

ÜBUNG IM FACH SCHALTUNGSTECHNIK I, WiSe 24/25

Blatt 4

Aufgaben 7–8; 4 Seiten

Abgabe: 18.11.2024, 22:00 Uhr, über ILIAS

Ansprechpartner: M. Sc. Rouven Klenk, rouven.klenk@int.uni-stuttgart.de, 2.406 ETI II

Hinweise: Es sind alle Aufgaben auf diesem Arbeitsblatt zu bearbeiten. Vergessen Sie nicht, auf jedes Blatt Ihren Namen, Vornamen und Matrikelnummer zu schreiben. Auf der ersten Seite bitte zusätzlich den Anfangsbuchstaben Ihres Nachnamens markieren und die Blätter möglichst vollständig beschreiben.

Bei allen Berechnungen sind Zwischenschritte anzugeben. Geben Sie ausschließlich das richtige Endergebnis an, bringt dies keine Punkte.

|                               |                        |                                 |                       |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| Name:<br>[Redacted]           | Vorname:<br>[Redacted] | Anfangsbuchstabe:<br>[Redacted] | Nummer:<br>[Redacted] |
| Matrikelnummer:<br>[Redacted] |                        |                                 |                       |

Bewertung – wird vom Institut ausgefüllt

|                 |           |           |          |          |          |                 |
|-----------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 6<br>(6)        | 2<br>(2)  | 2<br>(2)  | 3<br>(3) | 2<br>(2) | 1<br>(1) |                 |
| 4<br>(4)        | 6<br>(6)  |           |          |          |          | 26<br>(26)      |
| 5<br>(5)        | 1<br>(1)  | 4<br>(4)  | 9<br>(9) | 4<br>(4) | 7<br>(7) |                 |
| 4<br>(4)        | 0<br>(+3) | 0<br>(+8) |          |          |          | 34<br>(34 + 11) |
| 60<br>(60 + 11) |           | +<br>+/-  |          |          |          |                 |

## Aufgabe 7

### Schaltvorgang für Schaltung mit Kondensator und Spule

Zu untersuchen ist das Schaltverhalten der Schaltung in Abbildung 1. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  werde der Schalter  $S_1$  geschlossen, zuvor sei er unendlich lang geöffnet gewesen.

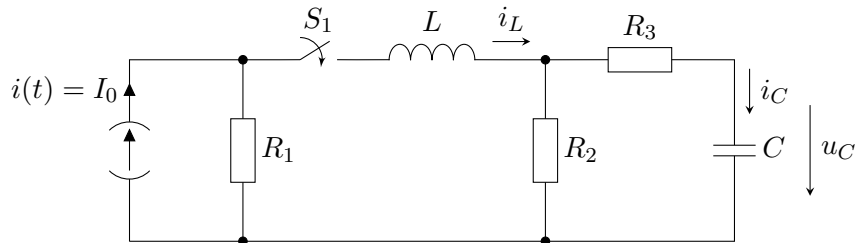


Abbildung 1: Schaltung mit Kondensator und Spule

- Bestimmen Sie allgemein die Differentialgleichung für die Spannung  $u_C(t)$  am Kondensator in Abhängigkeit von  $i(t)$  für  $t > 0$ . Geben Sie den Lösungsweg an.
- Wie kann  $i_L(t)$  aus  $u_C(t)$  bestimmt werden?

*Hinweis: Wenn Sie die Differentialgleichung für die Spannung  $u_C(t)$  am Kondensator nicht bestimmen können, so rechnen Sie mit folgender Differentialgleichung weiter:*

$$i(t) = \alpha \left( \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + 2\sigma \frac{du_C(t)}{dt} + \omega_0^2 u_C(t) \right).$$

- Geben Sie die Anfangsbedingungen für  $u_C(t)$  zum Schaltzeitpunkt an.

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wird der Schalter geschlossen. Im Folgenden soll der zeitliche Verlauf der Spannung  $u_C(t)$  für  $t > 0$  durch Lösen der Differentialgleichung bestimmt werden.

- Bestimmen Sie die Lösung der homogenen Differentialgleichung.

