

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Hochschule München<br/>FK 03</b>  | <b>Prüfung WS 2012/13<br/>Grundlagen der Elektrotechnik<br/>Dauer: 90 Minuten</b> | M. Krug, R. Müller, F. Palme,<br>W. Rehm, A. Reusch |
| <b>Zugelassene Hilfsmittel:</b><br>Taschenrechner,<br>zwei DIN-A4-Blatt<br>eigene Formelsammlung | <b>Matr.-Nr.:</b>   | <b>Name, Vorname:</b>                               |
|  | <b>Hörsaal:</b>   | <b>Unterschrift:</b>                                |

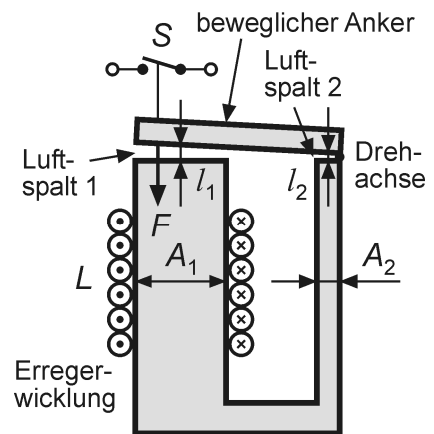
|          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>A</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>Σ</b> | <b>N</b> |
| <b>P</b> |          |          |          |          |          |          |

**Aufgabe 1: Relais mit Haltestromabsenkung** (ca. 20 Punkte)

In einem Relais dient ein beweglicher Anker in einem Magnetkreis als Antrieb für einen Schaltkontakt *S*. Die Luftspalte 1 und 2 sollen vereinfacht als parallele Flächen und nicht (wie in folgender Abbildung zu sehen) als keilförmige Flächen betrachtet werden. Um den Relaiskontakt zu schließen erzeugt die Spule *L* mit *N* Windungen (Erregerwicklung) die Kraft *F* auf den Anker.

Der Magnetkreis hat folgende Daten:

- Querschnitt linker Schenkel  $A_1 = 1 \text{ cm}^2$
- übrige Querschnitte  $A_2 = 0,5 \text{ cm}^2$
- Luftspalt 1 und 2  $l_1, l_2$
- Anzugskraft  $F = 5 \text{ N}$
- Windungszahl der Spule *L*  $N = 500$
- magnetischer Widerstand des Eisenkerns **vernachlässigbar**  $R_{m,Eisen} \rightarrow 0$
- magnetische Feldkonstante  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$



Zunächst sei das Relais stromlos, der Anker in der gezeichneten offenen Stellung und die beiden Luftspalte damit ebenfalls geöffnet:

$$l_{1,\text{offen}} = 2 \text{ mm} \quad l_{2,\text{offen}} = 0,5 \text{ mm}$$

1.1 Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des Magnetkreises und bezeichnen Sie alle auftretenden Größen (magnetischen Widerstand des Eisenkerns vernachlässigen).

1.2 Berechnen Sie den magnetischen Widerstand  $R_{m1,offen}$  des Luftspalts 1.

1.3 Um welchen Faktor ist der magnetische Widerstand  $R_{m2,offen}$  des Luftspalts 2 kleiner als  $R_{m1,offen}$  des Luftspalts 1?

Der gesamte magnetische Widerstand des stromlosen Relais beträgt  $R_{m,offen} = 24 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$ .  
Schickt man nun einen Strom  $I = I_{offen}$  durch die Spule, so übt der linke Schenkel folgende Anzugskraft  $F$  auf den Anker aus:  $F = \frac{B^2 A_1}{2\mu_0}$

1.4 Wie groß sind die erforderliche magnetische Flussdichte  $B$  und der magnetische Fluss  $\Phi$  im Luftspalt 1, damit das Relais anzieht? **Ersatzwert:**  $\Phi = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Vs}$

1.5 Welcher Anzugsstrom  $I_{offen}$  ist hierfür erforderlich?

Sobald das Relais angezogen hat, kann man den Strom in der Spule auf den Haltestrom  $I = I_{zu}$  verringern, da beide Luftspalte dann nur mehr sehr klein sind und damit der magnetische Widerstand deutlich abgenommen hat:

$$l_{1,zu} = l_{2,zu} = 0,1 \text{ mm} \quad R_{m,zu} = 2,4 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$$

Dadurch spart man Leistung und die Wicklung erwärmt sich nicht so stark.

