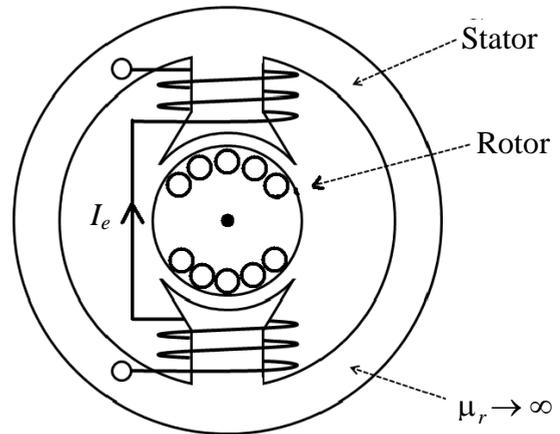


<b>Hochschule München FK 03</b>	<b>Prüfung SS 2013 Grundlagen der Elektrotechnik Dauer: 90 Minuten</b>	F. Palme, W. Rehm
<b>Zugelassene Hilfsmittel:</b> Taschenrechner, zwei DIN-A4-Blatt eigene Formelsammlung	<b>Matr.-Nr.:</b>	<b>Name, Vorname:</b>
	<b>Hörsaal:</b>	<b>Unterschrift:</b>

<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: Gleichstrommotor** (ca. 17 Punkte)

Der Querschnitt eines Gleichstrommotors zeigt

- den *Stator* (Eisen) mit den beiden Erregerfeldspulen mit den Polen und
- den *Rotor* (Eisenblech) mit den Wicklungsstäben der Ankerwicklung.

Zunächst ist die Ankerwicklung stromlos, es wird nur die Erregerwicklung betrachtet, die von einem Gleichstrom  $I_e$  (Erregerstrom) in der angegebenen Richtung durchflossen wird.

1.1 Zeichnen Sie einige Feldlinien mit der richtigen Magnetfeldrichtung (Rechte-Hand-Regel) in den Motorquerschnitt ein und zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des magnetischen Erregerkreises (alle auftretenden Größen bezeichnen).

Der Querschnitt der beiden Luftspalte zwischen den Polen und dem Rotor beträgt jeweils  $A = 80 \text{ cm}^2$ , die Luftspaltlänge ist  $l_L = 1 \text{ mm}$ . Die Permeabilität des Eisens sei unendlich groß, die beiden Erregerwicklungen haben insgesamt  $N = 200$  Windungen.

Permeabilitätskonstante:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

1.2 Berechnen Sie den gesamten magnetischen Widerstand  $R_m$  des Erregerkreises und dessen Induktivität  $L$ . **Ersatzwert:**  $R_m = 1,6 \cdot 10^5 \text{ H}^{-1}$

Der Erregerstrom beträgt  $I_e = 8 \text{ A}$ .

- 1.3 Berechnen Sie den magnetischen Fluss  $\Phi$ , die magnetische Induktion  $B$  und die magnetische Feldstärke  $H$  in den beiden Luftspalten. **Ersatzwerte:**  $\Phi = 10 \text{ mWb}$ ,  $B = 1,25 \text{ T}$

- 1.4 Berechnen Sie den magnetischen Fluss im Rotor  $\Phi_r$ , in den Erregerpolen  $\Phi_e$  und im Stator  $\Phi_s$  links und rechts der Erregerpole (Rückschluss).

- 1.5 Nun fließt ein Ankerstrom durch die jeweils  $N_r = 5$  Stäbe im Rotor unterhalb der Polschuhe. Zeichnen Sie die richtigen Stromrichtungen (Kreuze oder Punkte) der Stabströme in das obere Bild ein, damit sich ein Drehmoment  $M$  ausbildet, das den Rotor im Uhrzeigersinn antreibt.

