{Mess}}$$

gesucht: Strom und Spannung an R_6 , R_4 und R_5

Abbildung: Messbrücke

Lösung zu Messbrücke

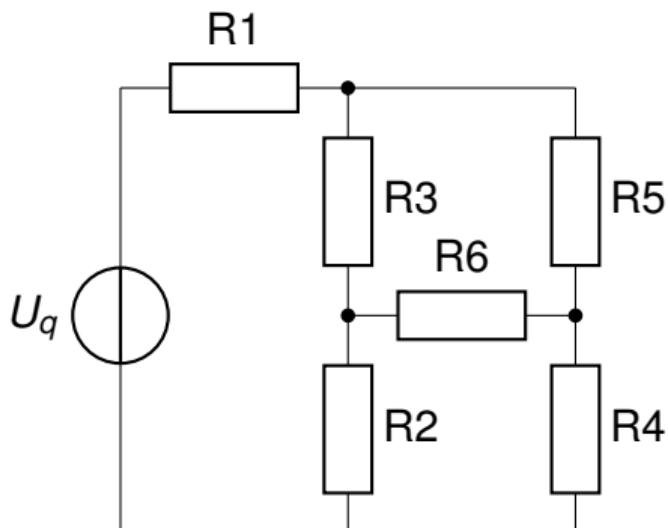


Abbildung: Messbrücke

$$R_1 = 220 \Omega$$

$$R_2 = 470 \Omega$$

$$R_3 = 330 \Omega$$

$$R_4 = 330 \Omega$$

$$R_5 = 560 \Omega$$

$$R_6 = 390 \Omega$$

$$U_q = 5 V$$

$$I_4 = 4,2 \text{ mA}, \quad I_5 = 3,3 \text{ mA}, \quad I_6 = 890 \mu\text{A}$$
$$U_4 = 1,4 \text{ V}, \quad U_5 = 3,6 \text{ V}, \quad U_6 = 0,35 \text{ V}$$

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
●○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Spannungsteiler

Knoten und Maschen

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○○○Dreieck <-> Stern
○○○○○○Gleichungen
○●○○○○Knoten und Maschen
○○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Schaltung - Maschen

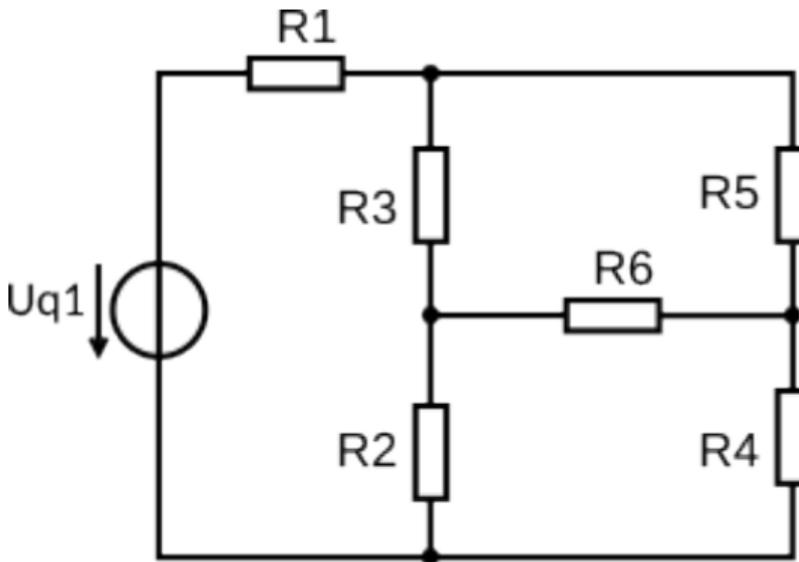


Abbildung: Messbrücke

Zweipole
○○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○○○○○Dreieck <-> Stern
○○○○○○Gleichungen
○●○○○○Knoten und Maschen
○○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○○

