

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

# Teil I

## Themenfeld 12.1 - Gleichstromnetzanalyse

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz  
(Pflicht)

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

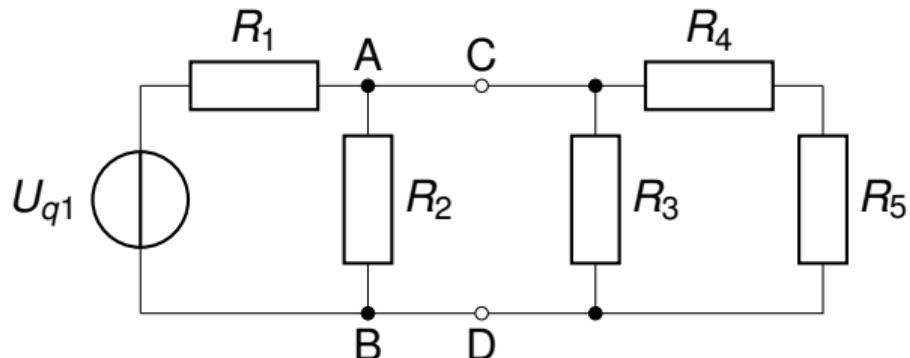
Knoten- und Maschengleichungen  
(Pflicht)

Knoten und Maschen

Kreisstromverfahren

## Zweipole

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



## Werte für Berechnung

$$R_1 = 10\Omega$$

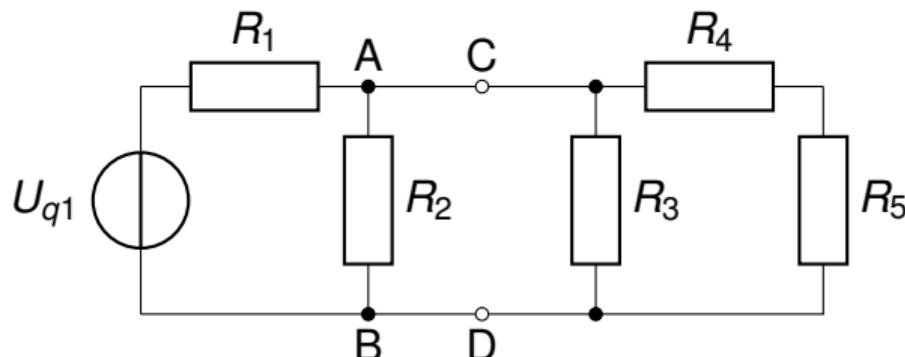
$$R_2 = 20\Omega$$

$$R_3 = 30\Omega$$

$$R_4 = 40\Omega$$

$$R_5 = 50\Omega$$

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



## Berechnung des Ersatzwiderstands

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

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

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

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

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

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

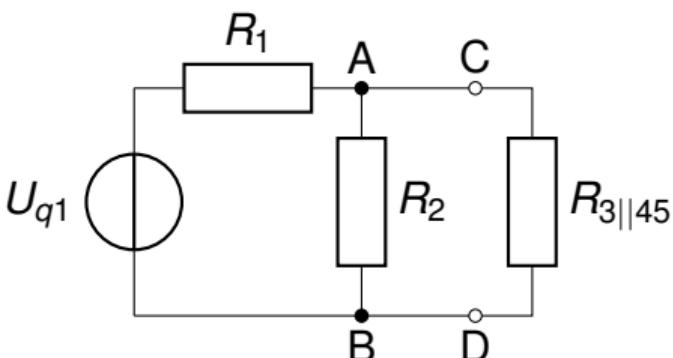


Abbildung: Berechnung  
des Ersatzwiderstands

## 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  $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 150\Omega$   $R_3 = 120\Omega$

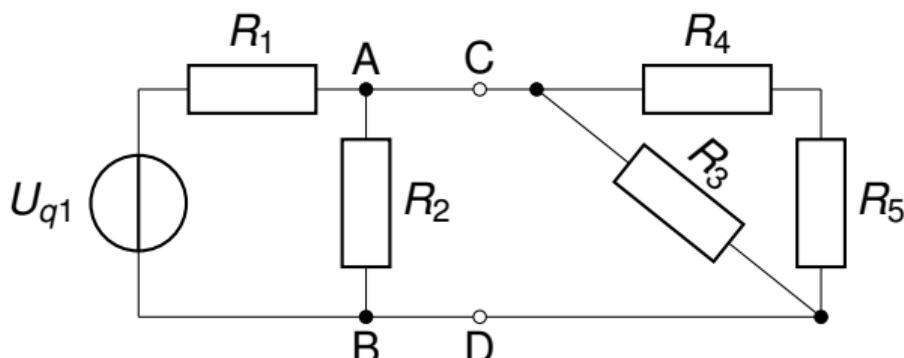


Abbildung: Schaltung zu Übung Ersatzzweipol - Teil 1

## 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  $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 150\Omega$   $R_3 = 120\Omega$

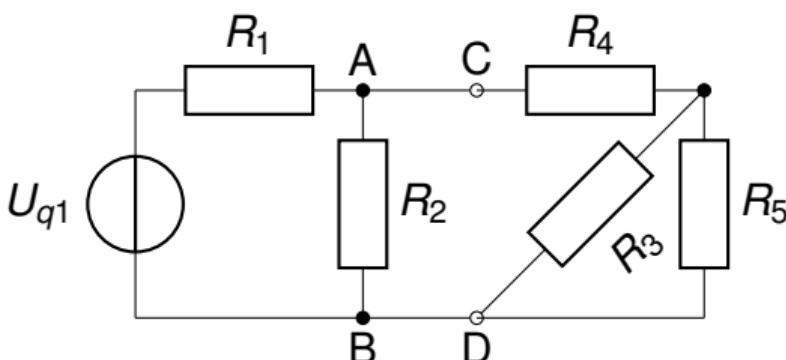
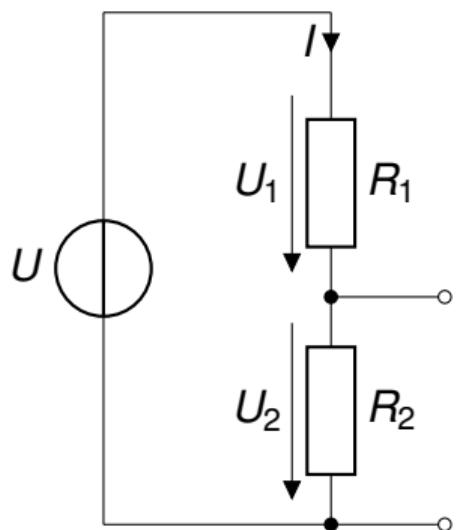