*Hinweis: Die Schaltung sei so dimensioniert, dass für die Lösungen der charakteristischen Gleichung  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  gelte. Im Folgenden dürfen die Lösungen mit  $\lambda_1$  bzw.  $\lambda_2$  abgekürzt werden.*

- Geben Sie eine partikuläre Lösung der Differentialgleichung an.
- Wie lautet die allgemeine Lösung der Differentialgleichung?
- Berücksichtigen Sie nun die Anfangsbedingungen aus c) zur Bestimmung der Konstanten.
- Es liege nun folgende Beschaltung vor:

$$R_1 = 4 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 500 \text{ }\Omega, \quad L = 100 \text{ }\mu\text{H}, \quad C = 10 \text{ pF}, \quad I_0 = 20 \text{ mA}.$$

Skizzieren Sie hierfür den zeitlichen Verlauf des Stroms  $i_C(t)$  durch den Kondensator im Bereich  $0 \text{ ns} \leq t \leq 130 \text{ ns}$ .

# Aufgabe 7

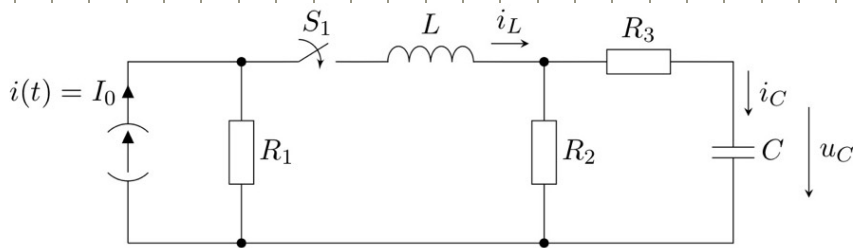


Abbildung 1: Schaltung mit Kondensator und Spule

a)

$$(1) i(t) = I_0 \Rightarrow i_{R1} + i_L \quad \checkmark$$

$$\text{ACG.: } i_C = C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt} \quad \checkmark$$

$$(2) i_L = i_{R2} + i_C \quad \checkmark$$

$$u_L = L \cdot \frac{d i_L(t)}{dt} \quad \checkmark$$

$$(3) u_{R1} = u_L + u_{R2} \quad \checkmark$$

$$(4) u_{R2} = u_{R3} + u_C \quad \checkmark$$

$$i(t) = i_L(t) + i_{R1}(t) \stackrel{(2)}{=} \frac{u_{R1}}{R_1} + i_{R2} + i_C = \frac{u_{R1}}{R_1} + \frac{u_{R2}}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt} \quad \checkmark$$

$$\stackrel{(3)}{=} \frac{u_L(t) + u_{R2}}{R_1} + \frac{u_{R3} + u_C(t)}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt}$$

$$\stackrel{(4)}{=} \frac{u_L(t) + u_{R3} + u_C(t)}{R_1} + \frac{u_{R3} + u_C(t)}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt}$$

$$= \frac{u_L(t)}{R_1} + \frac{u_{R3}}{R_1} + \frac{u_C(t)}{R_1} + \frac{u_{R3}}{R_2} + \frac{u_C(t)}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt}$$

$$= \frac{L}{R_1} \frac{d i_L(t)}{dt} + \frac{R_3}{R_1} \cdot i_C(t) + \frac{u_C(t)}{R_1} + \frac{R_3 \cdot i_C(t)}{R_2} + \frac{u_C(t)}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt}$$

$$\stackrel{(2)}{=} \frac{L}{R_1} \cdot (i_{R2} + i_C) \frac{d}{dt} + \frac{R_3}{R_1} \cdot C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R_1} + \frac{R_3}{R_2} \cdot C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt}$$

$$= \frac{L}{R_1} \left( \frac{u_{R2}}{R_2} + C \cdot \frac{d u_C(t)}{dt} \right) \frac{d}{dt} + \frac{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2} \cdot C \frac{d u_C(t)}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \cdot u_C(t)$$

$$= \frac{L}{R_1} \frac{u_{R3} + u_C(t)}{R_2} \frac{d}{dt} + \frac{L}{R_1} \cdot C \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + \frac{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2} \cdot C \frac{d u_C(t)}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \cdot u_C(t)$$

$$= \frac{L \cdot R_3 \cdot i_C(t)}{R_1 \cdot R_2} \frac{d}{dt} + \frac{L}{R_1} \cdot C \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + \frac{L + (R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2) C}{R_1 R_2} \frac{d u_C(t)}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \cdot u_C(t)$$

$$= \frac{L \cdot (R_3 + R_2)}{R_1 \cdot R_2} \cdot C \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + \frac{L + (R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2) C}{R_1 R_2} \frac{d u_C(t)}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \cdot u_C(t)$$