Schaltung - Maschen

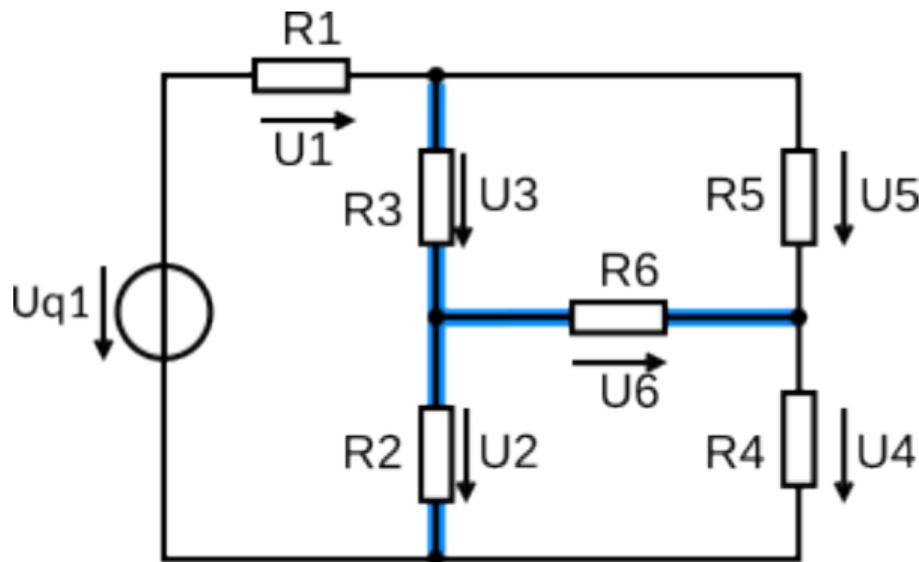


Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum

Schaltung - Maschen

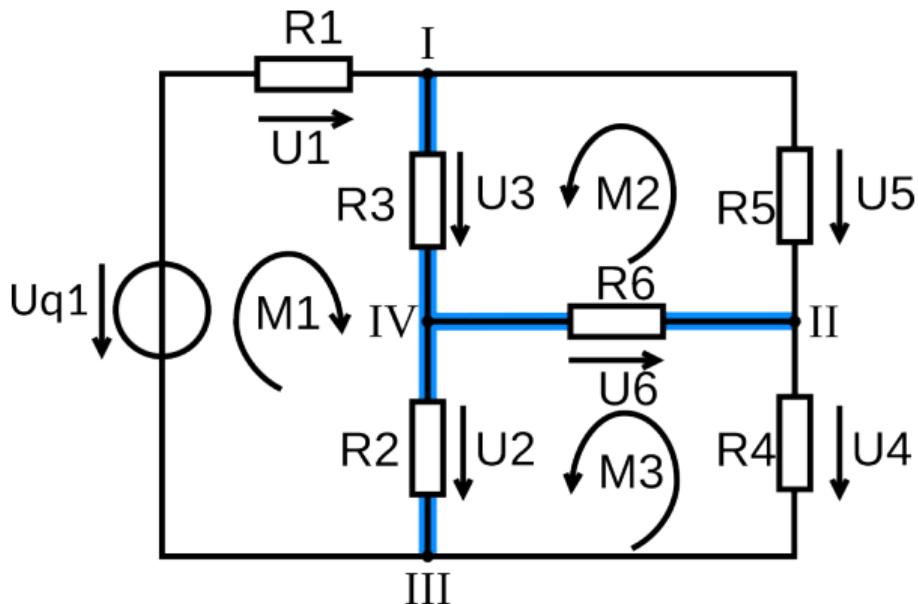


Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○○○Dreieck <-> Stern
○○○○○○Gleichungen
●○○○○○Knoten und Maschen
○○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Gleichungen für Maschen und Knoten

$$M_1 : -U_{q1} + U_1 + U_3 + U_2 = 0 \quad (33)$$

$$M_2 : U_3 + U_6 - U_5 = 0 \quad (34)$$

$$M_3 : U_2 - U_4 - U_6 = 0 \quad (35)$$

(36)

Knotengleichungen:

$$I: I_1 - I_3 - I_5 = 0 \quad (37)$$

$$II: I_3 - I_2 - I_6 = 0 \quad (38)$$

$$III: I_2 + I_4 - I_1 = 0 \quad (39)$$

$$IV: I_3 - I_2 - I_6 = 0 \quad (40)$$

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○
○

Überlagerung
○○○○○○
○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○
○●○○○