Abbildung: Schaltung zu Übung Ersatzzweipol - Teil 2

# Spannungsteiler



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

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

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

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

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

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

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

# Übungsaufgaben zu Spannungsteiler

U [V]	R <sub>1</sub> [Ω]	R <sub>2</sub> [Ω]	I <sub>R1</sub>	I <sub>R2</sub>
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  
○○○○

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

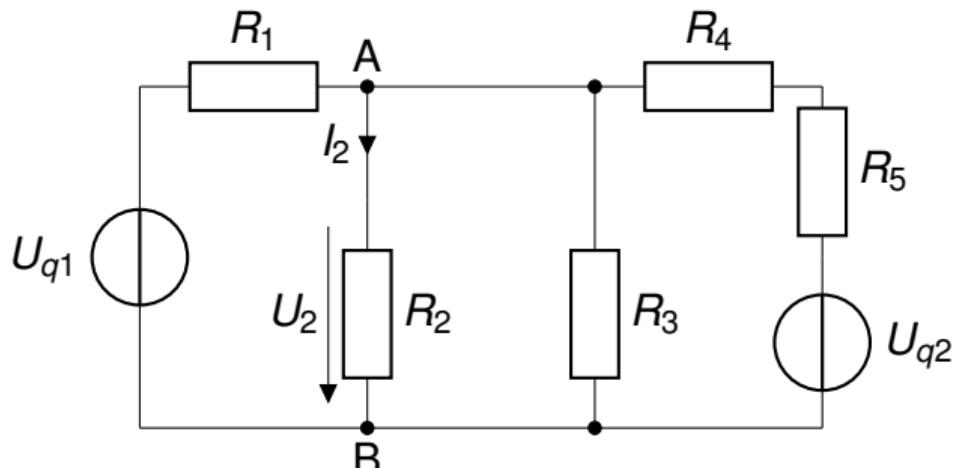
Aufgaben zu Überlagerung

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Knoten und Maschen

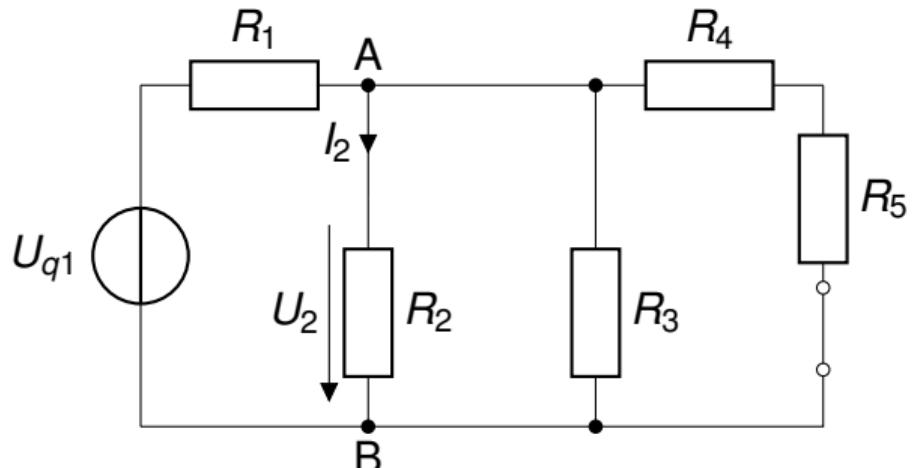
## Zwei Spannungsquellen $U_1$ und $U_2$



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

Abbildung: Überlagerung, Schaltung 1, Zwei Quellen aktiv

## Zwei Spannungsquellen $U_1$ und $U_2$



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

Abbildung: Nur Quelle eins aktiv

Zweipole  
○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○●○○○  
○○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## 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  
○○○○

## 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  
○○○○

## 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  
○○○○

## Einsetzen II

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

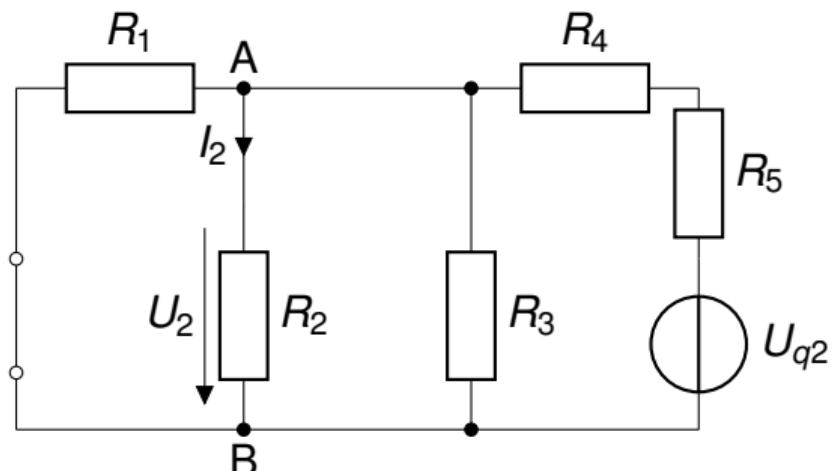
$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}$$

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

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

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

## Zwei Spannungsquellen $U_1$ und $U_2$



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

Abbildung: Nur Quelle zwei aktiv

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○●○○○  
○○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## 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)