- 1.6 Der Motor soll ein Drehmoment von  $M = 5 \text{ Nm}$  an der Motorwelle erzeugen. Die Ankerwicklungsstäbe liegen auf einem auf die Motorwelle bezogenen wirksamen Durchmesser von  $d = 100 \text{ mm}$  und sind jeweils  $l = 80 \text{ mm}$  lang. Welche Kraft  $F$  muss dann ein Stab erzeugen?

- 1.7 Berechnen Sie den Ankerstrom  $I_a$  in einem Stab. Sie können zur Berechnung annehmen, dass die Ankerstäbe im Luftspaltfeld liegen, statt im Rotoreisen.

**Aufgabe 2: Phasenschieberbrücke** (ca. 19 Punkte)

Mit einer *Phasenschieberbrücke* kann die Phase einer Wechselspannung bei konstantem Betrag eingestellt werden. Hierzu wird folgende Wechselspannungs-Messbrücke verwendet, welche mit einer sinusförmigen Wechselspannung  $\underline{U}_S$  der Frequenz  $f$  betrieben wird. Über den variablen Widerstand  $R_x$  kann die Phase der zwischen den Klemmen 1 – 2 gemessenen Spannung  $\underline{U}_d$  (Diagonalspannung) im Bereich 0 bis  $\pi$  gegenüber  $\underline{U}_S$  eingestellt werden.

$\underline{U}_S = U \cdot e^{j\varphi_u} = 10 \cdot e^{j0} \text{ V}$   
 (komplexer Effektivwert)

Betriebsfrequenz:  $f = 10 \text{ kHz}$

Bauteile:  $R = 2 \text{ k}\Omega$   
 $R_x = 2 \text{ k}\Omega$

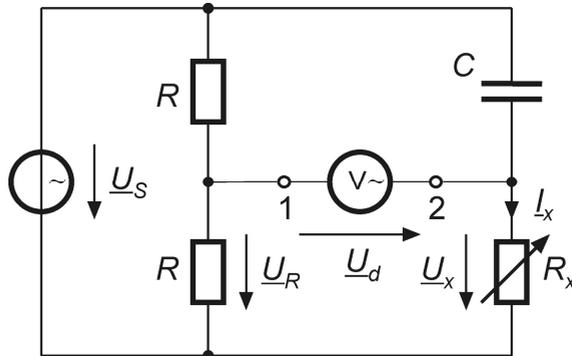
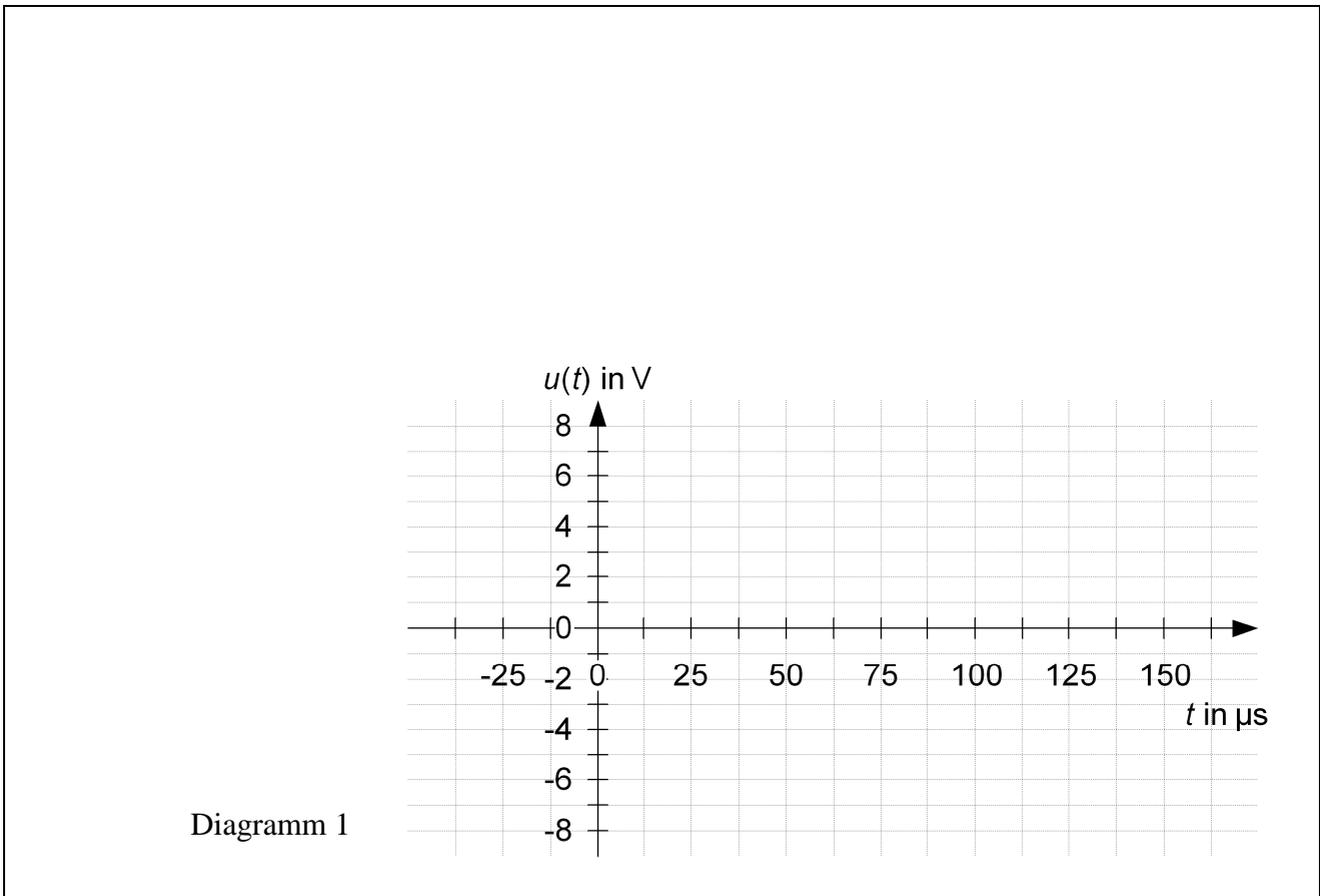