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Berechnung der Ströme

$$-U_{q1} + I_1 * R_1 + I_3 * R_3 + I_2 * R_2 = 0 \quad (41)$$

$$I_3 * R_3 + I_6 * R_6 - I_5 * R_5 = 0 \quad (42)$$

$$I_2 * R_2 - I_6 * R_6 - I_4 * R_4 = 0 \quad (43)$$

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○
○○○○
○○Dreieck <-> Stern
○○○○○Gleichungen
○○●○○○Knoten und Maschen
○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

LGS aufstellen

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ R_1 & R_2 & R_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & R_5 & R_6 \\ 0 & R_2 & 0 & R_4 & 0 & R_6 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_{q1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$R_1 = 220\Omega, R_2 = 470\Omega, R_3 = 330\Omega, R_4 = 330\Omega, R_5 = 560\Omega, R_6 = 390\Omega$$

$$U_q = 5 \text{ V}$$

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○
○Überlagerung
○○○○○○
○○○
○○Dreieck <-> Stern
○○○○○Gleichungen
○○
○○●○○Knoten und Maschen
○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Gekürzte Darstellung der Matrix

$$\left(\begin{array}{cccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ R_1 & R_2 & R_3 & 0 & 0 & 0 & Uq1 \\ 0 & R_2 & 0 & R_4 & 0 & R_6 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & R_5 & R_6 & 0 \end{array} \right)$$

Zweipole
○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○
○○○○
○○Dreieck <-> Stern
○○○○○Gleichungen
○○○○●○Knoten und Maschen
○○○○○Kreisstromverfahren
○○○○Ersatzquellen
○○○○

Gekürzte Darstellung mit Werten der Widerstände

$$\left(\begin{array}{cccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 220\Omega & 470\Omega & 330\Omega & 0 & 0 & 0 & Uq1 \\ 0 & 470\Omega & 0 & 330\Omega & 0 & 390\Omega & 0 \\ 0 & 0 & 330\Omega & 0 & 560\Omega & 390\Omega & 0 \end{array} \right)$$

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○
○

Überlagerung
○○○○○○
○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

Gleichungen
○○
○○○○●

Knoten und Maschen
○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Stufenform - Beispiel

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○○
○○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○○

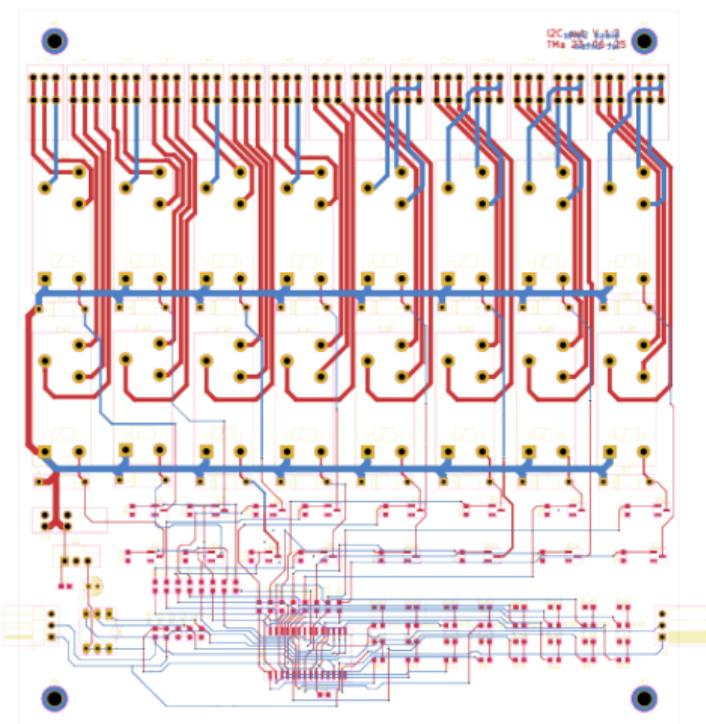
Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
●○○○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Knoten und Maschen



Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○
○○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○