## 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  
○○○○

## Addition

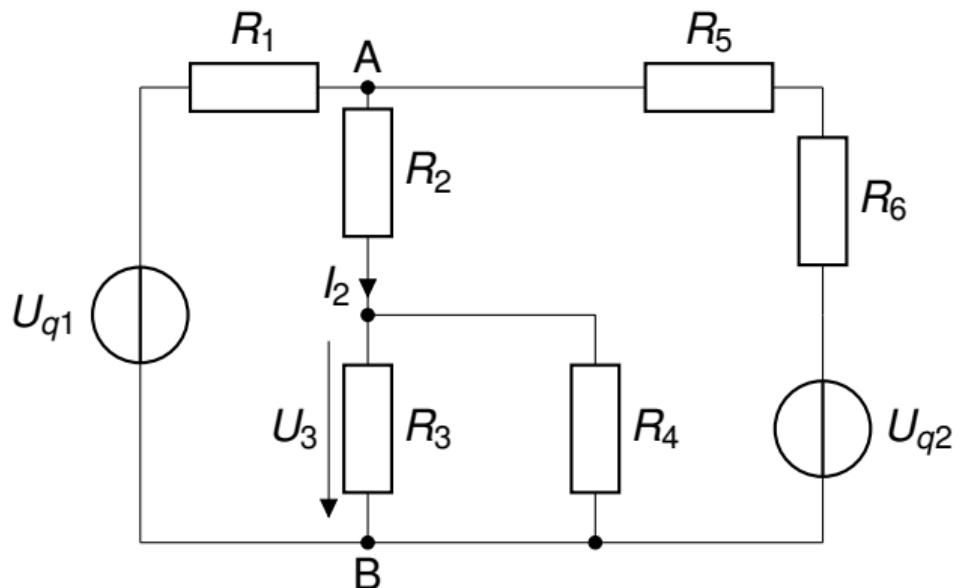
Zum Abschluss werden die beiden Teilspannungen addiert.

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

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

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

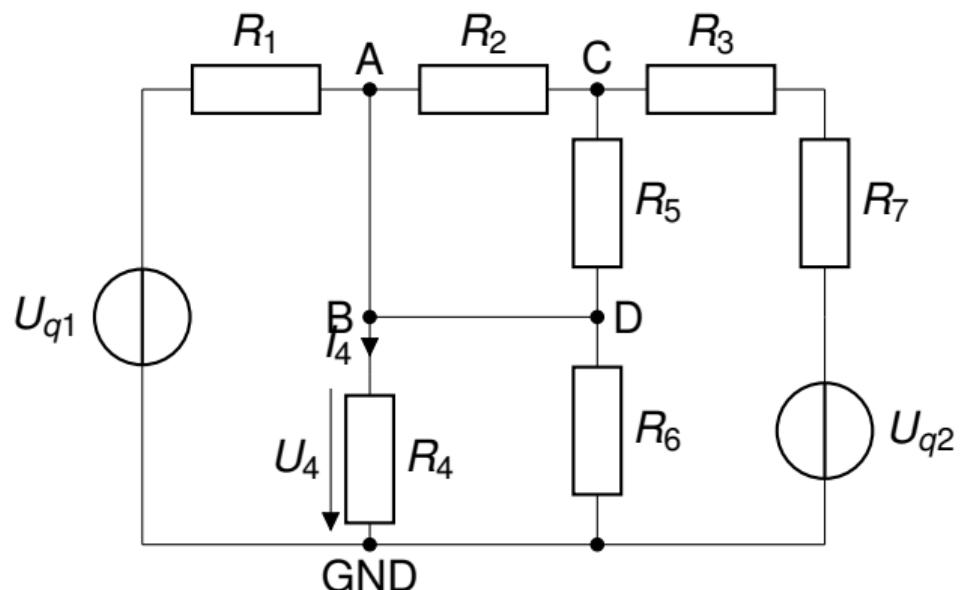
## Schaltung 2



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

### 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  
ooooo

Spannungsteiler  
o

Überlagerung  
ooooooo  
oo  
oo

Dreieck <-> Stern  
●ooooo

Gleichungen  
ooooooo

Knoten und Maschen  
ooooo

Kreisstromverfahren  
oooo

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Knoten und Maschen

Kreisstromverfahren

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○●○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Messbrücke

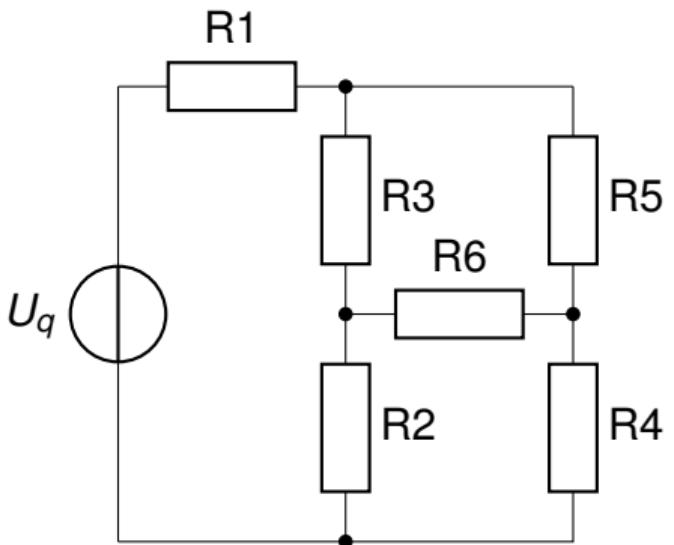


Abbildung: Messbrücke

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○●○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Messbrücke