⑥

$$b) i_c(t) = i_c + i_{R_2} = C \cdot \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_{R_2}}{R_2} \stackrel{(*)}{=} C \cdot \frac{dV_c}{dt} + \frac{(V_{R_3} + V_c)}{R_2}$$

$$= C \cdot \frac{dV_c}{dt} + \left( \frac{V_c \cdot R_3 + V_c}{R_2} \right) = \left( 1 + \frac{R_3}{R_2} \right) C \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{R_2} \quad (2)$$


---

Ab hier wird mit der gegebenen DGL gerechnet

$$i(t) = \alpha \left( \frac{d^2 u_c(t)}{dt^2} + 2\sigma \frac{du_c(t)}{dt} + \omega_0^2 u_c(t) \right)$$

c) Anfangsbedingungen:

$$V_c(t=0) = 0$$

$$i_L(t=0) = 0$$

$$\downarrow \frac{dV_c(t)}{dt} \Big|_{t=0} = 0 \quad (1)$$

d) Lösung der homogenen DGL

$$V_c(t) = A e^{pt}$$

$$2(p^2 + 2\sigma p + \omega_0^2) = 0$$

$$\Leftrightarrow 2p^2 + 2\sigma p + \omega_0^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow p^2 + 2\sigma p + \omega_0^2 = 0$$

$$p_{1,2} = \frac{-2\sigma \pm \sqrt{(2\sigma)^2 - 4 \cdot \omega_0^2}}{2} = \frac{-2\sigma \pm \sqrt{4\sigma^2 - 4\omega_0^2}}{2} = -\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow p_1 = -\sigma + \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2} \quad p_2 = -\sigma - \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2}$$

$$V_c(t) = \left( A_1 e^{(-\sigma + \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2})t} + A_2 e^{(-\sigma - \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2})t} \right) s(t) \quad (3)$$

e) partikuläre Lösung

$$\lim_{t \rightarrow \infty} V_{c,h}(t) = 0$$

$$V_{c,p}(t) = 10 \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} s(t) \quad (2) \quad (\text{L Kurzschluss, C Leerlauf da Gleichspan.})$$

f) Allgemeine Lösung:

$$V_c(t) = \left( A_1 e^{(-\sigma + \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2})t} + A_2 e^{(-\sigma - \sqrt{\sigma^2 - \omega_0^2})t} + 10 \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \right) s(t)$$

(1)

$$g) u_c(t=0) = \frac{du_c(t)}{dt} = 0$$

$$(1) u_c(0) = A_1 + A_2 + U_0$$

$$\Rightarrow 0 = A_1 + A_2 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_0 \quad \checkmark \quad 2$$

$$(2) i(0) = 0 = A_1 p_1 + A_2 p_2$$

LGs:

$$(1) A_1 + A_2 = -U_0$$

$$(2) A_1 p_1 + A_2 p_2 = 0 \Rightarrow A_1 = -\frac{A_2 p_2}{p_1}$$

(2) in (1)

$$-\frac{A_2 p_2}{p_1} + A_2 = -U_0$$

$$\Rightarrow A_2 \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) = -U_0$$

$$\Rightarrow A_2 \left(\frac{p_1 - p_2}{p_1}\right) = -U_0$$

$$\Rightarrow A_2 = -U_0 \cdot \frac{p_1}{p_1 - p_2} = -I_0 \frac{R_1 R_2 \cdot p_1}{(R_1 + R_2)(p_1 - p_2)} \quad \checkmark$$

$$A_1 = -\frac{A_2 p_2}{p_1} = \frac{U_0 p_1 p_2}{p_1 (p_1 - p_2)} = \frac{U_0 p_2}{p_1 - p_2} = I_0 \frac{R_1 R_2 \cdot p_2}{(R_1 + R_2)(p_1 - p_2)} \quad \checkmark \quad 2$$

$$h) i_c(t) = c \cdot \frac{du_c(t)}{dt} \stackrel{1g)}{=}$$

$$= c \cdot \left( A_1 e^{(\beta + \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2})t} + A_2 e^{(-\beta - \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2})t} + b \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) s(t)$$