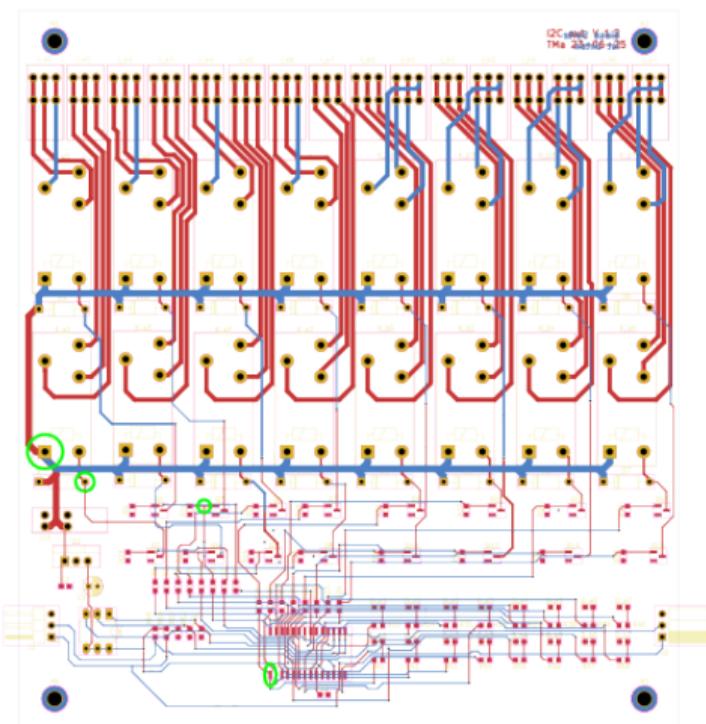
Gleichungen
○○○○○

Knoten und Maschen
○●○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Knoten und Maschen



Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○○
○○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○○

Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
○○●○○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Knoten und Maschen

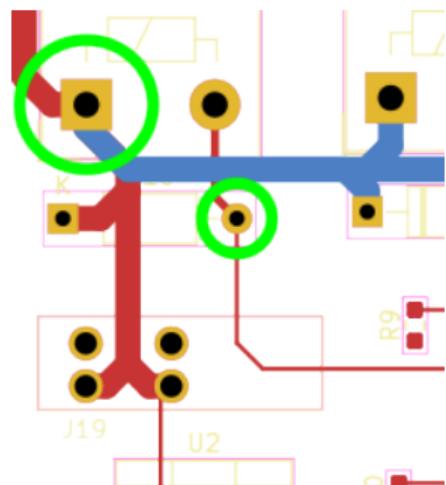


Abbildung: Platine Ausgang

Zweipole
○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○
○○○○
○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○○

Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
○○○●○○

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○

Knoten und Maschen

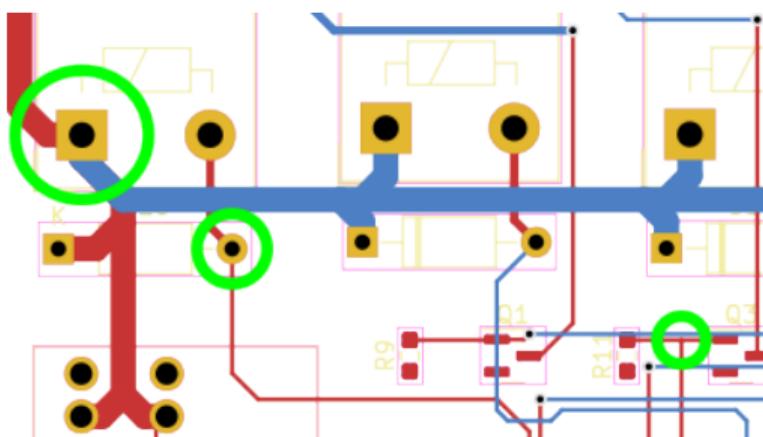
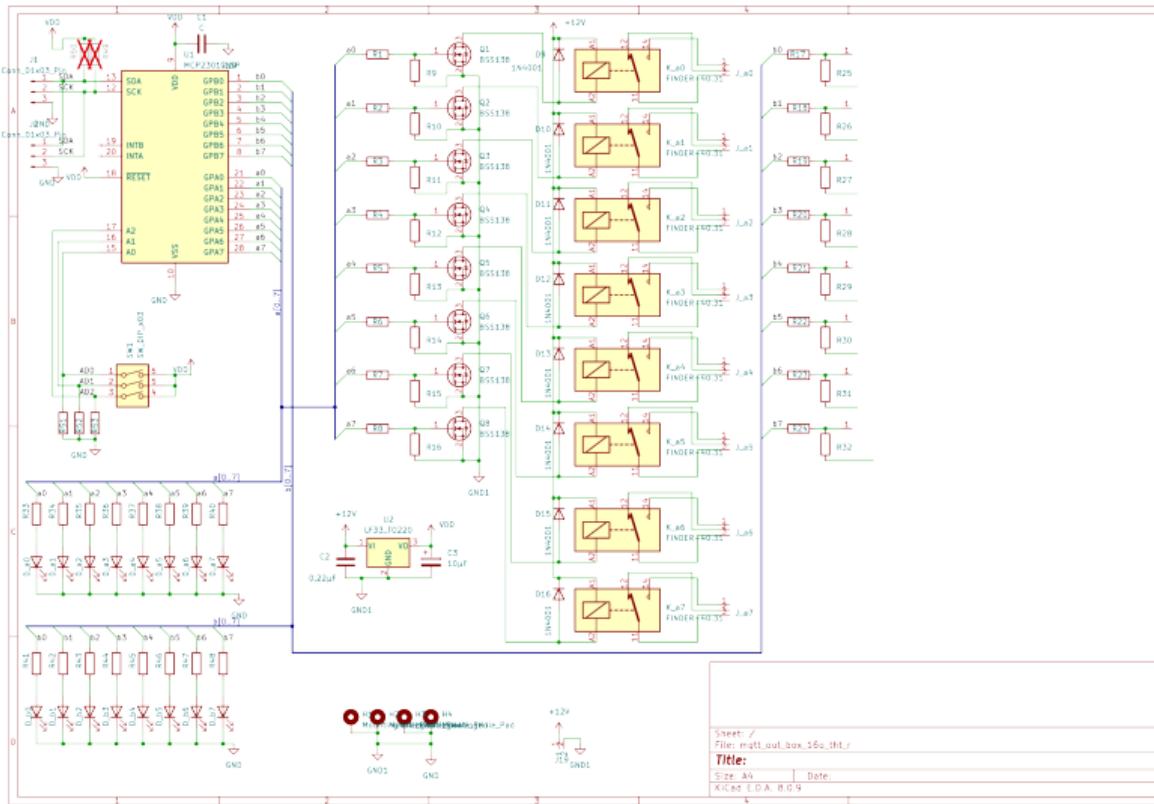


Abbildung: Platine Ausgang

Knoten und Maschen



Zweipole
○○○○○

Spannungsteiler
○○

Überlagerung
○○○○○○○
○○○○

Dreieck <-> Stern
○○○○○○

Gleichungen
○○○○○○

Knoten und Maschen
○○○○●

Kreisstromverfahren
○○○○

Ersatzquellen
○○○○○

Knoten und Maschen

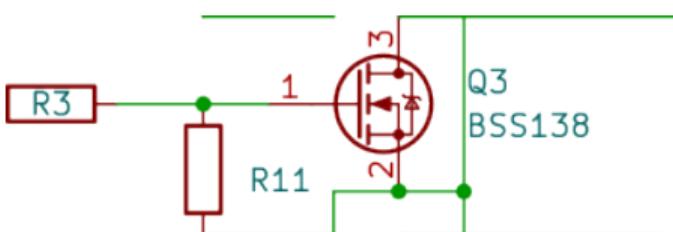
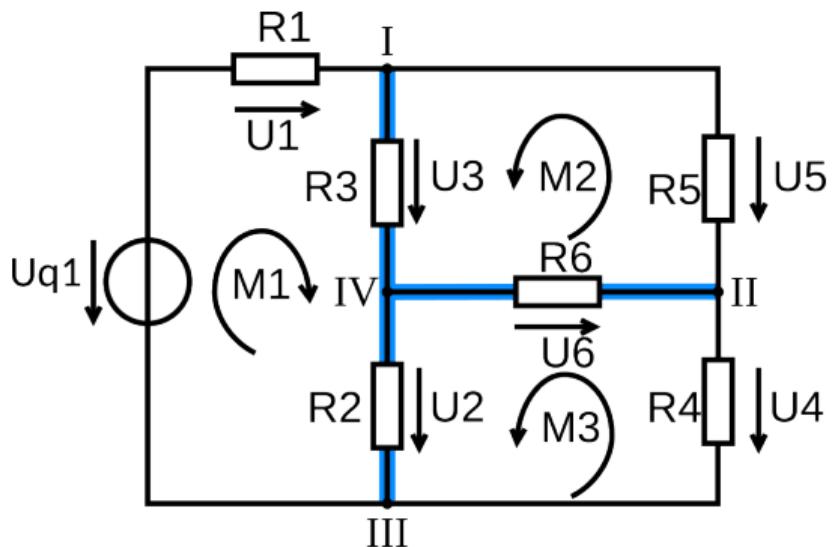


