

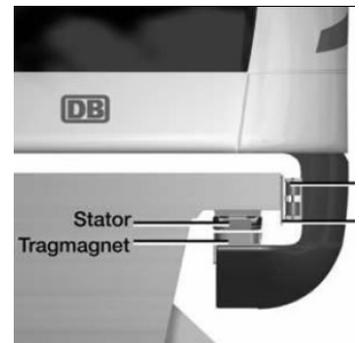
<b>Hochschule München FK 03</b>	<b>Prüfung Sommersemester 2016 Grundlagen der Elektrotechnik Dauer: 90 Minuten</b>	T. Brodbeck, W. Rehm F. Palme
<b>Zugelassene Hilfsmittel:</b> Taschenrechner, 1 DIN-A4-Blatt	<b>Matr.-Nr.:</b>	<b>Name, Vorname:</b>
	<b>Hörsaal:</b>	<b>Unterschrift:</b>

<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: Tragmagnete einer Magnetschwebbahn (ca. 15 Punkte)**

Die in den 70er Jahren entwickelte Magnetschwebetechnik für den Transrapid benötigt zum magnetischen Schweben sogenannte Tragmagnete (Abb. 2), die das Fahrzeug von unten an die an den Fahrweg montierten Eisenschienen (Stator) ziehen (Abb. 1). Der erforderliche Luftspalt  $l$  wird dabei über die Regelung des Erregerstroms der Tragmagnete ständig konstant gehalten werden (Abb 3).

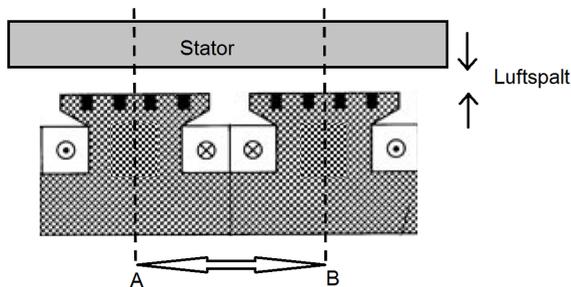
Nachfolgend wird aufgrund der Symmetrie der Wicklungsanordnung nur der Magnetkreis der beiden halben Magnetpole im Bereich von A bis B betrachtet und damit auch nur die halben Polflächen. Die Permeabilität des Eisens sei unendlich groß,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/(Am)}$ .



**Abb. 1:** Funktion der Tragmagnete und Position am Fahrzeug



**Abb. 2:** Anordnung von 10 Magnetpolen



**Abb. 3:** Querschnitt durch 2 Magnetpole

**Daten Magnetkreis:**

- Länge Schwebeluftspalt  $l = 10 \text{ mm}$
- Fläche eines Magnetpols  $A = 0,1 \text{ m}^2$
- Anziehungskraft eines Magnetpols  $F = 32 \text{ kN}$
- Hinweis:**  $F = B^2 A / (2 \cdot \mu_0)$

1.1 Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild dieses Magnetkreises (alle auftretenden Größen bezeichnen) und berechnen Sie dessen magnetischen Widerstand  $R_m$ . Zeichnen Sie beispielhaft einige magnetische Feldlinien in Abb. 3 ein.

1.2 Stellen Sie die Maschengleichung für den Magnetkreis auf. Setzen Sie dabei auch die allgemeine Formel für den magnetischen Widerstand  $R_{m,L}$  der beiden Luftspalte ein (halbe Polflächen).

1.3 Berechnen Sie allgemein die Durchflutung  $\theta$  als Funktion von Luftspalllänge  $l$  und magnetischer Flussdichte  $B$ .

1.4 Berechnen Sie die magnetische Flussdichte  $B$  im Luftspalt, die für die Anziehungskraft von  $F = 32 \text{ kN}$  eines Magnetpols erforderlich ist.

1.5 Berechnen Sie die dafür notwendige Durchflutung  $\theta$ .

1.6 Die Stromquelle im Fahrzeug liefert maximal  $I = 100 \text{ A}$ . Wieviele Leiter  $N$  werden für die geforderte Durchflutung benötigt?