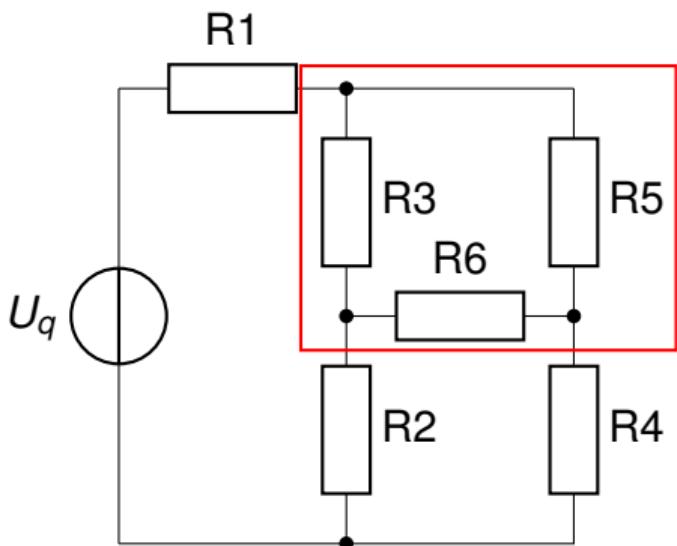


Abbildung: Messbrücke

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○  
○○

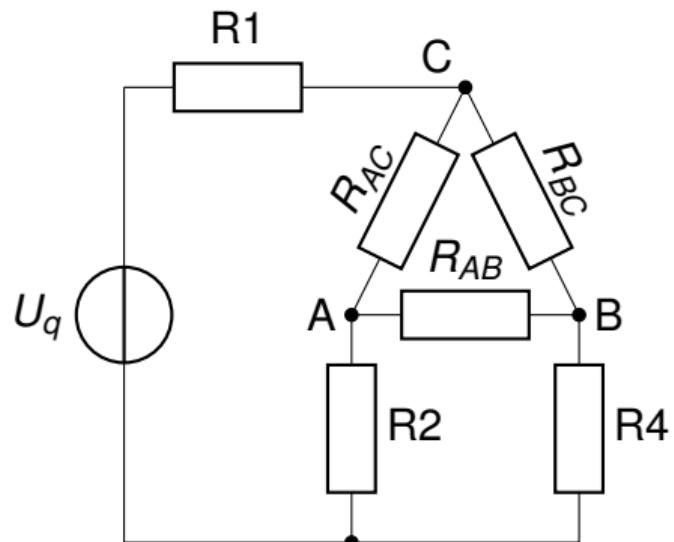
Dreieck <-> Stern  
○○●○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Messbrücke - Stern-Dreieck



$$R_{AC} = R_3$$

$$R_{AB} = R_6$$

$$R_{BC} = R_5$$

Abbildung: Messbrücke

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

## Umwandlung Dreieck -> Stern

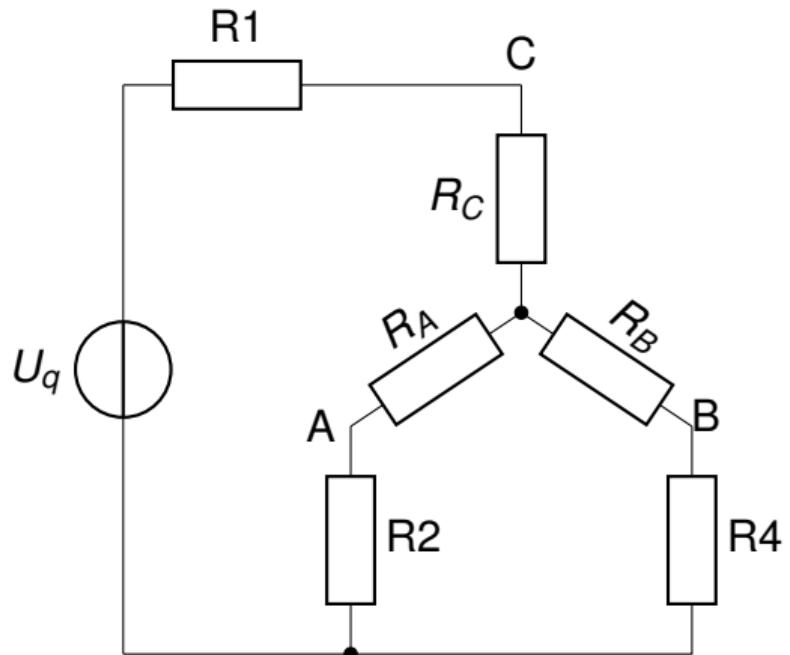
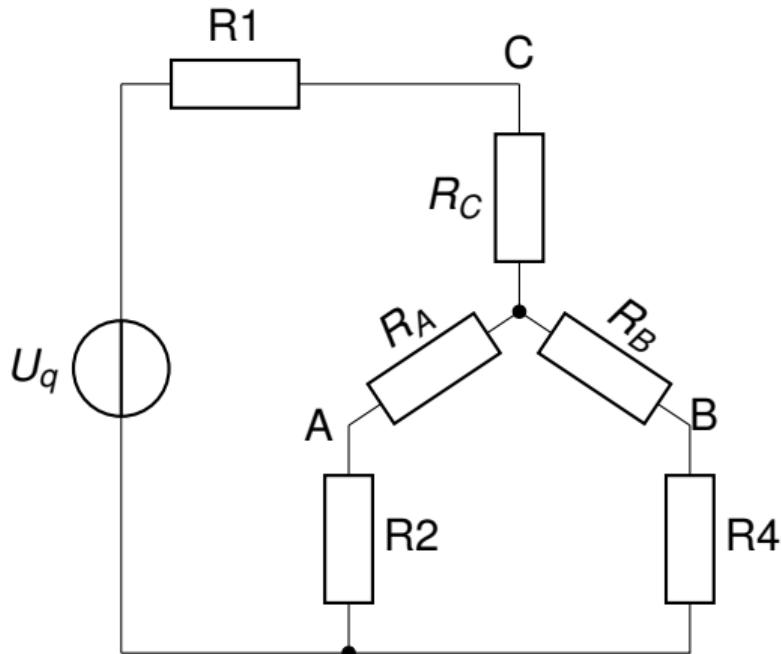


Abbildung: Messbrücke

Zweipole  
oooooSpannungsteiler  
o oÜberlagerung  
ooooooo  
oo  
ooDreieck <-> Stern  
ooo•oooGleichungen  
ooooooooKnoten und Maschen  
ooooooKreisstromverfahren  
oooo

## 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

Zweipole  
○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○○○  
○○

Dreieck  $\leftrightarrow$  Stern  
○○○●○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Umwandlung - Stern- > Dreieck