1.6 Auf welchen Haltestrom  $I_{zu}$  kann der Strom reduziert werden, damit weiterhin die gleiche Kraft  $F$  erzeugt wird die zum Anziehen des Relais erforderlich ist?

**Ersatzwert:**  $I_{zu} = 2,4 \text{ A}$

1.7 Die Erregerwicklung besitzt einen elektrischen Widerstand  $R = 6 \Omega$ . Berechnen Sie die Leistung  $P_{zu}$ , die bei angezogenem Relais in Wärme umgewandelt wird.

1.8 Um welchen Faktor ist die zum Anziehen des Relais erforderliche Leistung größer als die zum Halten?

**Aufgabe 2: Tiefpassfilter** (ca. 20 Punkte)

Das in Abb. 1 gezeigte *Tiefpassfilter* wird an den Eingangsklemmen 1–2 mit einer sinusförmigen Wechselspannung  $\underline{U}$  der Frequenz  $f$  betrieben und ist an den Ausgangsklemmen 3–4 mit der variablen Impedanz  $\underline{Z} = R_a$  abgeschlossen.

$\underline{U} = U \cdot e^{j\varphi_u} = 5 \cdot e^{j0} \text{ V}$

(komplexer Effektivwert)

Betriebsfrequenz:  $f = 1 \text{ kHz}$

Bauteile:  $R = 0,8 \ \Omega$

$L = 40 \ \mu\text{H}$

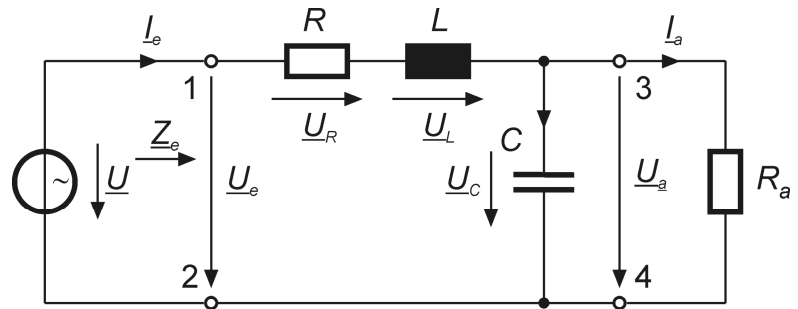


Abb. 1: Tiefpassfilter

**Teil 1:** Zunächst wird die Schaltung im Leerlauf betrieben ( $R_a \rightarrow \infty, I_a = 0$ ).

Hierbei wird an den Eingangsklemmen 1–2 die komplexe Scheinleistung  $\underline{S} = (20 - j 15) \text{ VA}$  aufgenommen.

