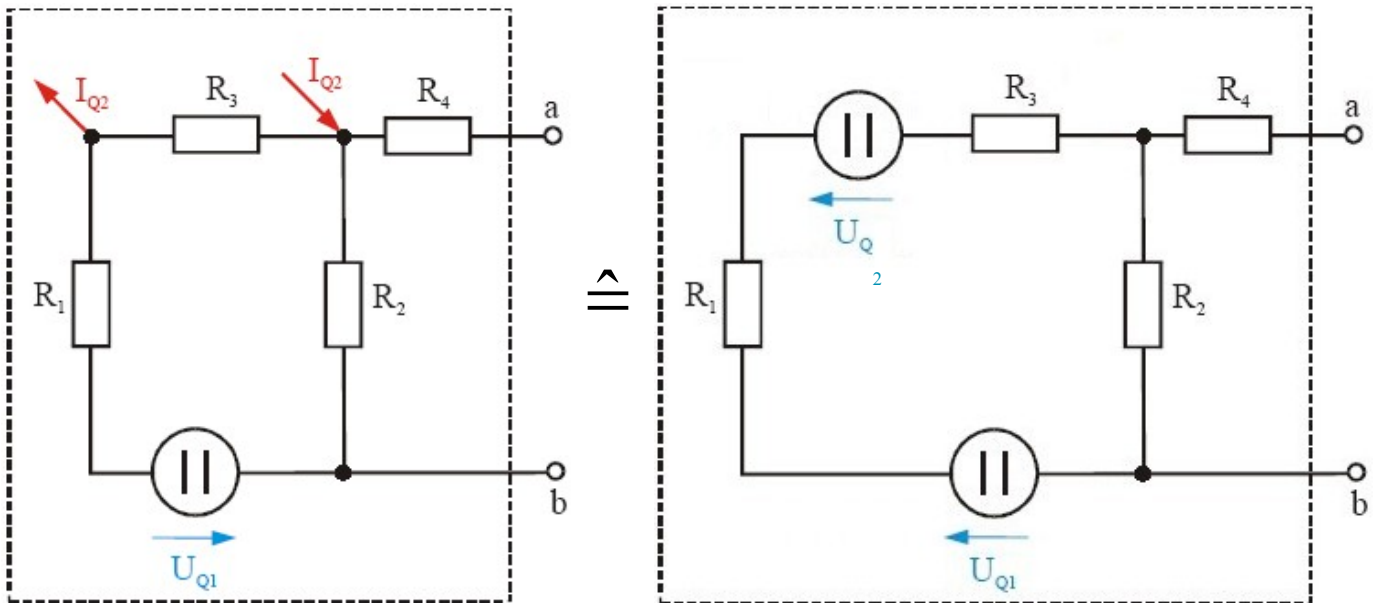
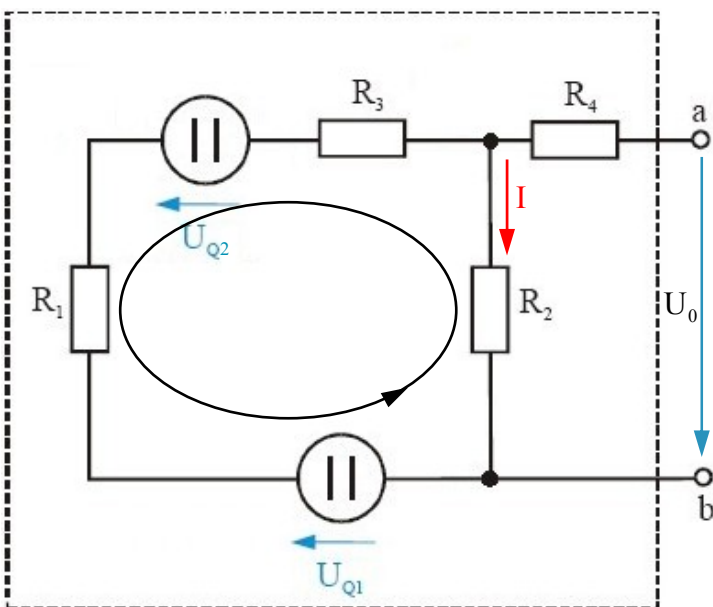


Als erstes sollte man die Stromquelle in eine Spannungsquelle umwandeln und die Pfeilrichtung der Spannungsquelle U_{Q1} umdrehen, damit alle Werte positiv sind.



