

Lösung der Übungsaufgabe ÜA\_2\_12.2.A:

Bild ÜA\_2\_12.2.A\_1 zeigt die Schaltung für die unterschiedlichen Stellungen der beiden Schalter.

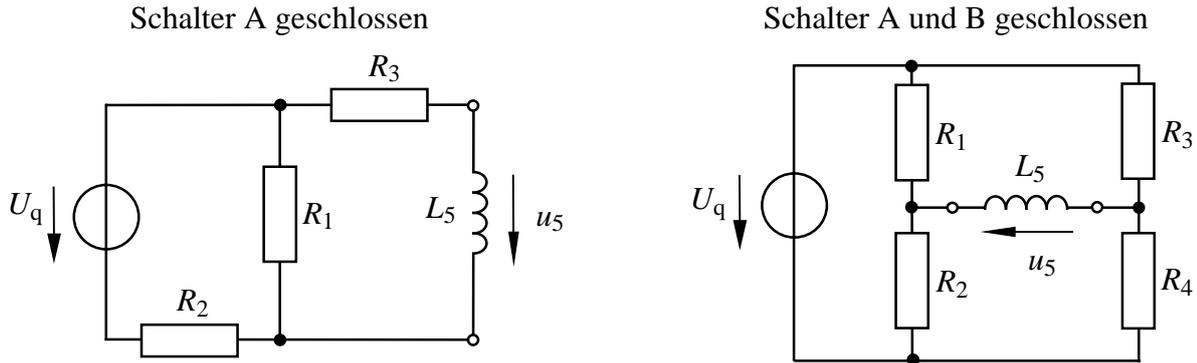
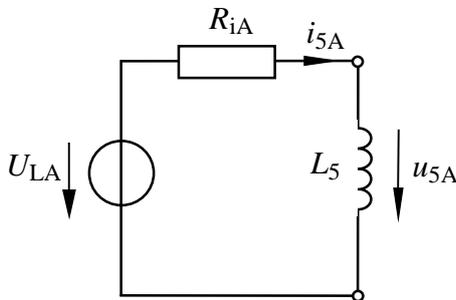


Bild ÜA\_2\_12.2.A\_1: Ersatzschaltungen für die unterschiedliche Schalterstellungen

Zunächst wird der Fall A (nur Schalter A geschlossen) betrachtet. Dieser Vorgang kann über die vereinfachte Ersatzschaltung des Bildes ÜA\_2\_12.2.A\_2 beschrieben werden.



$$U_{LA} = \frac{U_q}{2} = 12 \text{ V}$$

$$R_{iA} = R_3 + R_1 // R_2 = 7 \Omega$$

$$\tau_A = \frac{1}{7} \text{ s} = 143 \text{ ms}$$

Bild ÜA\_2\_12.2.A\_2: Fall A

Für die Spannung über der Induktivität gilt dann:  $U_{5A}(t = t_x) = 12 \text{ V}$  und  $U_{5A}(t = t_y) = 12 \text{ V} \cdot e^{-3} = 0,6 \text{ V}$

Diese Spannung springt bei  $t = t_x = 0$  auf den Wert  $U_{5A0} = 12 \text{ V}$  und sinkt dann nach einer e-Funktion ab. Im Umschaltmoment  $t = t_y$  (Schalter B wird geschlossen) besitzt die Spannung aus dem Vorgang A noch einen Wert von 0,6 V. Mit Beginn des Vorgangs B ( $t_B = t - t_y$ ) springt die Spannung auf einen neuen Anfangswert. Der Spannungsverlauf während des Vorgangs B unterliegt jetzt den Gesetzen des Ummagnetisierens vormagnetisierter Spulen gemäß Abschn. 12.2.3.

Es gilt Gleich. (12.19):  $u_L = R \cdot (I_\infty - I_0^*) \cdot e^{-t/\tau}$  bzw.:  $u_{5B} = R_{iB} \cdot (I_{5B\infty} - I_{5B0}) \cdot e^{-(t-t_y)/\tau_B}$

Zur Bestimmung des Anfangswertes bei  $t = t_y$  (bzw.  $t_B = 0$ ) muss der für diesen Vorgang wirksame Widerstand  $R_{iB}$  sowie der Spulenstrom bei  $t_B = 0$  und bei  $t_B \rightarrow \infty$  bestimmt werden.