1.7 Wie verändern sich  $B$  im Luftspalt und Anziehungskraft  $F$  der Tragsmagnete qualitativ, wenn sich der Luftspalt aufgrund von Fahrzeugbewegungen etwas verkleinert (Begründung)?

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

Das in Abb. 1 gezeigte Netzwerk 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 Last  $\underline{Z}_a$  beschaltet.

$\underline{U} = U \cdot e^{j\varphi_u} = 230 \cdot e^{j0} \text{ V}$   
 (komplexer Effektivwert)

Betriebsfrequenz:  $f = 50 \text{ Hz}$

Bauteile:  $R = 20 \text{ } \Omega$

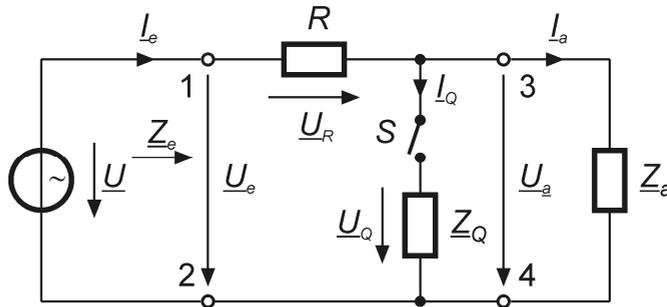


Abb. 1: Blindleistungskompensation

**Teil 1: Standardbetrieb**

Zunächst ist der **Schalter S offen**, wodurch die Impedanz  $\underline{Z}_Q$  unwirksam ist. Die Schaltung nimmt dabei an den Eingangsklemmen 1–2 die komplexe Scheinleistung  $\underline{S} = (0,92 + j 0,37) \text{ kVA}$  auf.