$$1g) \text{ einsetzen } = c \cdot \left( \frac{I_0 R_1 R_2 \cdot p_2}{(R_1 + R_2)(p_1 - p_2)} \cdot e^{p_1 t} + \left( -\frac{I_0 R_1 R_2 \cdot p_1}{(R_1 + R_2)(p_1 - p_2)} \right) e^{p_2 t} + b \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{d}{dt} s(t)$$

$$= c \cdot I_0 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left( \frac{p_2}{p_1 - p_2} e^{p_1 t} - \frac{p_1}{p_1 - p_2} e^{p_2 t} + 1 \right) \frac{d}{dt} s(t)$$

$$= c \cdot I_0 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left( \frac{p_1 p_2}{p_1 - p_2} e^{p_1 t} + \frac{p_1 p_2}{p_1 - p_2} e^{p_2 t} \right) s(t)$$

$$= c \cdot I_0 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{p_1 p_2}{p_1 - p_2} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t})$$

$$\text{mit } p_1 = -\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = -\delta + \sqrt{-(\omega_0^2 - \delta^2)} = -\delta + j\omega \quad \checkmark \quad (2-60)$$

$$p_2 = -\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = -\delta - j\omega \quad \checkmark$$

$$i_c(t) = C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{p_1 p_2}{p_1 - p_2} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}) s(t)$$

$$= C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{(-\delta + j\omega)(-\delta - j\omega)}{-\delta + j\omega - (-\delta - j\omega)} (e^{-\delta + j\omega t} - e^{-\delta - j\omega t}) s(t)$$

$$= C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\delta^2 + \omega^2}{2j\omega} (e^{-\delta + j\omega t} - e^{-\delta - j\omega t}) s(t)$$

$$= C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\delta^2 + \omega^2}{2j\omega} e^{-\delta t} (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) s(t)$$

aus a) (Achtung 2 verrechnen)

$$\omega_0^2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot \frac{R_1 R_2}{LC \cdot (R_3 + R_2)} = \frac{R_1 + R_2}{LC \cdot (R_3 + R_2)} = 2,4 \cdot 10^{15} \frac{1}{s^2}$$

$$2\delta = \frac{R_1 \cdot R_2}{L \cdot (R_3 + R_2)} \cdot \frac{L + (R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2)C}{R_1 R_2} = \frac{L + (R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_1 R_2)C}{C \cdot L \cdot (R_3 + R_2)}$$

$$\Rightarrow \delta = 42 \cdot 10^6 \frac{1}{s}$$

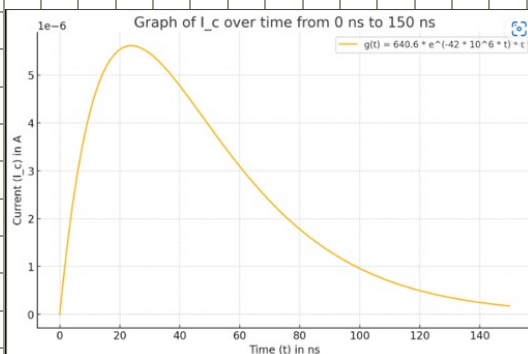
$$i_c(t) = C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\delta^2 + \omega^2}{2j\omega} e^{-\delta t} (e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) s(t)$$

$$= C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\delta^2 + \omega^2}{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} e^{-\delta t} \underbrace{(e^{j\omega t} - e^{-j\omega t})}_{\sin(\omega t)} s(t)$$

$$= 25,4 \mu A \cdot e^{-42,6 \frac{1}{s} \cdot t} \cdot \sin(25,22 \cdot 10^6 \cdot t) s(t) \quad \checkmark$$

Näherung wcc 2 ergibt  $i_c(t) \approx C \cdot \frac{1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{\delta^2 + \omega^2}{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} e^{-\delta t} \cdot t \cdot s(t)$

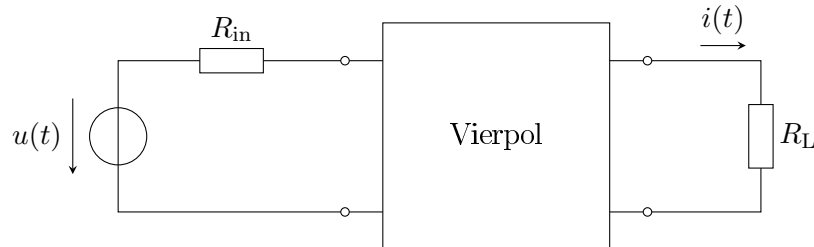
$$\approx 640,6 \cdot e^{-42 \cdot 10^6 t} \cdot t$$



⑥

## Aufgabe 8

### Passiver Vierpol mit einem Energiespeicher



**Abbildung 2:** Schaltung mit zu bestimmendem Vierpol

Der in Abbildung 2 dargestellte Vierpol ist am Ausgang mit dem Widerstand  $R_L$  abgeschlossen. Er ist mit einer Gleichspannungsquelle verbunden.