Abbildung: Schaltplan Ausgang

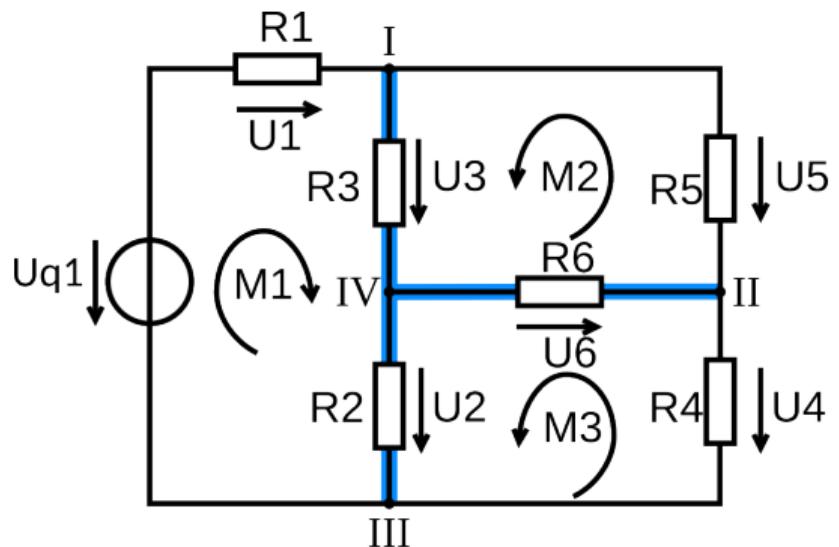
Kreisstromverfahren - Baum I



1. Baum festlegen (alle Knoten berühren, kein Umlauf).
 2. Maschen einzeichnen (Umlaufsinn ist willkürlich)
 3. Gleichungen aufstellen.

Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

Kreisstromverfahren - Baum II



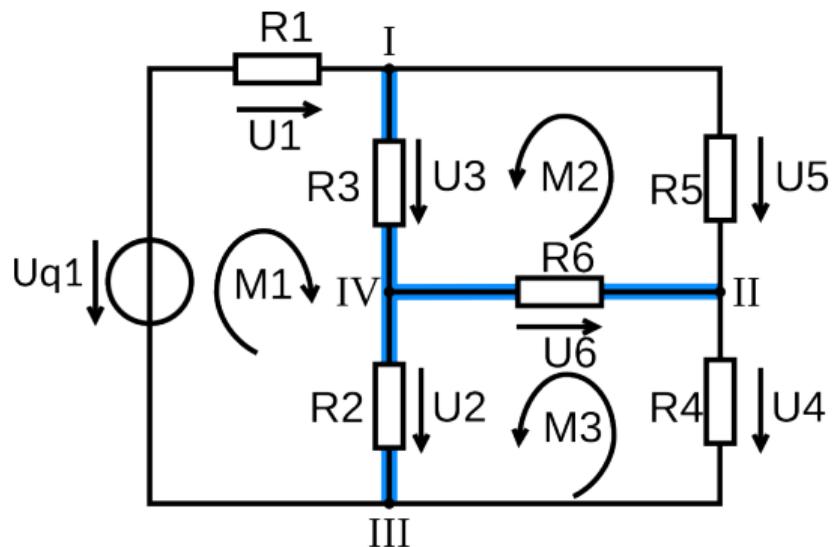
Gleichungssystem

1. Hauptdiagonale: R_s in der Masche
2. Nebendiagonalen: Verbindungs- R_s
3. Quelle in Quellen-Vektor

Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

Zweipole
○○○○○Spannungsteiler
○○Überlagerung
○○○○○○○○
○○○○○Dreieck <-> Stern
○○○○○○Gleichungen
○○○○○○○○Knoten und Maschen
○○○○○○○○Kreisstromverfahren
○○●○Ersatzquellen
○○○○○