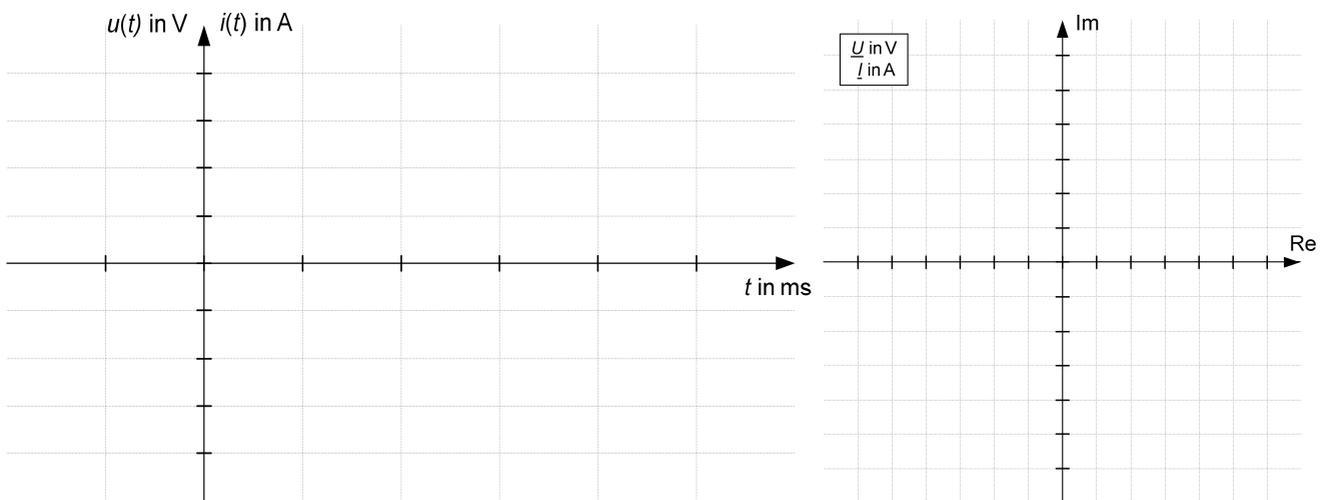


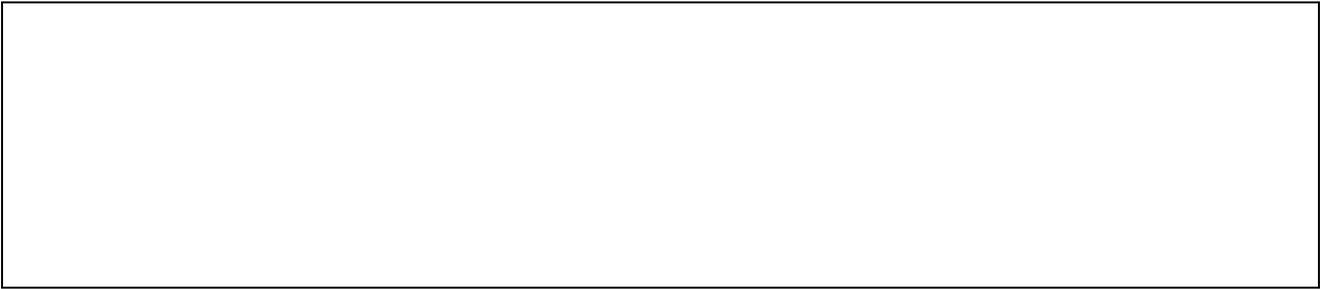
Diagramm 1

Diagramm 2

2.1 Berechnen Sie die Scheinleistung  $S$  und den Eingangsstrom  $\underline{I}_e$ . **Ersatzwert:**  $\underline{I}_e = (5 - j 2) \text{ A}$

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

- 2.3 Berechnen Sie die komplexen Effektivwerte der Spannungen  $\underline{U}_R$  und  $\underline{U}_a$ . Zeichnen Sie die zugehörigen Effektivwertzeiger in Diagramm 2. **Ersatzwert:**  $\underline{U}_a = (130 + j 40) \text{ V}$



- 2.4 Berechnen Sie die Impedanz  $\underline{Z}_a$ . Geben Sie ein Ersatzschaltbild (ESB) des Zweipols  $\underline{Z}_a$  an und berechnen Sie dessen Bauteilwerte. **Ersatzwert:**  $\underline{Z}_a = (20 + j 16) \Omega$



### Teil 2: Blindleistungskompensation

Nun wird der **Schalter S geschlossen** und damit die Impedanz  $\underline{Z}_Q$  wirksam, die so ausgelegt werden soll dass die Schaltung an den Eingangsklemmen 1–2 keine Blindleistung  $Q$  aufnimmt.

- 2.5 Wie groß sind die in diesem Fall auftretenden neuen Ströme  $\underline{I}'_e$ ,  $\underline{I}'_a$  und  $\underline{I}_Q$  sowie die kompensierte Scheinleistung  $S'$ ? Zeichnen Sie alle Ströme mit geeigneter Skalierung in Diagramm 2.

**Ersatzwert:**  $\underline{I}'_e = 5 \text{ A}$



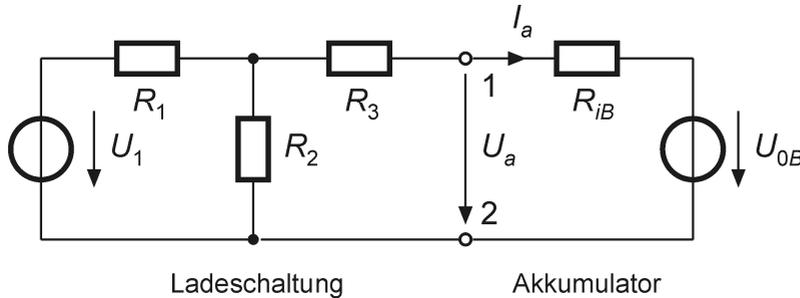
- 2.6 Geben Sie Art ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) und Wert der erforderlichen Impedanz  $\underline{Z}_Q$  an (Begründung).