Abb. 1: Phasenschieberbrücke

Im Folgenden wird die Einstellung  $R_x = R = 2 \text{ k}\Omega$  betrachtet, bei der sich folgende Diagonalspannung ergibt:

$\underline{U}_d = -j5 \text{ V}$

2.1 Geben Sie die Periodenzeit  $T$ , Amplitude  $\hat{U}_d$  und Phase  $\varphi_u$  der Diagonalspannung  $\underline{U}_d$  an. Zeichnen Sie den zugehörigen Zeitverlauf  $u_d(t)$  in das Diagramm 1 sowie den Effektivwert-Drehzeiger  $\underline{U}_d$  in die komplexe  $\underline{U}$ -Ebene (Diagramm 2 auf der nächsten Seite).



2.2 Geben Sie  $\underline{U}_d$  in Abhängigkeit von  $\underline{U}_R$  und  $\underline{U}_x$  an. Berechnen Sie damit die Spannungen  $\underline{U}_R$ ,  $\underline{U}_x$ ,  $\underline{U}_C$  sowie den Strom  $\underline{I}_x$  und zeichnen Sie diese vier Effektivwert-Drehzeiger in das Diagramm 2.

**Ersatzwert:**  $\underline{I}_x = (2 + j2) \text{ mA}$

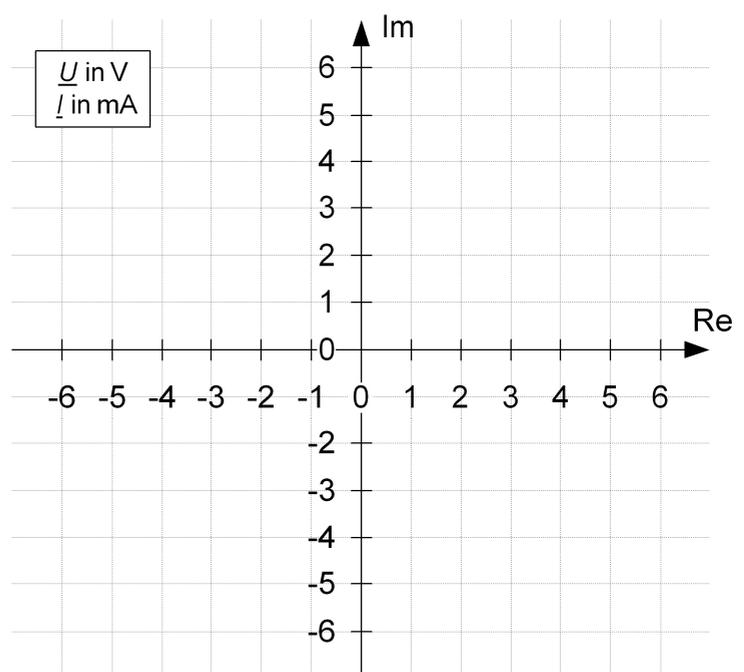


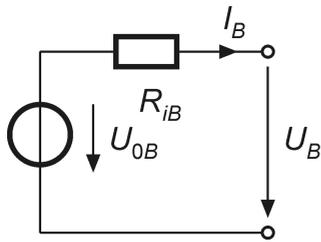
Diagramm 2

2.3 Berechnen Sie den Blindwiderstand  $X_C$  der Kapazität  $C$  für  $R_x = R = 2 \text{ k}\Omega$  und bestimmen Sie daraus  $C$ .

2.4 Welche komplexe Scheinleistung  $\underline{S}$  nimmt die Serienschaltung von  $R_x$  und  $C$  in diesem Fall auf?

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

Betrachtet wird ein Fahrzeug-Bleiakkumulator („Starterbatterie“), der im jeweiligen Arbeitspunkt vereinfacht als lineare Spannungsquelle betrachtet werden kann mit folgenden Kenndaten:



Nennspannung:  $U_{0B} = 12 \text{ V}$   
Innenwiderstand:  $R_{iB} = 0,02 \text{ } \Omega$   
Nennkapazität:  $Q_n = 75 \text{ Ah}$

Abb. 1: Akkumulator

3.1 Berechnen Sie den Kurzschlussstrom  $I_k$  und die nominal gespeicherte Energie  $W_n$  des Akkus.

3.2 Welche maximale Leistung kann von diesem Akkumulator zum Anlassen geliefert werden? Begründen Sie warum dieser Betriebspunkt im Dauerbetrieb nicht sinnvoll ist.

3.3 Warum kann die Parallelschaltung von zwei Akkumulatoren mit stark unterschiedlichem Ladezustand unmittelbar nach Anklemmen problematisch sein (Stichwort Starthilfe, Begründung)?

Beim Abstellen des Fahrzeugs bleibt versehentlich das Fahrlicht (insgesamt 4 Glühlampen, vorne bzw. hinten mit jeweils Nennleistung  $P_{front} = 60 \text{ W}$  bzw.  $P_{rück} = 20 \text{ W}$  bei  $U_n = 12 \text{ V}$ ) eingeschaltet.

3.4 Berechnen Sie den Entladestrom  $I_n$ .

**Ersatzwert:**  $I_n = 15 \text{ A}$

3.5 Schätzen Sie ab, nach welcher Zeit der betrachtete vollgeladene Akkumulator unter Annahme dieses konstant angenommenen Entladestroms  $I_n$  nominal entladen ist und eine irreversible Schädigung durch Tiefentladung auftreten kann.