Kreisstromverfahren - Gleichungssystem



Gleichungssystem >

$$\begin{pmatrix} R_1 + R_2 + R_3 \\ R_3 \\ R_3 + R_5 + R_6 \\ -R_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_3 \\ R_3 + R_5 + R_6 \\ R_2 \\ R_2 + R_4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{q1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

Kreisstromverfahren - Gleichungssystem

$$\left| \begin{array}{ccc|c} & M1 & M2 & M3 \\ M1 & R1 + R2 + R3 & R3 & R2 \\ M2 & R3 & R3 + R5 + R6 & -R6 \\ M3 & R2 & -R6 & R2 + R4 + R6 \end{array} \right| * \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{q1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

LGS lösen:

- per Hand - z.B. gaußsches Eliminationsverfahren
Matrix und Spannungs-Vektor in Dreiecksform bringen.
- im Taschenrechner - LGS Solver
Matrix und Spannungsvektor eintippen.
Ergebnis ist Strom Vektor (von oben nach unten).
- mit dem PC z.B. octave (open source) - Eingabe vergleichbar mit
Taschenrechner

Umwandlung Stromquelle → Spannungsquelle I

Ideale Stromquelle

- liefert definierten, konstanten Strom
- Spannung ist unerheblich
- Innenwiderstand (R_i) ist parallel geschaltet.

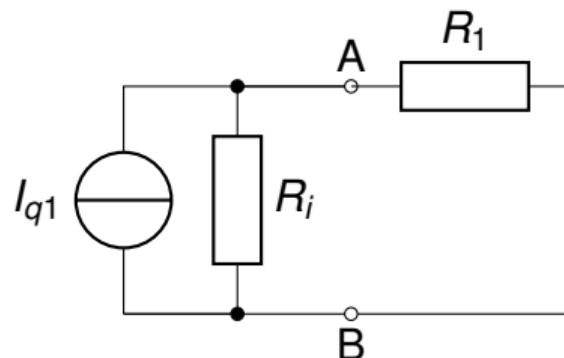


Abbildung: Stromquelle

Umwandlung Stromquelle → Spannungsquelle II

Stromquelle in Spannungsquelle

- Wert von R_i bleibt,
- R_i geht in Reihe zu U_q
- Spannung: $U_I = I_k \cdot R_i$

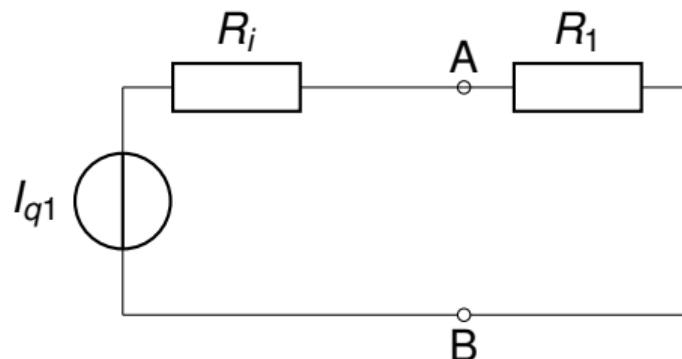


Abbildung: Spannungsquelle

Umwandlung Spannungsquelle → Stromquelle

Spannungsquelle in Stromquelle

- Wert von R_i bleibt
- R_i ist jetzt parallel zu I_q
- Strom: $I_k = \frac{U_i}{R_i}$