Für  $t < t_1$  ist die Spannung  $u(t) = 0$ . Zum Zeitpunkt  $t = t_1$  wird die Spannungsquelle eingeschaltet. Der zeitliche Verlauf der Eingangsspannung  $u(t)$  und der resultierende Strom  $i(t)$  durch  $R_L$  sind in Abbildung 3 dargestellt.

In der folgenden Aufgabe sollen Vierpole bestimmt werden, die diesen Stromverlauf erzwingen.

- a) Zunächst soll rekapituliert werden, welche Wirkung eine ideale Spule und ein idealer Kondensator bei Schaltvorgängen besitzen. Beantworten Sie dazu (am besten tabellarisch) die folgenden Fragen zu den beiden idealen Bauelementen:

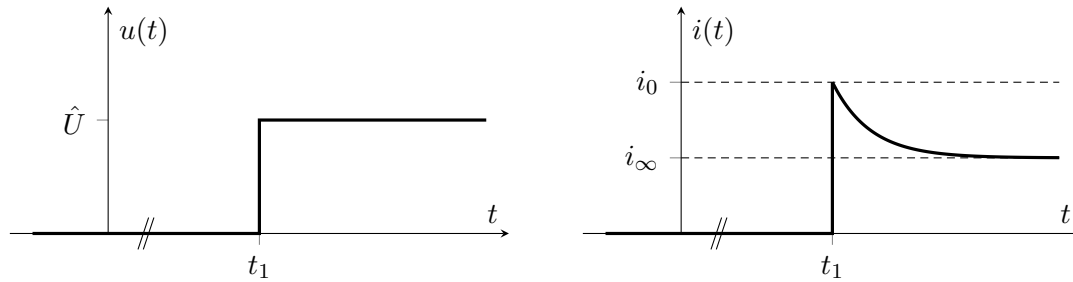
1. Wie lautet die Strom-Spannungsbeziehung im Zeitbereich?
2. Welche elektrische Größe verläuft stetig (darf nicht springen)?
3. Durch welches Bauelement kann die Spule bzw. der Kondensator modelliert werden
  - 3.1. zum Zeitpunkt eines Sprungs der Eingangsgröße, wenn der Energiesp. geladen ist,
  - 3.2. zum Zeitp. eines Sprungs der Eingangsgr., wenn der Energiespeicher ungeladen ist,
  - 3.3. für den Fall, dass Gleichgrößen am Eingang unendlich lange angelegen haben, d. h. alle Ausgleichsvorgänge innerhalb der Schaltung bereits abgeschlossen sind?

- b) Warum benötigt man zur Lösung der Aufgabe nur einen Energiespeicher?

- c) Der Energiespeicher, der für den exponentiellen Verlauf des Stroms benötigt wird, sei eine Kapazität. Wie sieht dann der Vierpol aus, der den Stromverlauf  $i(t)$  erzwingt?

- d) Nun ist  $i(t)$  zu berechnen. Die sich ergebende Funktion muss die Größen  $\hat{U}$ ,  $R_L$ ,  $R_{in}$  und die Schaltelemente des Vierpols enthalten. Bestimmen Sie dabei  $i(t)$  zunächst nur mithilfe des Schaltbilds und des bekannten zeitlichen Verlaufs des Stromes.

$R_L$  sei gegeben. Wie sind die Bauelemente des Vierpols und  $R_{in}$  in Abhängigkeit von  $i_0$ ,  $i_\infty$ ,  $\hat{U}$  und  $\tau$  zu dimensionieren, wenn  $\tau$  die Zeitkonstante des Entladevorgangs bezeichnet?