Glücklicherweise bemerken Sie dies jedoch vor der Tiefentladung und wollen den mittlerweile entladenen Akkumulator extern laden. Hierzu steht Ihnen eine Spannungsquelle (Leerlaufspannung  $U_{0Q} = 27,5 \text{ V}$ , Innenwiderstand  $R_{iQ} = 1 \Omega$ ) und zwei Leistungswiderstände  $R_1, R_2$  als Anpassnetzwerk zur Verfügung, die folgendermaßen mit dem Akku verschaltet werden:

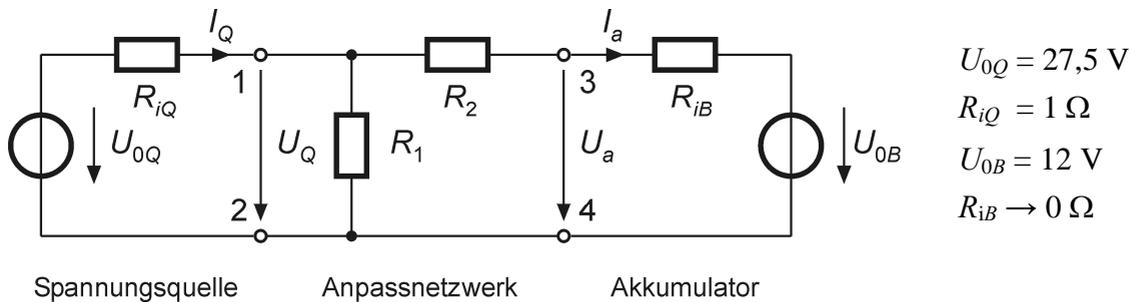


Abb. 2: Ladegerät

3.6 Zeichnen Sie das Spannungsquellen-Ersatzschaltbild (ESB) des Ladegeräts **links der Ausgangsklemmen 3–4** und geben Sie die zugehörigen Kenngrößen  $U_0$  und  $R_i$  allgemein an.

Beim Ladevorgang steigt dabei die Akkumulator-Klemmenspannung von  $U_{a,leer} = 10,6 \text{ V}$  (entladener Akku) auf  $U_{a,voll} = 14,4 \text{ V}$  (vollgeladener Akku), wodurch sich der anfängliche Ladestrom  $I_{a,leer} = I_a(U_{a,leer})$  auf  $I_{a,voll} = I_a(U_{a,voll})$  bei vollem Akku reduziert.

Der Ladestrom soll bei Ladebeginn  $I_{a,leer} = 7,5 \text{ A}$  betragen und bei vollgeladenem Akku noch  $I_{a,voll} = 5 \text{ A}$ . Der Innenwiderstand des Akkus kann nachfolgend vernachlässigt werden:  $R_{iB} \rightarrow 0 \Omega$

3.7 Dimensionieren Sie die beiden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  so dass sich die gewünschten Ladeströme  $I_{a,leer}$  und  $I_{a,voll}$  einstellen.

**Hinweis:** Betrachten Sie hierzu das ESB für diese beiden Arbeitspunkte (leerer und voller Akku) und berechnen Sie daraus zunächst die erforderlichen Kenngrößen  $R_i$  und  $U_0$ .

**Aufgabe 4: Einschalten von Glühlampen** (ca. 17 Punkte)

Beim Einschalten von Glühlampen fließt aufgrund des temperaturabhängigen Widerstands  $R(T)$  des metallischen Glühdrahts (Kaltleiter) ein wesentlich höherer Strom als im Nennbetrieb, wodurch diese praktisch nur beim Einschalten durchbrennen.

Betrachtet wird eine Niederspannungs-Halogenlampe mit folgenden Daten bei **Nennbetrieb** (Glühdraht-Temperatur  $T = T_n$ ):