Der Innenwiderstand der Stromquelle I_{Q2} ist der Widerstand R_3 . Also fließt im Leerlauf der Stromquelle der gesamte Strom durch diesen Widerstand und erzeugt eine Leerlaufspannung von rechts nach links. Diese entspricht der Quellenspannung U_{Q2} und wird berechnet aus: $\underline{U_{Q2}} = I_{Q2} \cdot R_3 = 20\text{mA} \cdot 500\Omega = \underline{10\text{V}}$.



Die Leerlaufspannung U_0 zwischen a und b fällt komplett am Widerstand R_2 ab. Durch den Leerlauf fließt kein Strom durch den Widerstand R_4 , also fällt nach dem Ohmschen Gesetz auch keine Spannung ab. Rechnerisch bedeutet dies: $U_0 = I \cdot R_2$. Der Strom I fließt komplett über die Widerstände R_1 bis R_3 und teilt sich nirgendwo auf. Die Richtung ist willkürlich angenommen, denn

1. es existieren mehr als eine Quelle und
2. beide Quellen geben Ströme ab, welche sich überlagern.

Mit Hilfe einer Masche über die oben genannten Widerstände und beide Quellen lässt sich dieser unbekannte Strom berechnen. Die Spannungen an den Widerständen zeigen alle

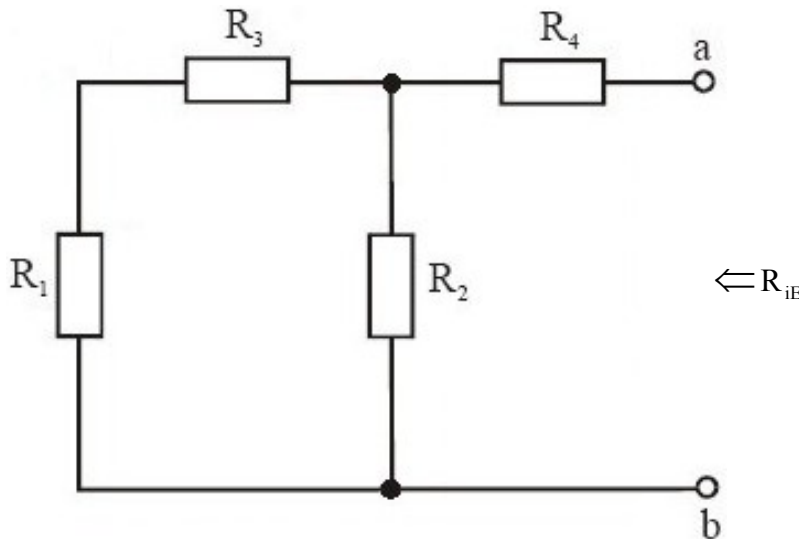
in die gleiche Richtung, in welche der Strom fließt. Die Umlaufrichtung der Masche ist frei wählbar, demnach ergibt sich für die obere Richtung: $-U_{Q1} - I \cdot R_2 - I \cdot R_3 + U_{Q2} - I \cdot R_1 = 0$. Diese Gleichung wird nach der unbekanntem Größe I umgestellt: $U_{Q2} - U_{Q1} = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$

$$\Leftrightarrow U_{Q2} - U_{Q1} = I \cdot (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\Leftrightarrow \underline{I} = \frac{U_{Q2} - U_{Q1}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{10\text{V} - 15\text{V}}{100\Omega + 250\Omega + 500\Omega} = \frac{-5\text{V}}{850\Omega} = \underline{\underline{-5,88\text{mA}}}$$

Das negative Vorzeichen bedeutet, dass der Strom nicht wie angenommen von oben nach unten, sondern von unten nach oben fließt. Belässt man die Pfeilrichtung bei, rechnet man mit den negativen Werten weiter.