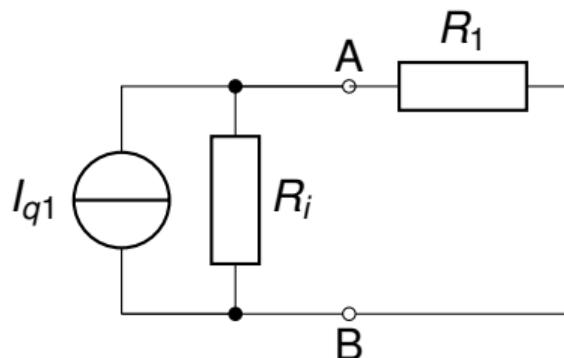


Abbildung: Stromquelle

Stromquelle mit „zusätzlichem“ Widerstand

Ideale Stromquelle

- R_i ist parallel zu I_q

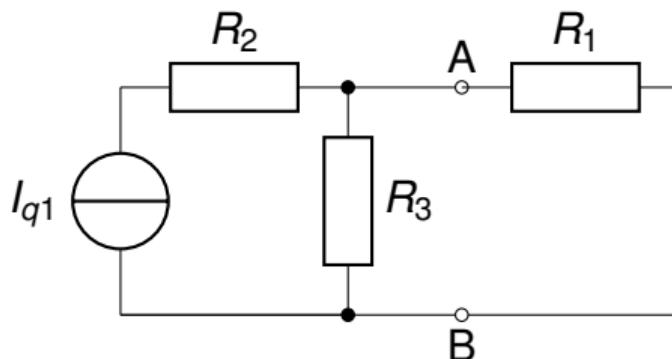


Abbildung: Stromquelle

Stromquelle mit „zusätzlichem“ Widerstand

Ideale Stromquelle

- R_i ist parallel zu I_q
- R₂ ist irrelevant

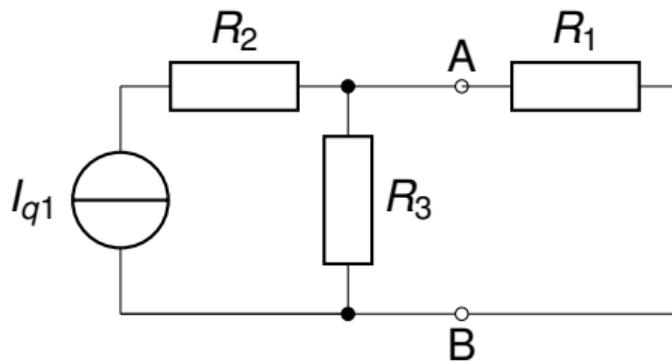


Abbildung: Stromquelle

Spannungsquelle mit „zusätzlichem“ Widerstand

Ideale Spannungsquelle

- R_i ist in Reihe zu U_q

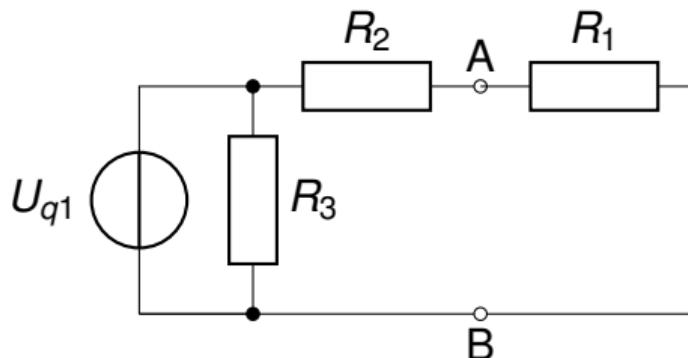


Abbildung: Spannungsquelle

Spannungsquelle mit „zusätzlichem“ Widerstand

Ideale Spannungsquelle

- R_i ist in Reihe zu U_q
- R_3 ist irrelevant

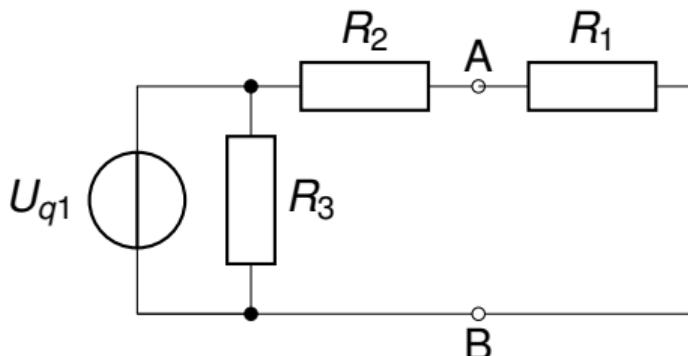


Abbildung: Spannungsquelle