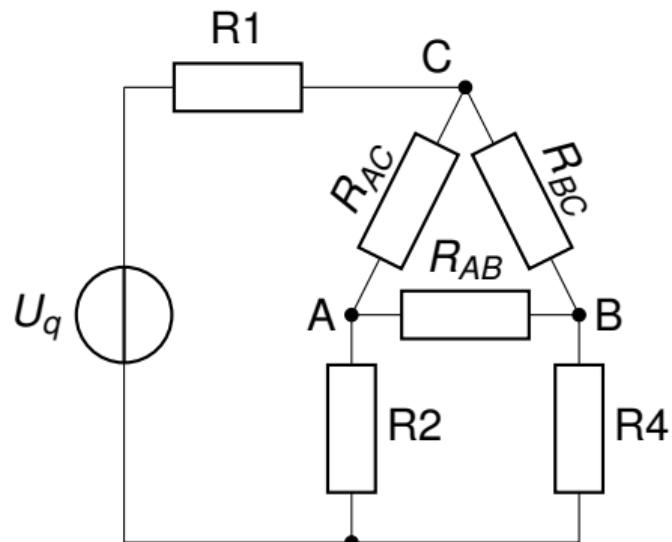
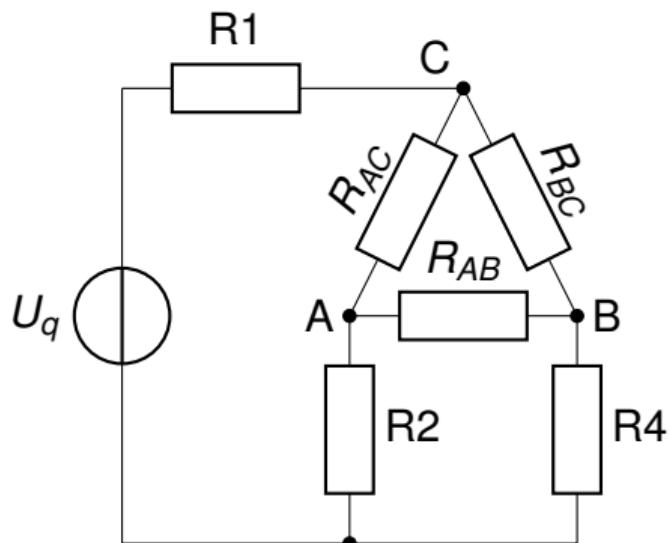


Abbildung: Messbrücke

## 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

## Aufgabe: Messbrücke

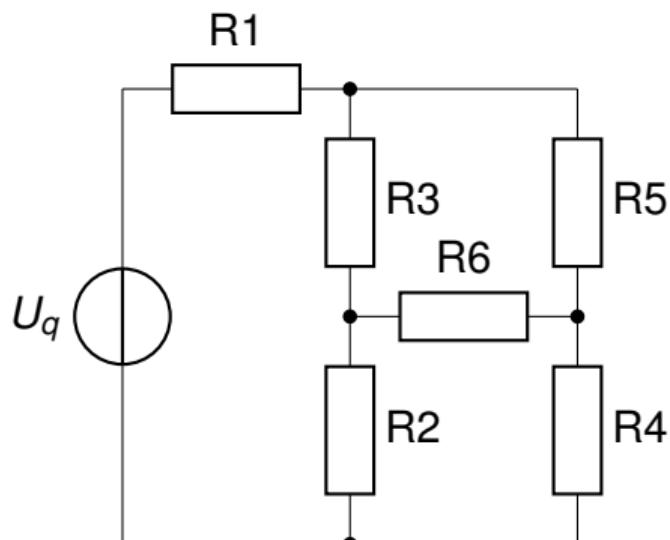


Abbildung: Messbrücke

$$R_1 = 220 \Omega$$

$$R_2 = 470 \Omega$$

$$R_3 = 330 \Omega$$

$$R_4 = 330 \Omega$$

$$R_5 = 560 \Omega$$

$$R_6 = 390 \Omega$$

$$U_q = 5 V$$

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

gesucht: Strom und Spannung an  $R_6$ ,  $R_4$  und  $R_5$

Zweipole  
○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○●

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Lösung zu Messbrücke

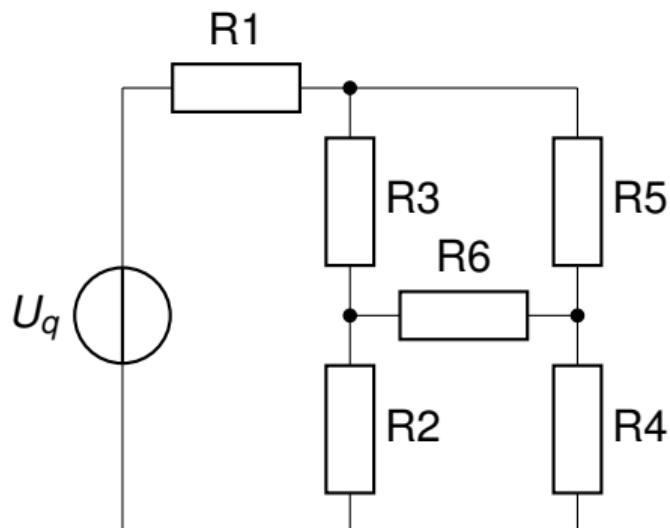


Abbildung: Messbrücke

$$R_1 = 220 \Omega$$

$$R_2 = 470 \Omega$$

$$R_3 = 330 \Omega$$

$$R_4 = 330 \Omega$$

$$R_5 = 560 \Omega$$

$$R_6 = 390 \Omega$$

$$U_q = 5 V$$

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

Zweipole  
ooooo

Spannungsteiler  
o

Überlagerung  
ooooooo  
oo

Dreieck <-> Stern  
oooooo

Gleichungen  
●oooooo

Knoten und Maschen  
ooooo

Kreisstromverfahren  
oooo

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Spannungsteiler

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Knoten und Maschen

Kreisstromverfahren

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○○○  
○○○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○●○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Schaltung - Maschen

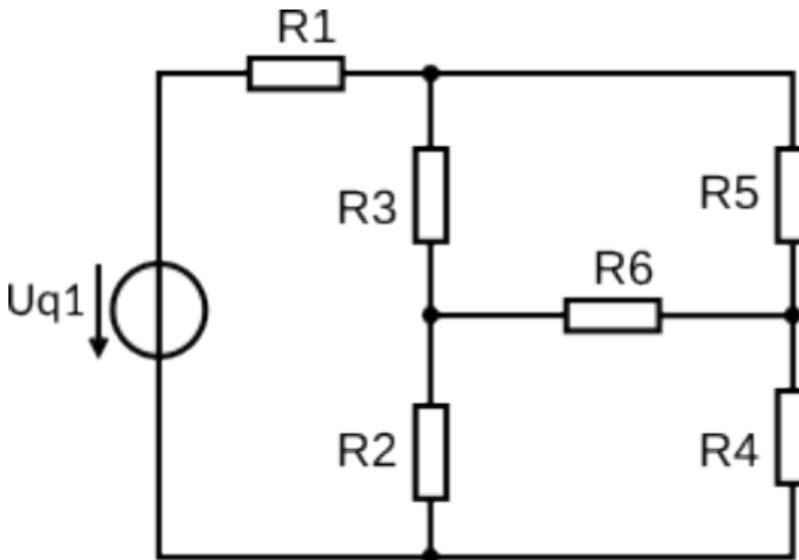


Abbildung: Messbrücke

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○●○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Schaltung - Maschen