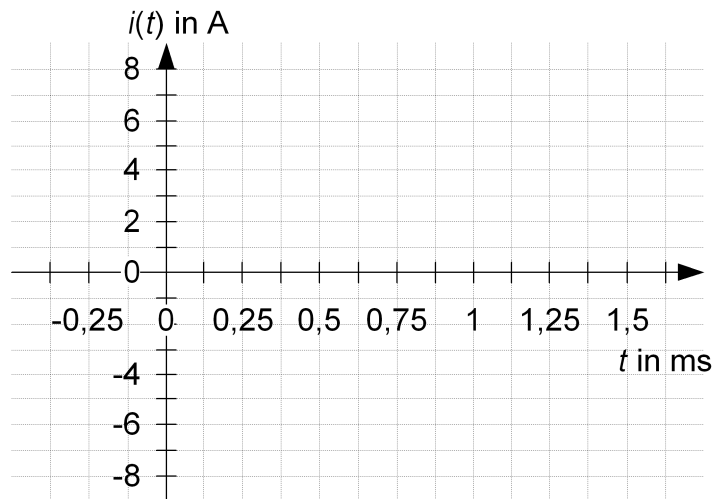


Diagramm 1

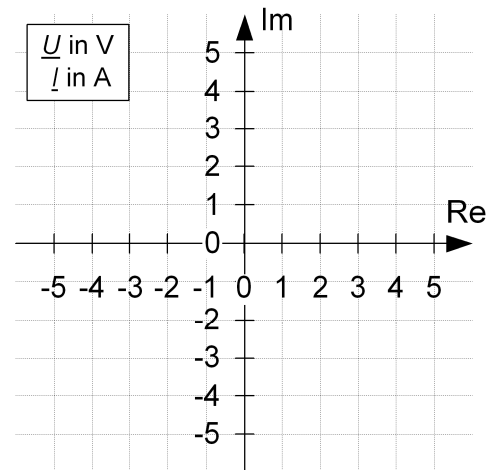



Diagramm 2

2.1 Berechnen Sie  $\underline{I}_e$  und zeichnen Sie den entsprechenden Effektivwert-Drehzeiger  $\underline{I}_e$  in die komplexe  $\underline{I}$ -Ebene (Diagramm 2). **Ersatzwert:**  $\underline{I}_e = (2 + j 1,5) \text{ A}$

2.2 Geben Sie die Periodenzeit  $T$ , Effektivwert  $I_e$ , Amplitude  $\hat{I}$  und Phase  $\varphi_i$  des Eingangstroms  $\underline{I}_e$  an. Zeichnen Sie damit den Zeitverlauf des Stroms  $i_e(t)$  in das Diagramm 1.

2.3 Berechnen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen  $\underline{U}_R$ ,  $\underline{U}_L$  und  $\underline{U}_a$ . Zeichnen Sie die zugehörigen Effektivwertzeiger in Diagramm 2. **Ersatzwert:**  $\underline{U}_a = (2,2 - j2,9) \text{ V}$



2.4 Berechnen Sie die Kapazität  $C$ .

**Ersatzwert:**  $C = 0,11 \text{ mF}$



2.5 Berechnen Sie die einzustellende Frequenz  $f_0$ , bei der die Schaltung keine Blindleistung an den Eingangsklemmen 1–2 aufnimmt.



**Teil 2:** Nun wird der Tiefpass mit angeschlossener Impedanz  $\underline{Z} = R_a = 0,8 \Omega$  betrachtet.

2.6 Geben Sie die Ausgangsspannungen  $U_{a,DC}$  für sehr niedrige Frequenzen ( $f \rightarrow 0$ , Gleichstrom) und  $U_{a,\infty}$  für sehr hohe Frequenzen ( $f \rightarrow \infty$ ) an, indem Sie in der Schaltung die sich jeweils für  $f \rightarrow 0$  bzw.  $f \rightarrow \infty$  ergebenden Blindwiderstände von  $L$  und  $C$  ansetzen. Welche Bedingung stellt sich dabei an  $R$  allgemein, damit für Gleichstrom  $U_{a,DC} = U_{e,DC}$  gilt?



**Aufgabe 3: Stromschleife** (ca. 22 Punkte)

Zur Übertragung von Messsignalen über weite Entfernungen werden *Stromschleifen* eingesetzt. Die in Abb. 1 dargestellte 20 mA-Stromschleife besteht aus zwei idealen Stromquellen mit Konstantstrom  $I_{0,1} = 4\text{ mA}$  zur Energieversorgung (Fernspeisung) und einem zur Messgröße proportionalen Strom  $0 \leq I_{0,2} \leq 16\text{ mA}$  für die Signalübertragung. Diese Stromquellen rufen an dem über eine Übertragungsleitung angeschlossenen Abschlusswiderstand  $R_2$  und Lastwiderstand  $R_a$  die Ausgangsspannung  $U_a$  hervor. Im Weiteren gilt  $I_{0,2} = 16\text{ mA}$ .