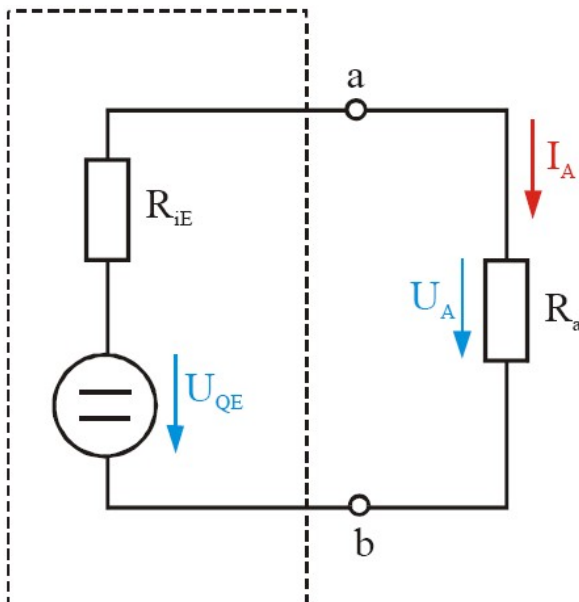
Diesen Wert setzt man in die Gleichung für U_0 ein: $\underline{U_0} = U_{QE} = I \cdot R_2 = -5,88\text{mA} \cdot 250\Omega = \underline{\underline{-1,47\text{V}}}$



Für die Berechnung des Innenwiderstands wird die Spannungsquelle kurzgeschlossen und die Stromquelle aufgetrennt. Das bedeutet, R_1 und R_3 liegen in Reihe. Diese beiden Widerstände liegen parallel zu R_2 und dieser Gesamtwiderstand in Reihe zu R_4 – bezogen auf die Klemmen a und b:

$$\begin{aligned}\underline{R_{iE}} &= (R_1 + R_3) \parallel R_2 + R_4 \\ &= (100\Omega + 500\Omega) \parallel 250\Omega + 200\Omega \\ &= \frac{600\Omega \cdot 250\Omega}{600\Omega + 250\Omega} + 200\Omega \\ &= \underline{\underline{376,47\Omega}}\end{aligned}$$

Mit beiden Werten kann man das Ersatzschaltbild vervollständigen und die gesuchten Größen I_A und U_A bestimmen.

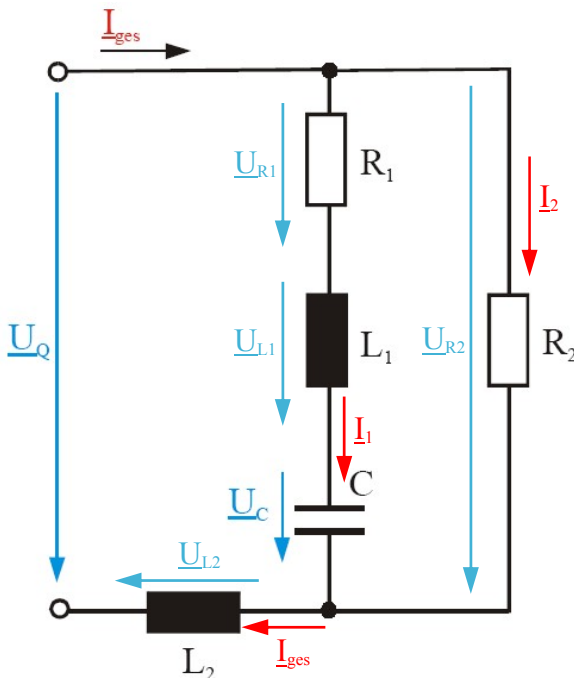


$$\underline{I_A} = \frac{U_{QE}}{R_{iE} + R_a} = \frac{-1,47\text{V}}{376,47\Omega + 1\text{k}\Omega} = \frac{-1,47\text{V}}{1,37\text{k}\Omega} = \underline{\underline{-1,07\text{mA}}}$$

$$\underline{U_A} = I_A \cdot R_a = -1,07\text{mA} \cdot 1\text{k}\Omega = \underline{\underline{-1,07\text{V}}}$$

Die negativen Werte rühren daher, dass die angenommene Pfeilrichtung beibehalten worden ist.

Für das Erstellen des Zeigerdiagramms ist es nötig, in die entsprechende Schaltung alle Spannungen und Ströme einzutragen.