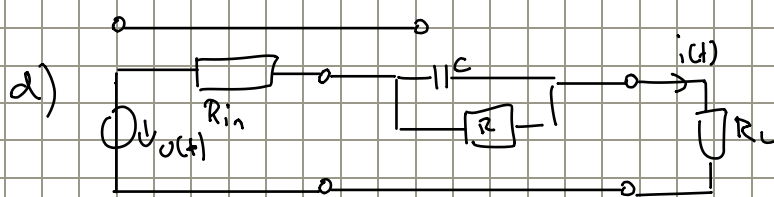
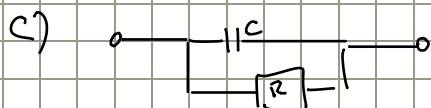
**Abbildung 3:** Zeitlicher Verlauf der Eingangsspannung  $u(t)$  und des Stroms  $i(t)$

- e) Bestimmen Sie die Differentialgleichung für die energietragende Größe  $u_C(t)$ .
- f) Bestimmen Sie  $u_C(t)$  durch Lösen der Differentialgleichung.
- g) Wie kann  $i(t)$  aus  $u_C(t)$  im Zeitbereich berechnet werden? Bestimmen Sie  $i(t)$ .
- h) *Zusatzaufgabe (freiwillig):* Geben Sie den Verlauf von  $\tilde{i}(t)$  für den Fall, dass die Spannungsquelle zum Zeitpunkt  $t = t_2 = t_1 + 2\tau$  wieder ausgeschaltet wird, an und skizzieren Sie diesen.
- i) *Zusatzaufgabe (freiwillig):* Derselbe Stromverlauf kann mit einem Vierpol erzeugt werden, dessen Energiespeicher eine Induktivität ist. Geben Sie die Schaltung an und bestimmen Sie, welche Zusammenhänge zwischen den Bauelementen beider Vierpole hierfür gelten müssen.

# Aufgabe 8

|                                     |                                       |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| a)                                  | Spule                                 | Kondensator                           |
| 1. Strom-Spannungsbeziehung         | $V_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$ | $i_C(t) = C \cdot \frac{dV_C(t)}{dt}$ |
| 2. elektr. Größe stetiger Verlauf   | Strom                                 | Spannung                              |
| 3. Modellierung                     |                                       |                                       |
| 3.1. Energiesp. geladen             | Stromquelle                           | Spannungsquelle                       |
| 3.2. Energiesp. ungeladen           | Leerlauf                              | Kurzschluss                           |
| 3.3. Gleichgrößen Eingang & Ausgang | Kurzschluss                           | Leerlauf                              |

b) Da nur eine exponentielle Abfallfunktion für den Stromverlauf  $i(t)$  gefordert ist, reicht ein einzelner Energiespeicher aus, um diesen Verlauf zu erzeugen. ①



$$i(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < t_n \\ i_\infty + (i_0 - i_\infty) e^{-\frac{t-t_n}{\tau}} & \text{für } t \geq t_n \end{cases} \quad 2$$

$$i_C(t=0) = i(t=0) = \frac{\hat{U}}{R_{in} + R_L} = i_0 \quad 1$$

$$i(t \rightarrow \infty) = \frac{\hat{U}}{R + R_{in} + R_L} = i_\infty \quad (\text{da } i_C(t \rightarrow \infty) = 0) \quad 1$$

$$\tau = R_{ges} \cdot C = \frac{R \cdot (R_{in} + R_L)}{R + R_{in} + R_L} \cdot C$$

$$\text{mit } R_{ges} = R \parallel (R_{in} + R_L) = \frac{R \cdot (R_{in} + R_L)}{R + R_{in} + R_L} \quad 2$$

Dimensionierung

$$\hat{U} = (R_{in} + R_L) i_0 \Rightarrow R_{in} = \frac{\hat{U}}{i_0} - R_L \quad \checkmark$$

$$i_\infty = \frac{\hat{U}}{R_{in} + R_L + R} \Rightarrow R = \frac{\hat{U}}{i_\infty} - (R_{in} + R_L) = \frac{\hat{U}}{i_\infty} - \frac{\hat{U}}{i_0} \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} \tau &= R_{ges} \cdot C \Rightarrow C = \frac{\tau}{R_{ges}} = \tau \cdot \frac{R + R_{in} + R_L}{R \cdot (R_{in} + R_L)} = \tau \cdot \left( \frac{\frac{\hat{U}}{i_\infty} - \frac{\hat{U}}{i_0} + \frac{\hat{U}}{i_0}}{R \cdot \left( \frac{\hat{U}}{i_0} - \frac{\hat{U}}{i_0} \right)} \right) \\ &= \tau \cdot \frac{\frac{1}{\frac{\hat{U}}{i_0} - \frac{\hat{U}}{i_0^2}}}{\frac{\frac{\hat{U}}{i_0} - \frac{\hat{U}}{i_0^2}}{\frac{\hat{U}}{i_0^2}}} = \tau \cdot \frac{1}{\frac{\hat{U}}{i_0^2} (i_0 - i_\infty)} = \tau \cdot \frac{i_0^2}{\hat{U} (i_0 - i_\infty)} \quad 3 \end{aligned} \quad 9$$