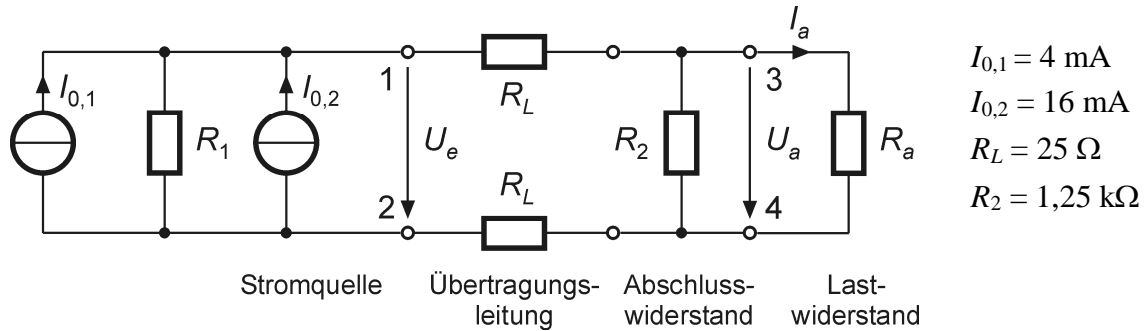


Abb. 1: 20 mA-Stromschleife

Die verwendete Kupfer-Zweidrahtleitung hat die Länge  $l = 200\text{ m}$  und einen Widerstand von jeweils  $R_L$  für Hin- und Rückleiter (spezifischer Widerstand Kupfer  $\rho = 0,018\ \mu\Omega\cdot\text{m}$ ).

3.1 Welcher Leitungsquerschnitt  $A$  wurde für die Übertragungsleitung verwendet?

3.2 Dimensionieren Sie den Widerstand  $R_1$  so, dass die Spannung an den Klemmen 1–2 bei nicht angeschlossener Übertragungsleitung  $U_e = 24\text{ V}$  beträgt.

**Ersatzwert:**  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$

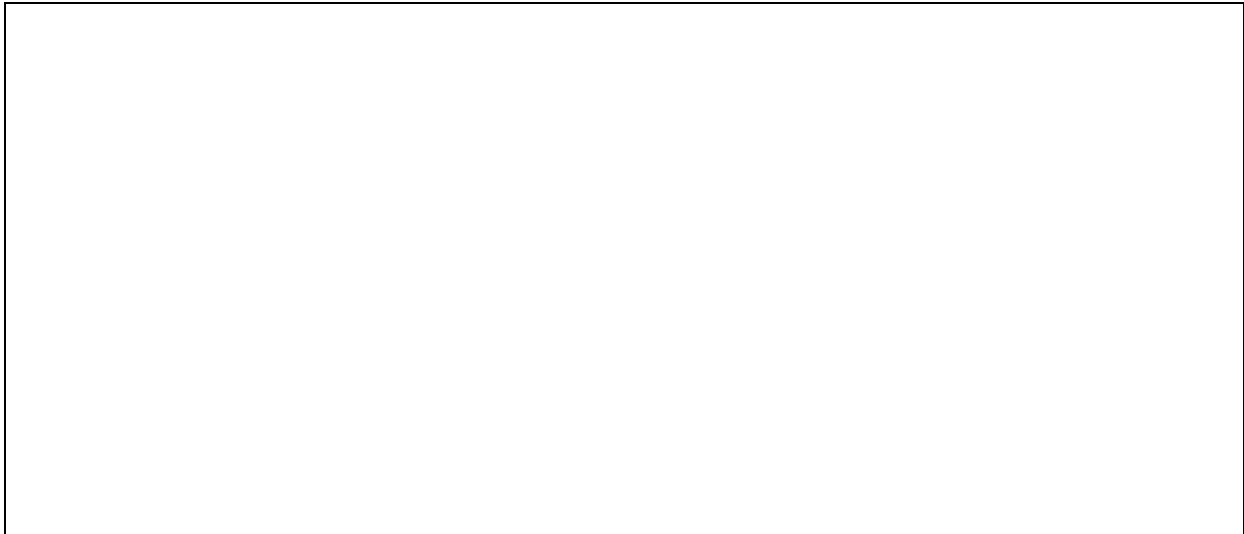
- 3.3 Zeichnen Sie das Stromquellen-Ersatzschaltbild (ESB) der Stromschleife **links der Ausgangsklemmen 3–4** und berechnen Sie die zugehörigen Kenngrößen  $I_0$  und  $R_i$  allgemein und zahlenmäßig. **Ersatzwerte:**  $I_0 = 24 \text{ mA}$ ,  $R_i = 500 \Omega$



- 3.4 Berechnen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  für  $R_a \rightarrow \infty$  und skizzieren Sie das Strom-Spannungsdiagramm  $I_a(U_a)$  der Stromschleife. **Ersatzwert:**  $U_0 = 15 \text{ V}$