Der Betrag der Spannung \underline{U}_C ist 10V. Damit kann man den Strom \underline{I}_1 berechnen und sämtliche Spannungen an Bauteilen, welche von diesem Strom durchflossen werden – also \underline{U}_{R1} und \underline{U}_{L1} .

$$|\underline{I}_1| = \frac{|\underline{U}_C|}{|j \cdot X_C|} = \frac{|\underline{U}_C|}{|X_C|} = \frac{|\underline{U}_C|}{150\Omega} = \underline{\underline{0,06\text{A}}}$$

$$|\underline{U}_{R1}| = |\underline{I}_1 \cdot R_1| = |\underline{I}_1| \cdot R_1 = 0,06\text{A} \cdot 200\Omega = \underline{\underline{13,3\text{V}}}$$

$$|\underline{U}_{L1}| = |\underline{I}_1 \cdot j \cdot X_{L1}| = |\underline{I}_1| \cdot |j \cdot X_{L1}| = |\underline{I}_1| \cdot X_{L1} = 0,06\text{A} \cdot 120\Omega = \underline{\underline{8,0\text{V}}}$$

Legt man über die Reihenschaltung R_1 , L_1 und C sowie über den parallel dazu liegenden Widerstand R_1 eine Masche entgegengesetzt des Uhrzeigersinns, gilt folgende Beziehung: $-\underline{U}_{R2} + \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{L1} + \underline{U}_C = 0$

$$\Leftrightarrow \underline{U}_{R2} = \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{L1} + \underline{U}_C$$

Die Spannung \underline{U}_{R2} ist demnach die **geometrische** Summe der Spannungen in der Reihenschaltung. Die Spannungen \underline{U}_{L1} und \underline{U}_C liegen auf derselben Wirkungslinie. Sie sind zueinander um 180° phasenverschoben, daher subtrahieren sie sich. Weil sie eine Phasenverschiebung zu \underline{U}_{R2} von 90° haben, kann man hier den Satz des Pythagoras anwenden:

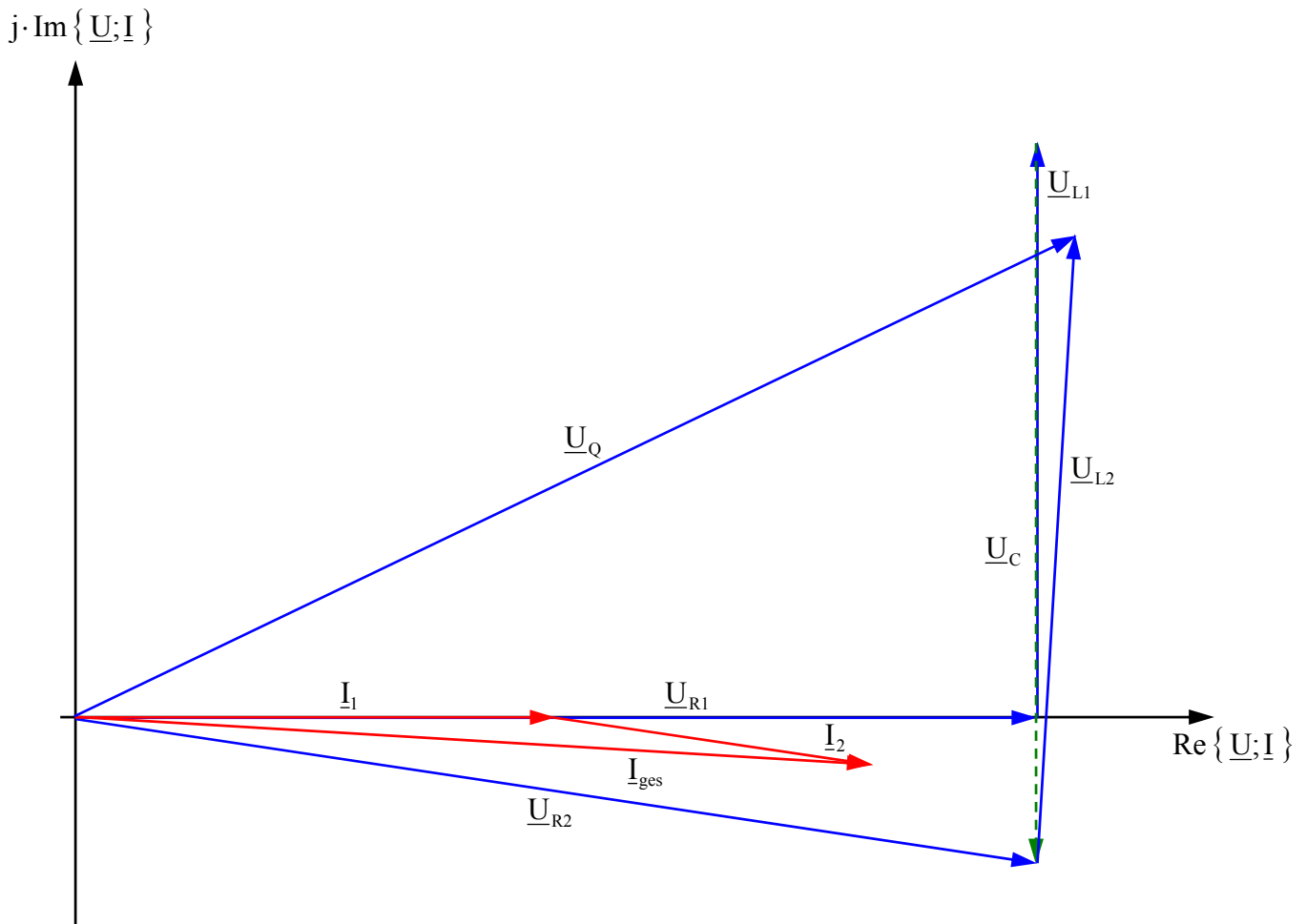
$$|\underline{U}_{R2}| = \sqrt{|\underline{U}_{R1}|^2 + (|\underline{U}_{L1}| - |\underline{U}_C|)^2} = \sqrt{(13,3\text{V})^2 + (8\text{V} - 10\text{V})^2}$$