$$e) f) u(t) = u_{in} + u_c(t) + u_{R_L}(t) \quad \checkmark$$

$$(2) i(t) = i_a(t) + i_c(t) \quad \checkmark$$

$$u(t) = u_{in} + u_c(t) + u_{R_L}(t)$$

$$= R_{in} i(t) + u_c(t) + R_L \cdot i(t)$$

$$= (R_{in} + R_L) (i_a(t) + i_c(t)) + u_c(t)$$

$$= (R_{in} + R_L) \left( \frac{u_a(t)}{R} + C \cdot \frac{du_c(t)}{dt} \right) + u_c(t)$$

$$= (R_{in} + R_L) \left( \frac{u_c(t)}{R} + C \cdot \frac{du_c(t)}{dt} \right) + u_c(t)$$

$$= (R_{in} + R_L) \cdot C \frac{du_c(t)}{dt} + \left( \frac{R_{in} + R_L + 1}{R} \right) u_c(t) \quad (4)$$

f) homogene Lösung:

$$(R_{in} + R_L) \cdot C \cdot p + \frac{R_{in} + R_L + 1}{R} = 0$$

$$p = - \frac{R_{in} + R_L + 1}{R C (R_{in} + R_L)} \quad \checkmark$$

$$u_{c,h}(t) = A e^{p(t-t_1)} s(t-t_1) \quad \checkmark$$

partikuläre Lsg.

$$\frac{du_c(t)}{dt} = 0 \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow u_{c,p}(t \rightarrow \infty) = U_0 = \frac{\hat{U} \cdot R}{R + R_{in} + R_L} s(t-t_1)$$

Daraus folgt:

$$u_c(t) = \left( A e^{p(t-t_1)} + \frac{\hat{U} R}{R + R_{in} + R_L} \right) s(t-t_1) \quad \checkmark$$

Anfangsbedingung  $t = t_1$

$$u_c(t-t_1=0) = 0 = A + \frac{\hat{U} R}{R + R_{in} + R_L} \Rightarrow A = - \frac{\hat{U} R}{R + R_{in} + R_L}$$

$$\Rightarrow u_c(t) = \hat{U} \frac{R}{R_{in} + R_L + R} \left( 1 - e^{(t-t_1)p} \right) s(t-t_1) \quad (7) \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned}
g) \quad i(t) &= i_e(t) + i_c(t) = \frac{U_R(t)}{R} + C \cdot \frac{dU_C(t)}{dt} = \frac{U_C(t)}{R} + C \cdot \frac{dU_C(t)}{dt} \quad \checkmark \\
&= \frac{\hat{U} \cdot R}{R(R + R_{in} + R_c)} \left(1 - e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}}\right) + C \cdot \frac{\hat{U} \cdot R}{R + R_{in} + R_c} \cdot \frac{R_{in} + R_c + R}{(R_{in} + R_c) \cdot R \cdot C} \cdot e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}} \\
&= \frac{\hat{U}}{R + R_{in} + R_c} \left(1 - e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}}\right) + \frac{\hat{U}}{R + R_{in} + R_c} \cdot \frac{R_{in} + R_c + R}{(R_{in} + R_c) \cdot R \cdot C} \cdot e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}} \\
&= \frac{\hat{U}}{R + R_{in} + R_c} \left(1 - e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}}\right) + \frac{\hat{U}}{(R_{in} + R_c)} \cdot e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}} \\
&= \hat{U} \left( \frac{1}{R + R_{in} + R_c} + \left( \frac{1}{R_{in} + R_c} - \frac{1}{R + R_{in} + R_c} \right) e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}} \right) \\
&= \left( i_\infty + (i_0 - i_\infty) e^{-\frac{(t-t_1)P}{\tau}} \right) s(t-t_1) \quad \textcircled{4}
\end{aligned}$$