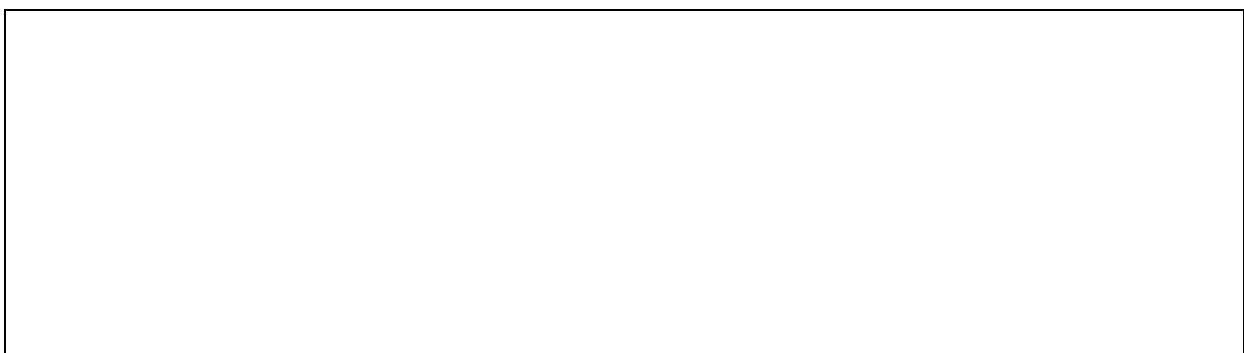
3.5 Für welchen Ausgangswiderstand  $R_a$  wird die übertragene Leistung maximal? Kennzeichnen Sie diesen Arbeitspunkt im Strom-Spannungsdiagramm und geben Sie den zugehörigen Ausgangsstrom  $I_a$  sowie die in  $R_a$  umgesetzte maximale Leistung  $P_{a,max}$  zahlenmäßig an.



3.6 In welchem Bereich variiert das Ausgangssignal  $U_a(I_{0,2})$  in diesem Anpassungsfall, wenn der Strom  $I_{0,2}$  aufgrund des übertragenen Messsignals den gesamten Aussteuerbereich  $0 \leq I_{0,2} \leq 16$  mA überstreicht?



3.7 Unter welcher Bedingung ist die Ausgangsspannung  $U_a$  unabhängig von der Leitungslänge (Begründung)?

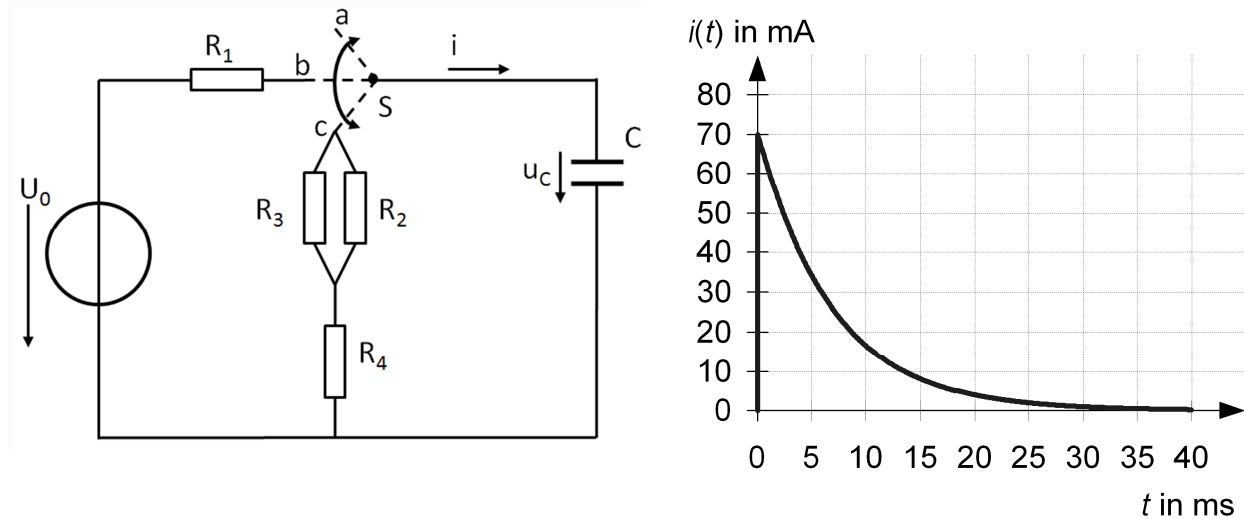




**Aufgabe 4: Schaltvorgänge am Kondensator** (ca. 17 Punkte)

Die Schaltvorgänge an untenstehender Schaltung sollen untersucht werden. Zu Beginn ist der ideale Schalter  $S$  auf der Position  $a$  und der Kondensator  $C$  ist vollständig entladen. Die verwendeten Bauteile haben folgende Größen:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 100 \text{ }\Omega$ ,  $R_4 = 10 \text{ }\Omega$ ,  $C = 7 \text{ }\mu\text{F}$