**Hinweis:** Berechnen Sie dazu die in diesem Fall auftretende Ausgangsspannung  $\underline{U}'_a$ .



**Aufgabe 3: Akkumulator-Ladegerät** (ca. 18 Punkte)

Das in Abb. 1 vereinfacht dargestellte Prinzipschaltbild eines Ladegeräts für Modellbau-Akkumulatoren soll dimensioniert werden. Der Lithium-Polymer-Akkumulator (LiPo) kann dabei als ideale Spannungsquelle mit Innenwiderstand  $R_{iB} \rightarrow 0 \Omega$  angenommen werden, dessen Leerlaufspannung mit zunehmender Ladung von  $U_{a,leer} = 3,2 \text{ V}$  (entladener Akku, Arbeitspunkt AP1) auf  $U_{a,voll} = 4,2 \text{ V}$  (vollgeladener Akku, Arbeitspunkt AP2) steigt, 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.



$$U_1 = 16,5 \text{ V}$$

$$R_1 = 5 \Omega$$

$$U_{a,leer} = 3,2 \text{ V} \quad (\text{AP1})$$

$$U_{a,voll} = 4,2 \text{ V} \quad (\text{AP2})$$

$$R_{iB} \rightarrow 0 \Omega$$

Abb. 1: Akkumulator-Ladegerät

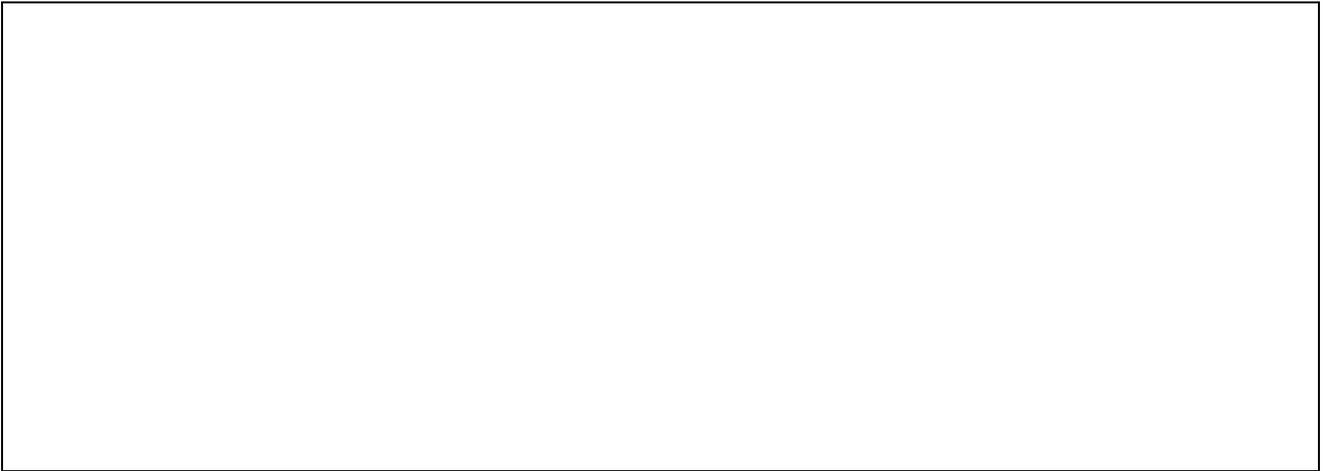
Im Weiteren soll bei Schnellladung ein Ladestrom von  $I_{a,leer} = 1 \text{ A}$  bereitgestellt werden (AP1), der bei vollgeladenem Akku um maximal 10 % abnimmt (AP2).

3.1 Zeichnen Sie das Stromquellen-Ersatzschaltbild (ESB) der Schaltung **links der Ladeklemmen 1–2** mit angeschlossenem Akkumulator und  $R_{iB} = 0 \Omega$ .