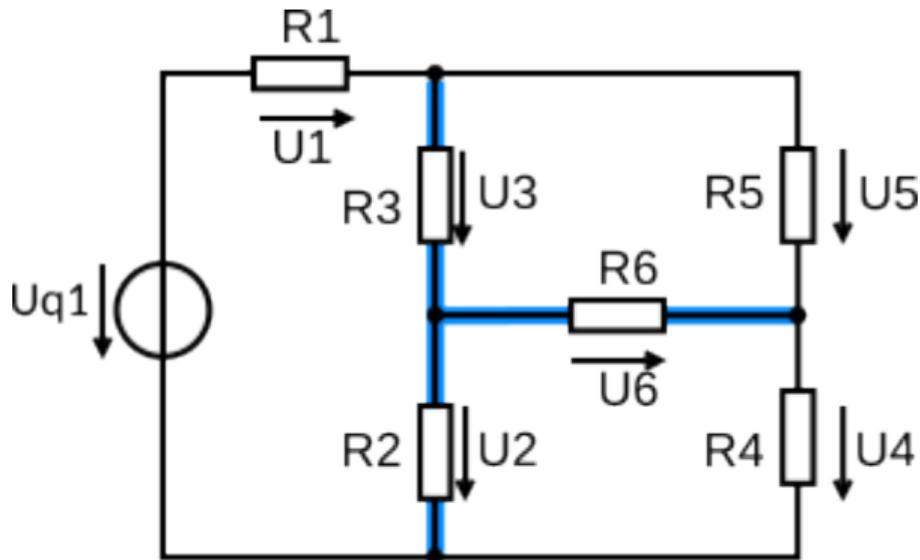


Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum

## Schaltung - Maschen

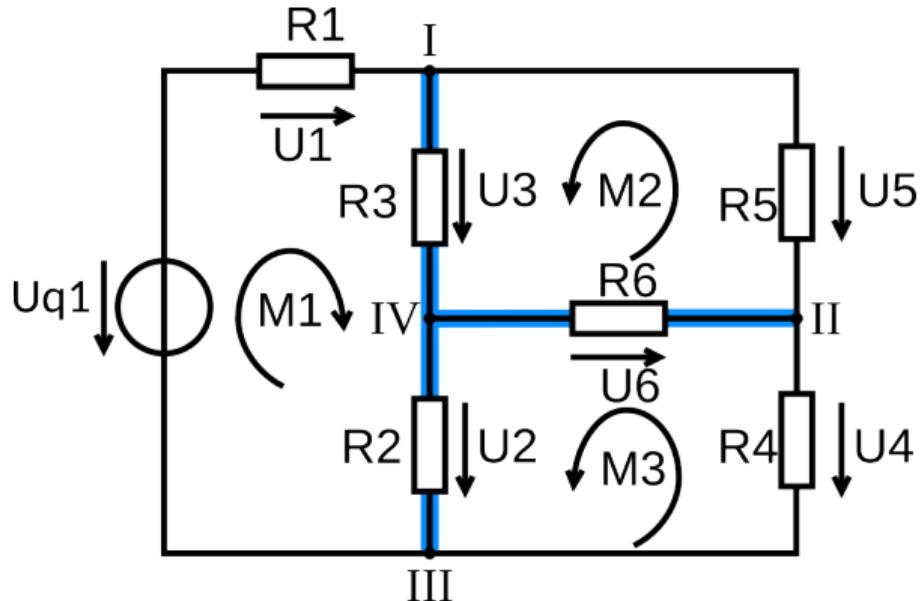


Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

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

## 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  
○○○○

## 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  
○○○○

## LGS aufstellen

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

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

$$U_q = 5 V$$

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

## 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  
○○○○

## 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  
○○○○

## Stufenform - Beispiel

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

Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○○○  
○○

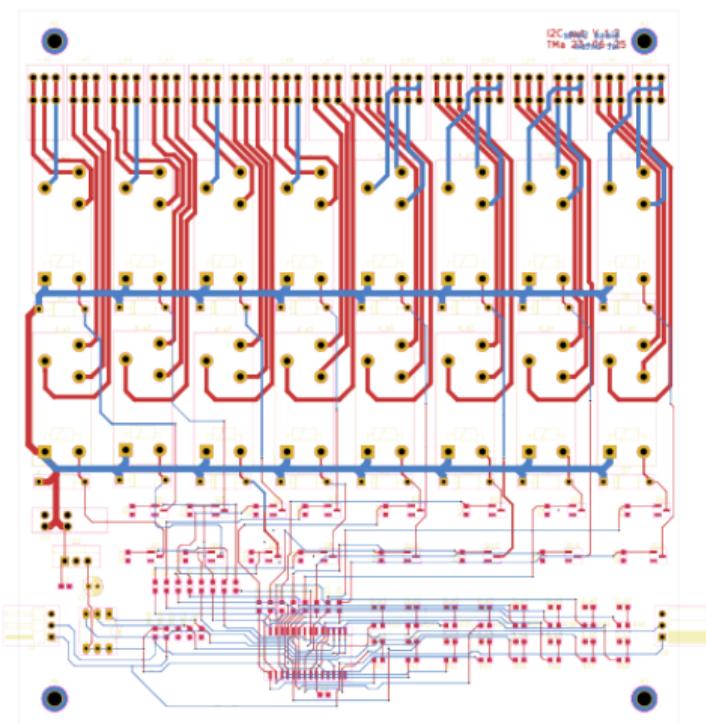
Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
●○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Knoten und Maschen



Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○  
○○○○  
○○

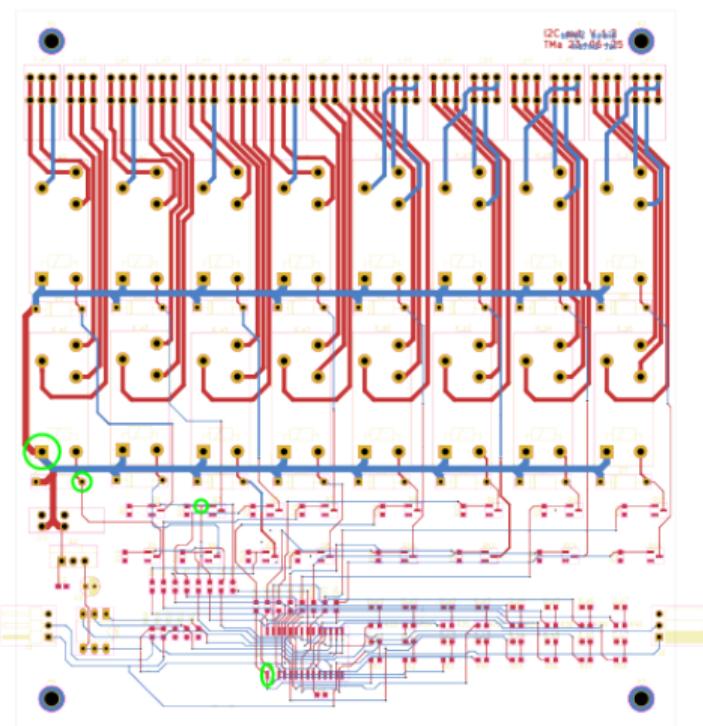
Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○●○○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Knoten und Maschen



Zweipole  
○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○○  
○○○○  
○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○●○○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Knoten und Maschen

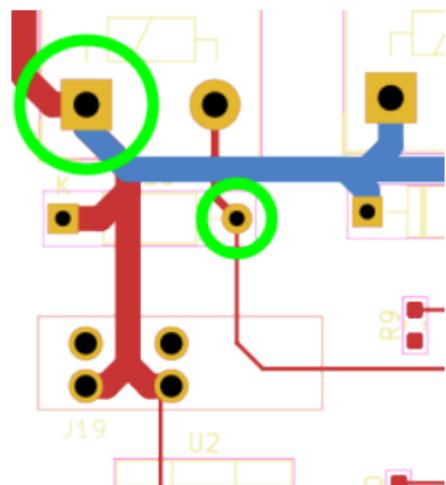


Abbildung: Platine Ausgang

Zweipole  
○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○○  
○○○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○●○○

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Knoten und Maschen

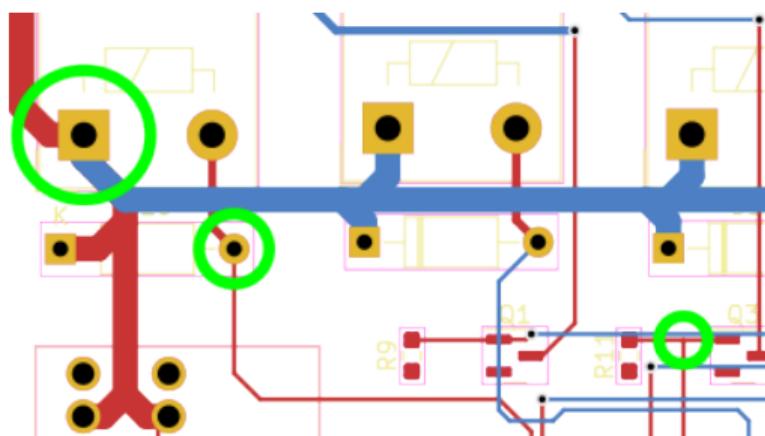
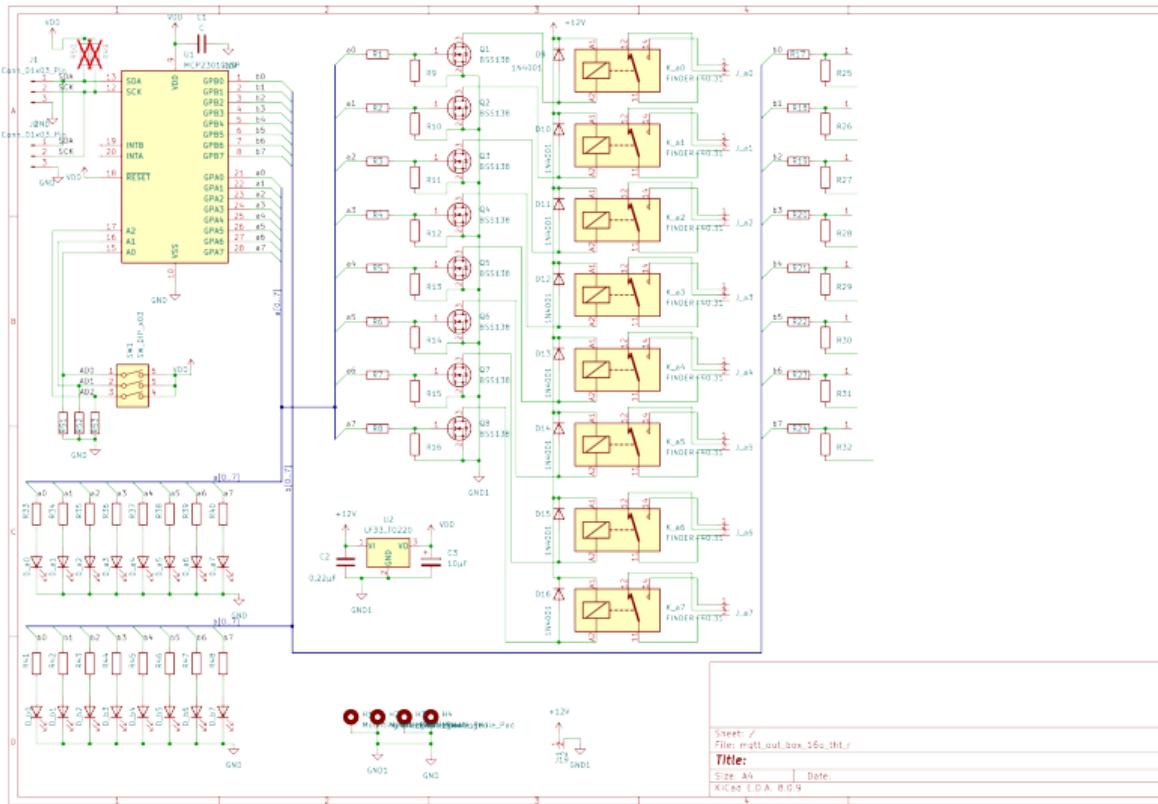