$$\Leftrightarrow |\underline{U}_{R2}| = \sqrt{181,7\text{V}^2} = \underline{\underline{13,48\text{V}}}$$

$$|\underline{I}_2| = \frac{|\underline{U}_{R2}|}{R_2} = \frac{|\underline{U}_{R2}|}{300\Omega} = \frac{13,48\text{V}}{300\Omega} \approx \underline{\underline{45\text{mA}}}$$

Nach dieser letzten Rechnung bietet es sich an, dass Zeigerdiagramm zu zeichnen. Aus dem Diagramm entnimmt man mit dem Lineal und dem Maßstab die Größe der Gesamtstroms $\underline{I}_{\text{ges}}$. Mit dieser Größenangabe kann man die letzte unbekannte Spannung berechnen, nämlich \underline{U}_{L2} . Zeichnet man diese ins Zeigerdiagramm ein, ergibt sich nach **geometrischer** Addition die gesuchte Gesamtspannung \underline{U}_Q .

Es empfiehlt sich bei dieser Aufgabe mit einer Größe zu beginnen, aus der man viele weitere Zusammenhänge (also zwischen Spannung und Strom) ableiten kann. Das ist bei dieser Aufgabe der Strom \underline{I}_1 . Weil keine weitere Winkelangabe gegeben ist, kann man diesen Strom in das Zeigerdiagramm legen wie man möchte – selbst mit einem Koordinatensystem.



Der Gesamtstrom hat eine Länge von 11,1 cm, dies entspricht umgerechnet 111 mA. Also errechnet man für die Spannung \underline{U}_{L2} : $|\underline{U}_{L2}| = |\underline{I}_{ges} \cdot j \cdot X_{L2}| = |\underline{I}_{ges}| \cdot |j \cdot X_{L2}| = |\underline{I}_{ges}| \cdot X_{L2} = 111 \text{ mA} \cdot 80 \Omega = \underline{8,88 \text{ V}}$. Diese Spannung eilt dem Gesamtstrom 90° vor und wird ans Ende von \underline{U}_{R2} gesetzt. Die Gesamtspannung \underline{U}_Q ist die **geometrische** Summe aus \underline{U}_{R2} und \underline{U}_{L2} . Sie beträgt 15,4 cm also 15,40 V. Sie eilt dem Gesamtstrom vor, daher belastet diese Schaltung die Quelle induktiv.