Beim Schalten von  $S$  auf die Position  $b$  zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ ms}$  ergibt sich für  $i(t)$  folgender Verlauf:



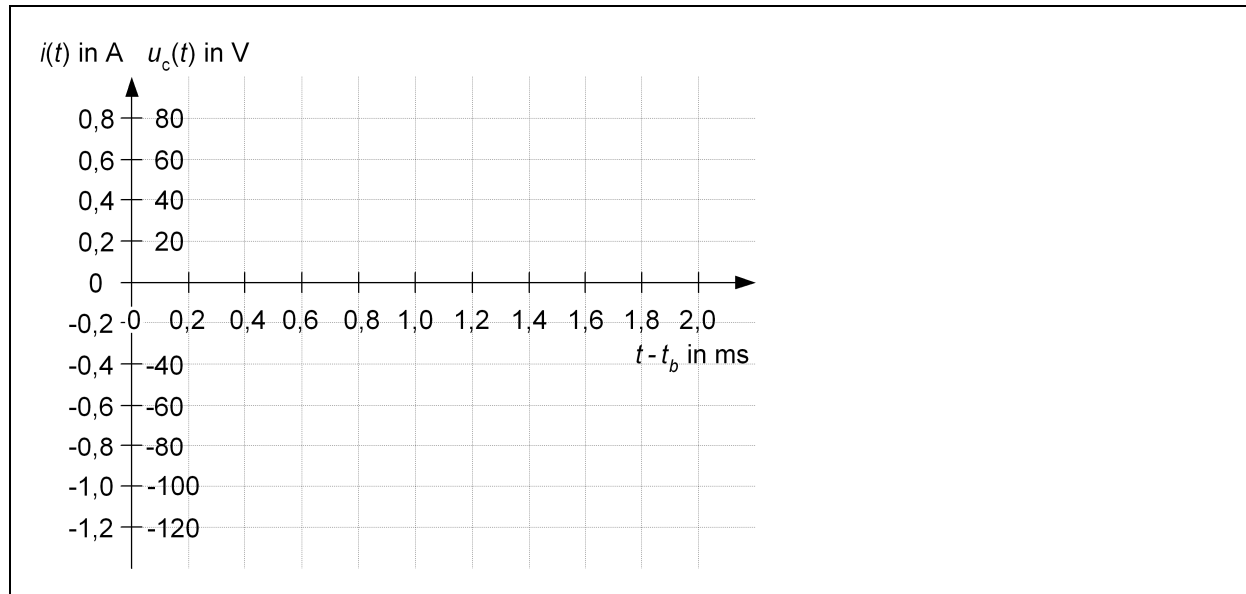
4.1 Berechnen Sie  $U_0$ .

**Ersatzwert:**  $U_0 = 80 \text{ V}$

4.2 Berechnen Sie die Lade-Zeitkonstante  $\tau_1$  und die Spannung  $u_C(3 \text{ ms})$ .

Nachdem  $C$  vollständig geladen ist wird  $S$  zum Zeitpunkt  $t_b$  in die Position  $c$  gebracht.

4.3 Berechnen Sie die Entlade-Zeitkonstante  $\tau_2$  und den Verlauf von  $i(t)$  und  $u_C(t)$  für  $t \geq t_b$ . Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf  $u_C(t)$  und die Zeitkonstante  $\tau_2$  in nachfolgendes Diagramm ein.



4.4 Wie groß ist die Spannung  $u_C(t_b + 0,1 \text{ ms})$  und wieviel Ladung  $Q$  ist nach  $t = t_b + 0,1 \text{ ms}$  aus dem Kondensator  $C$  abgeflossen?

Um die Entladezeit möglichst kurz zu halten wird nun  $R_3$  verändert.

4.5 Welchen Wert muss  $R_3$  annehmen um eine möglichst kurze Entladezeit zu erhalten?

4.6 Nach einer Zeit  $t = t_b + t_c$  ist dieselbe Ladung  $Q$  wie in Aufgabe 4.4 abgeflossen. Wie groß ist  $t_c$ ?