Abbildung: Platine Ausgang

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

# Knoten und Maschen



Zweipole  
○○○○○

Spannungsteiler  
○○

Überlagerung  
○○○○○○○  
○○○○○

Dreieck <-> Stern  
○○○○○

Gleichungen  
○○○○○○○

Knoten und Maschen  
○○○○●

Kreisstromverfahren  
○○○○

## Knoten und Maschen

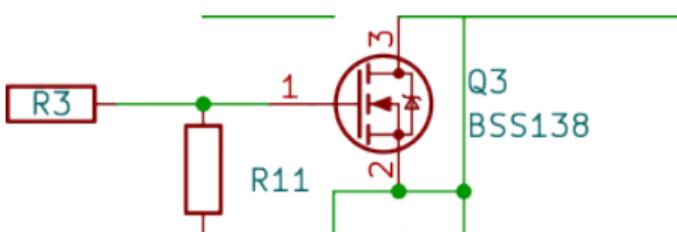
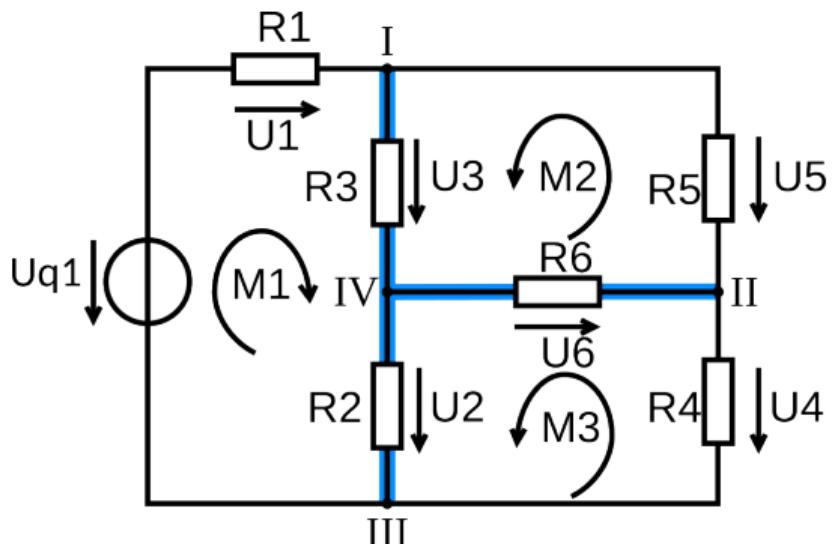


Abbildung: Schaltplan Ausgang

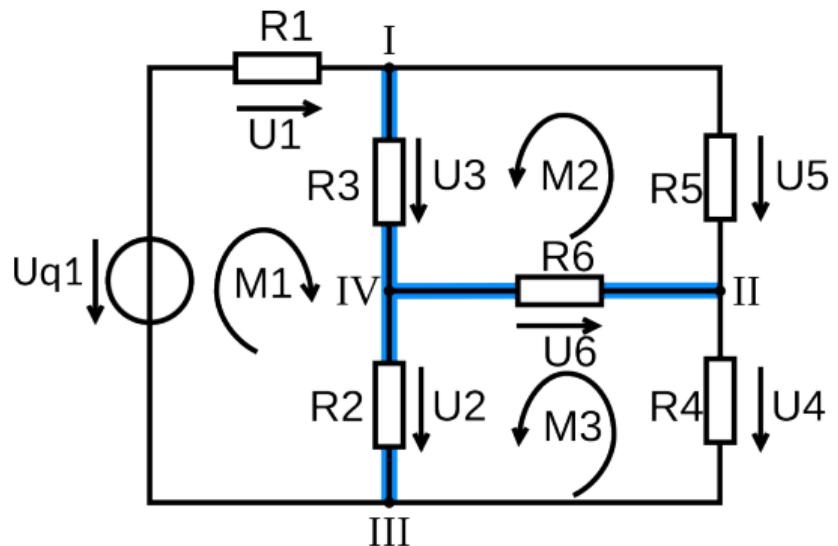
## Kreisstromverfahren - Baum I



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

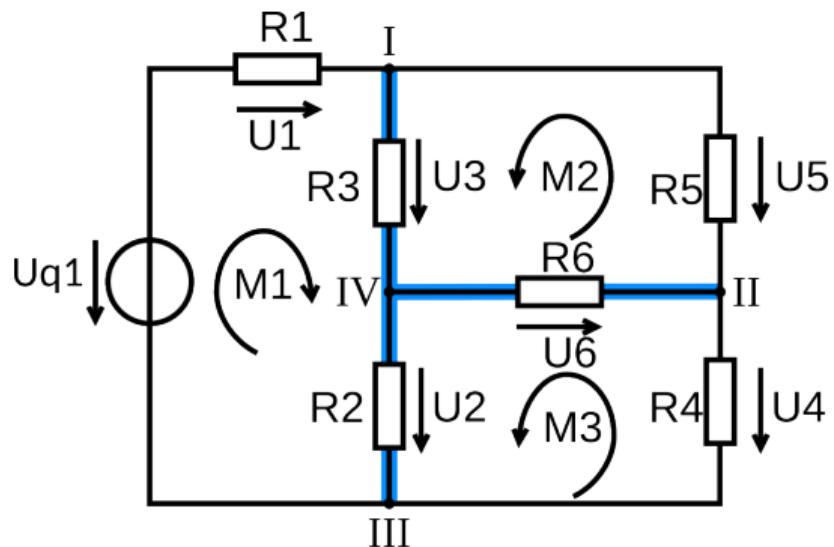


Gleichungssystem

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

Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

## Kreisstromverfahren - Gleichungssystem



Gleichungssystem

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

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

Abbildung: Messbrücke mit vollständigem Baum und Maschen

## Kreisstromverfahren - Gleichungssystem

$$\begin{pmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & R_3 & R_2 \\ R_3 & R_3 + R_5 + R_6 & -R_6 \\ R_2 & -R_6 & R_2 + R_4 + R_6 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{q1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

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