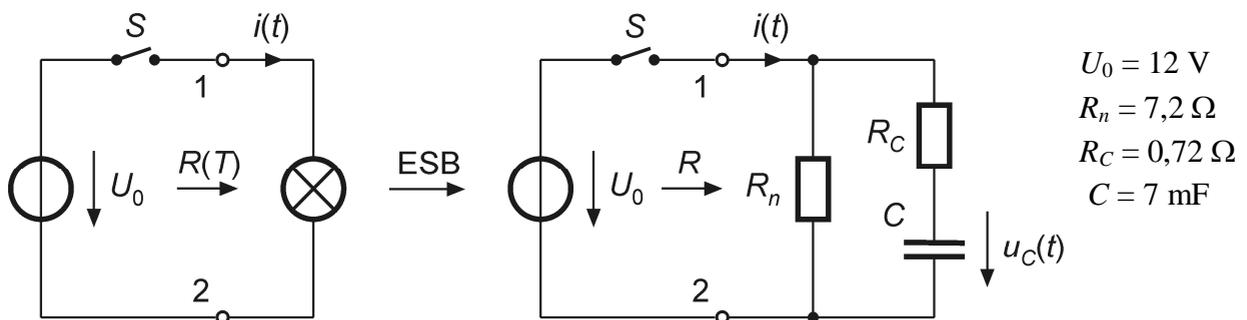
Betriebsspannung:  $U_0 = 12 \text{ V}$

Betriebswiderstand:  $R_n = 7,2 \Omega$

4.1 Berechnen Sie den Nennstrom  $I_n$  und die Nennleistung  $P_n$ .

**Ersatzwert:**  $I_n = 1,5 \text{ A}$

Das Einschaltverhalten der Glühlampe soll mit Hilfe folgenden Ersatzschaltbilds untersucht werden. Bei geöffnetem Schalter  $S$  ist der Wolfram-Glühdraht auf Umgebungstemperatur  $T_0$  und der die Wärmekapazität der Glühwendel modellierende Kondensator  $C$  vollständig entladen.