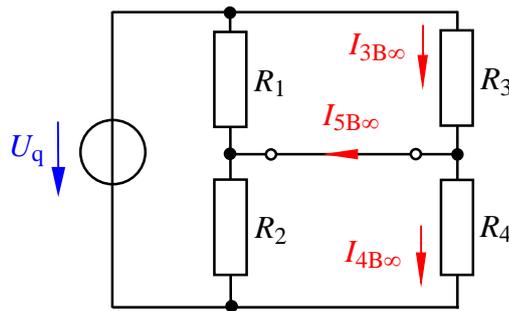
Der Innenwiderstand wird aus Bild ÜA\_2\_12.2.A\_1 (siehe rechte Seite) ermittelt. Bei herausgetrennter Induktivität und kurzgeschlossener Quelle gilt:

$$R_{iB} = R_1 // R_2 + R_3 // R_4 = 6 \Omega \quad \text{sowie: } \tau_B = \frac{1}{6} \text{ s} = 167 \text{ ms}$$

Der Spulenstrom bei  $t_B = 0$  ist gleich dem Spulenstrom beim Abbruch des Vorgangs A:

$$I_{5B0} = I_{5A}(t = t_y) = \frac{U_{LA} - U_{5A}(t = t_y)}{R_{iA}} = \frac{12 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{7 \Omega} = 1,629 \text{ A} \quad (\text{vgl. Bild ÜA}_2_12.2.A_2)$$

Bei  $t_B \rightarrow \infty$  wird die Spannung über der Induktivität gemäß Gleich. (12.19) gleich null. Das entspricht einem Kurzschluss im Querzweig der nicht abgeglichenen Brücke des Bildes ÜA\_2\_12.2.A\_2 (rechte Seite). Zur Berechnung dieses Stromes wird die im Bild ÜA\_2\_12.2.A\_3 dargestellte Ersatzschaltung für  $t_B \rightarrow \infty$  verwendet.



Es gilt der Knotenpunktsatz:

$$I_{5B\infty} = I_{3B\infty} - I_{4B\infty} = \frac{U_{3B\infty}}{R_3} - \frac{U_{4B\infty}}{R_4}$$

Bild ÜA\_2\_12.2.A\_3: Fall B für  $t_B \rightarrow \infty$

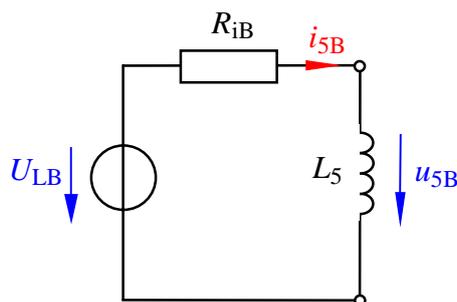
Die Spannung  $U_{3B\infty}$  kann z.B. über die Spannungsteilerregel bestimmt werden:

$$U_{3B\infty} = U_q \cdot \left( \frac{R_3 // R_1}{R_3 // R_1 + R_4 // R_2} \right) = 24 \text{ V} \cdot \frac{2,18}{5,61} = 9,33 \text{ V}$$

Die Spannung  $U_{4B\infty}$  erhält man dann über den Maschensatz:  $U_{4B\infty} = U_q - U_{3B\infty} = 14,67 \text{ V}$

Nun kann der Strom  $I_{5B\infty}$  berechnet werden:  $I_{5B\infty} = \frac{U_{3B\infty}}{R_3} - \frac{U_{4B\infty}}{R_4} = \frac{9,33 \text{ V}}{3 \Omega} - \frac{14,67 \text{ V}}{6 \Omega} = 666 \text{ mA}$

Die Bestimmung dieses Stromes ist auch mit einer vereinfachten Ersatzschaltung der rechten Seite des Bildes ÜA\_2\_12.2.A\_1 (siehe Bild ÜA\_2\_12.2.A\_4) möglich.



$$U_{LB} = U_q \cdot \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) = 4 \text{ V}$$

$$R_{iB} = R_1 // R_2 + R_3 // R_4 = 6 \Omega$$

Bild ÜA\_2\_12.2.A\_4: Fall B für  $t_B \rightarrow \infty$

Bei  $t_B \rightarrow \infty$  wird die Spannung über der Induktivität gemäß Gleich. (12.19) gleich null. Dann gilt für den Strom im Bild ÜA\_2\_12.2.A\_4:  $I_{5B\infty} = U_{LB} / R_{iB} = 667 \text{ mA}$

Durch Einsetzen der ermittelten Werte kann nun die Spannung bei  $t = t_y$  (Umschaltmoment vom Vorgang A zum Vorgang B) bestimmt werden:

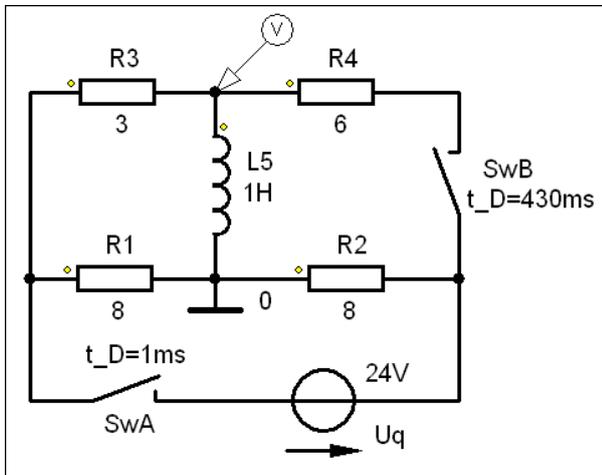
$$U_{5B}(t = t_y) = R_{iB} \cdot (I_{5B\infty} - I_{5B0}) = 6 \Omega \cdot (0,666 - 1,629) \text{ mA} = -5,78 \text{ V}$$

Die Spannung springt jetzt auf einen negativen Wert und strebt dann nach einer e-Funktion gegen null:

$$U_{5B}(t \rightarrow \infty) = 0$$

Für die Darstellung des Funktionsverlaufes wird eine PSPICE-Simulation eingesetzt.

Bild ÜA\_2\_12.2.A\_5 zeigt auf der linken Seite die Simulationsschaltung und auf der rechten Seite die Einstellungen für die Transienten-Analyse.



Analysezeitraum:  $0 \leq t \leq 1 \text{ s}$

SwA:  $t_x = t_{dA} = 1 \text{ ms}$

SwB:  $t_y = t_{dB} = 3\tau_A + t_{dA} = 430 \text{ ms}$

Plot:  $-8 \text{ V} \leq y \leq +14 \text{ V}$

Bild ÜA\_2\_12.2.A\_5: Simulationsschaltung

Das Simulationsergebnis (siehe Bild ÜA\_2\_12.2.A\_6) bestätigt die in der Rechnung ermittelten Eckwerte des Funktionsverlaufes.

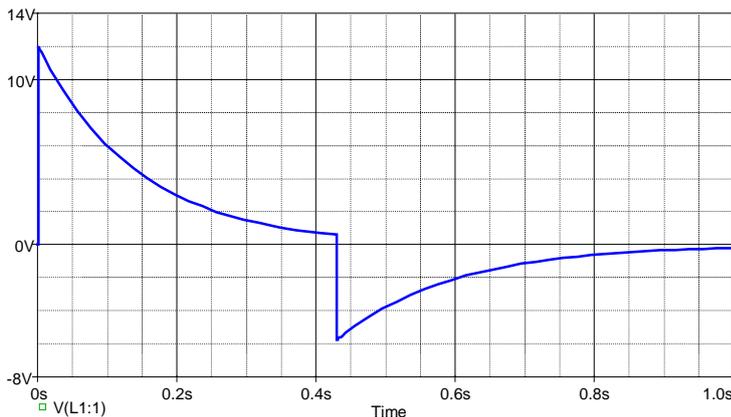


Bild ÜA\_2\_12.2.A\_6:  
Spannungsverlauf

Der im Bild ÜA\_2\_12.2.A\_7 zusätzlich dargestellte Verlauf des Spulenstromes zeigt, dass der Strom trotz des Schaltvorganges seine Richtung nicht verändert. Bei  $t_B \rightarrow \infty$  fließt der Kurzschlussstrom durch den Querzweig der nicht abgeglichenen Brücke.

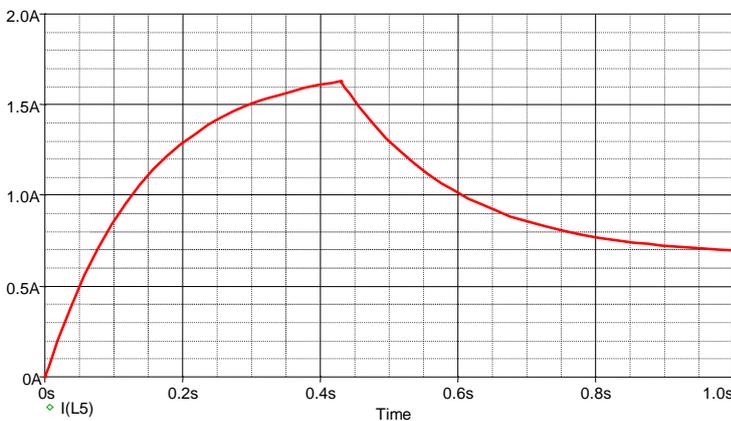


Bild ÜA\_2\_12.2.A\_7:  
Stromverlauf