3.2 Berechnen Sie die Kenngrößen  $I_0$  und  $R_i$  dieses ESB allgemein und zahlenmäßig so dass sich die geforderten Ladespannungen und -ströme für die beiden Arbeitspunkte AP1 und AP2 einstellen. **Ersatzwerte:**  $I_0 = 1,4 \text{ A}$ ,  $R_i = 8 \Omega$

3.3 Welcher maximale Strom  $I_{max}$  kann der Schaltung am Ausgang entnommen werden und wie groß ist die Leerlaufspannung  $U_0$ ? **Ersatzwert:**  $U_0 = 11,2 \text{ V}$

3.4 Skizzieren Sie das Strom-Spannungsdiagramm  $I_a(U_a)$  dieser Ladeschaltung quantitativ und zeichnen Sie die Arbeitspunkte AP1 (Akku leer) und AP2 (Akku voll) in das Diagramm ein.

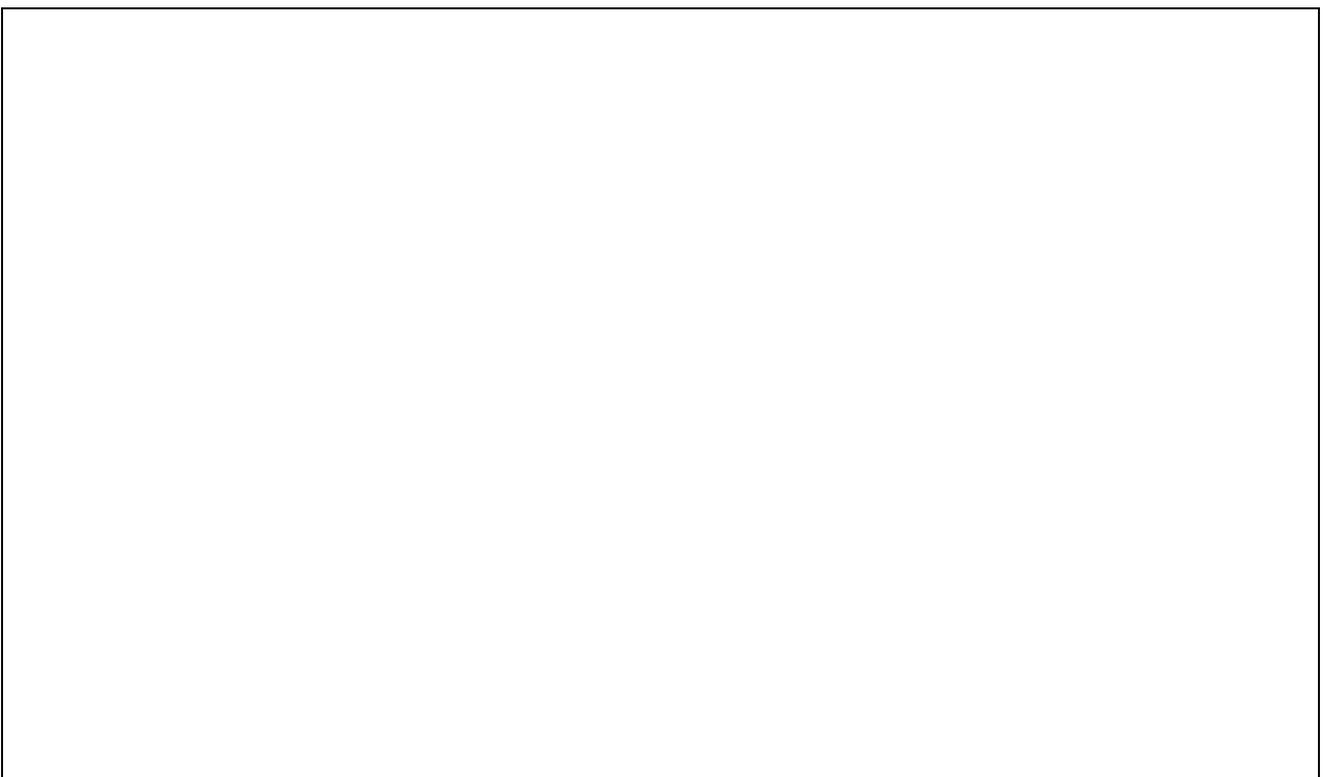


3.5 Berechnen Sie die vom Akkumulator bei Beginn des Ladevorgangs aufgenommene Leistung  $P_{a,leer}$  und damit den zugehörigen Wirkungsgrad  $\eta$  der Ladeschaltung.