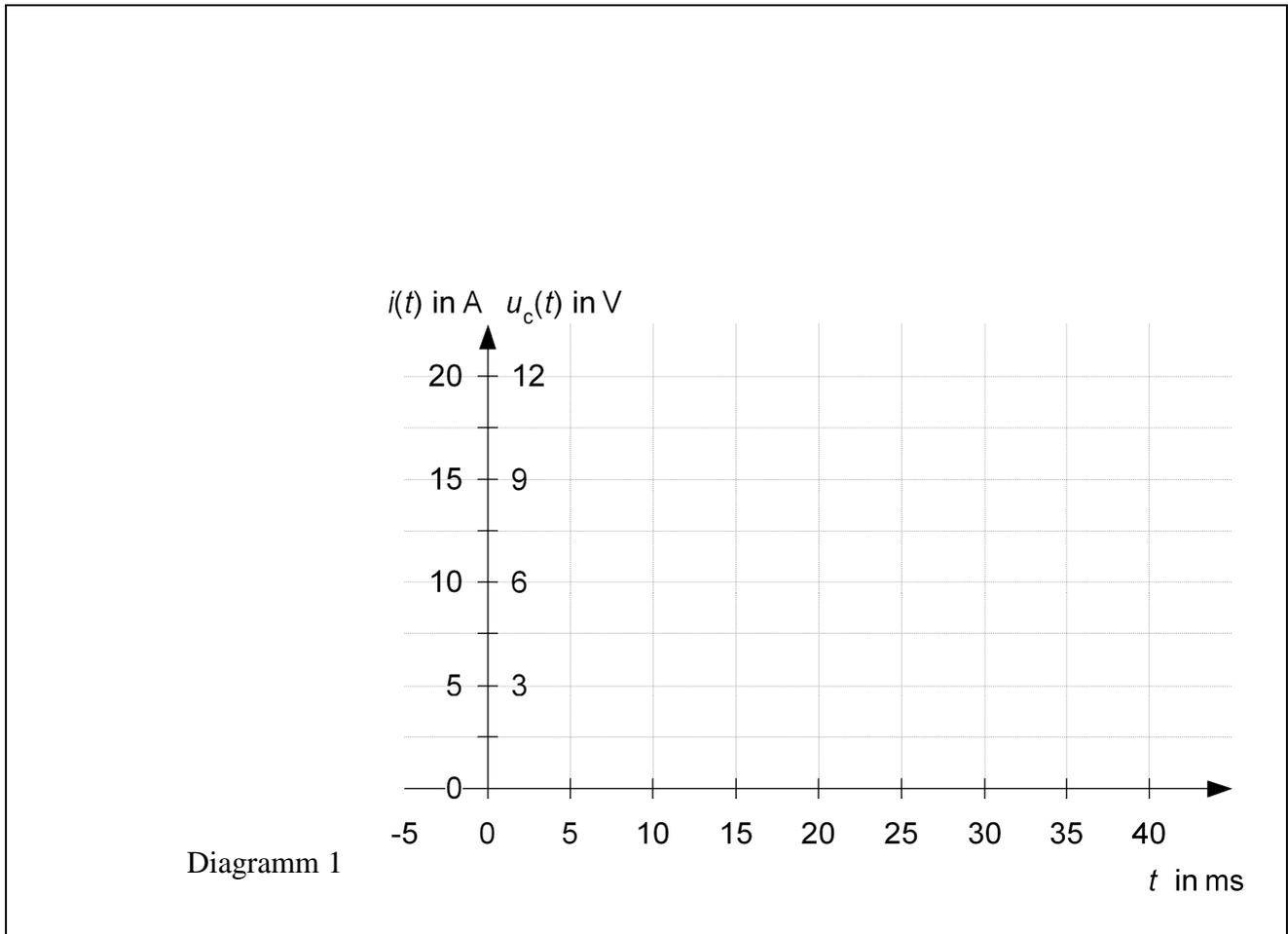


Zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  wird nun der Schalter geschlossen.

4.2 Berechnen Sie den Strom durch den Kondensator  $I_{0C} = i_C(t_0)$  unmittelbar nach Einschalten der Glühlampe, den Einschaltstrom  $I_0 = i(t_0)$  der von der Spannungsquelle geliefert wird, sowie die Einschalt-Zeitkonstante  $\tau_C$ .

**Ersatzwert:**  $\tau_C = 4 \text{ ms}$

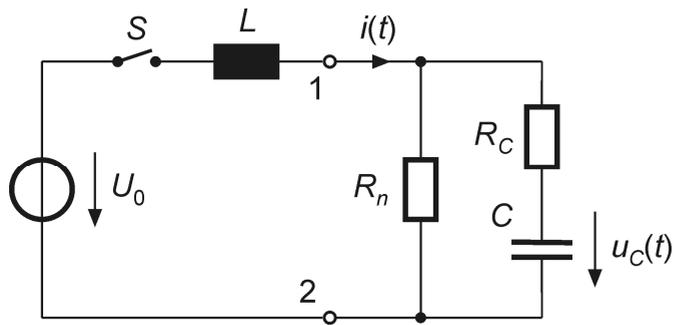
4.3 Geben Sie den Verlauf des Einschaltstroms  $i(t)$  für  $t \geq 0$  an und skizzieren Sie  $i(t)$ , die Zeitkonstante  $\tau_C$  sowie Nennstrom  $I_n$  und Einschaltstrom  $I_0$  in das Diagramm 1.



4.4 Geben Sie den Verlauf der Kondensatorspannung  $u_C(t)$  an und zeichnen Sie  $u_C(t)$  und  $\tau_C$  in das Diagramm 1.



Der hohe Einschaltstrom der Glühlampe soll mit Hilfe einer Induktivität vermieden werden:



4.5 Geben Sie die für die Induktivität  $L$  für  $t \gg \tau_C$  maßgebliche Zeitkonstante  $\tau_L$  allgemein an.

Die für die Induktivität maßgebliche Zeitkonstante soll  $\tau_L = 10 \tau_C$  betragen, wobei der Einfluss von  $\tau_C$  im Folgenden vernachlässigt werden kann.

4.6 Berechnen Sie den Wert der erforderlichen Induktivität  $L$  und skizzieren Sie den sich jetzt ergebenden Verlauf des Einschaltstroms  $i_L(t)$  qualitativ in das Diagramm 1.