3.6 Dimensionieren Sie die beiden Widerstände  $R_2$  und  $R_3$  allgemein und zahlenmäßig so dass sich die gewünschten Ladeströme  $I_{a,leer}$  und  $I_{a,voll}$  einstellen.

**Hinweis:** Berechnen Sie dazu die Kenngrößen  $U_0$  und  $R_i$  des ESB in Abhängigkeit von  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$ .

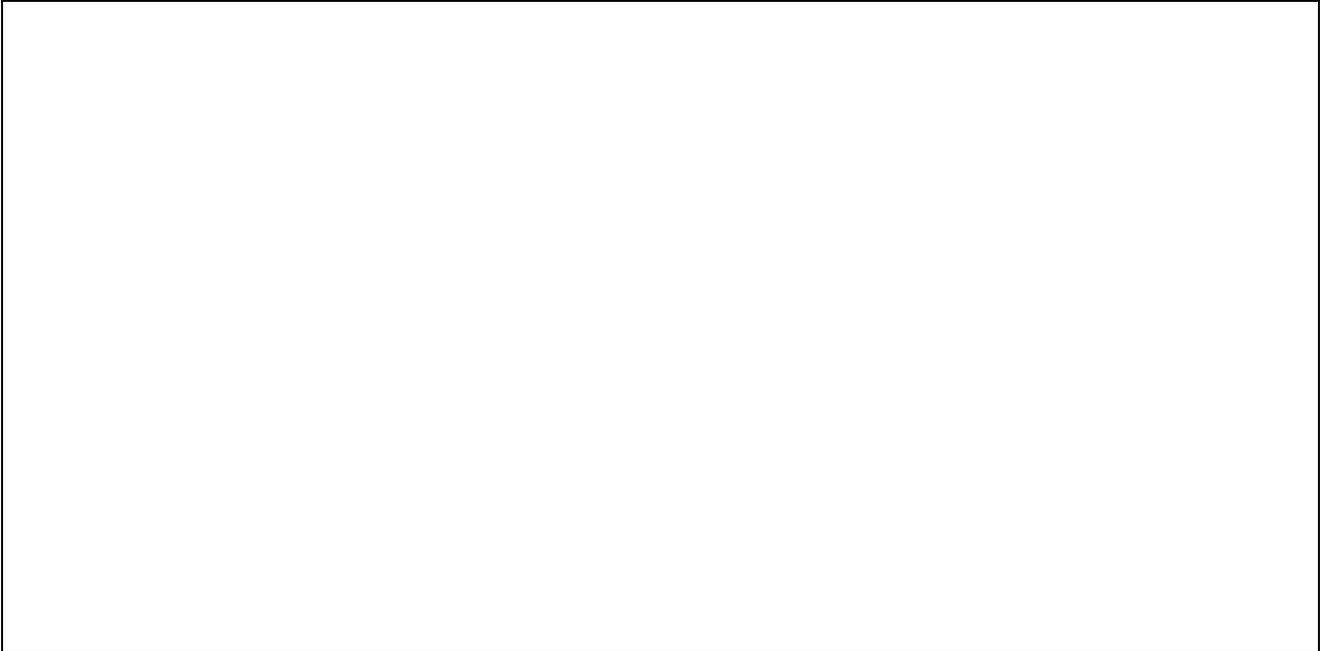


**Aufgabe 4: Plattenkondensator** (ca. 20 Punkte)

Ein Plattenkondensator mit einer Plattenfläche von  $A_0 = 340 \text{ cm}^2$ , einem Plattenabstand  $d_0 = 3 \text{ mm}$  und Luft als Dielektrikum wird mit einer Spannung  $U_0 = 1 \text{ kV}$  aufgeladen ( $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$ ).

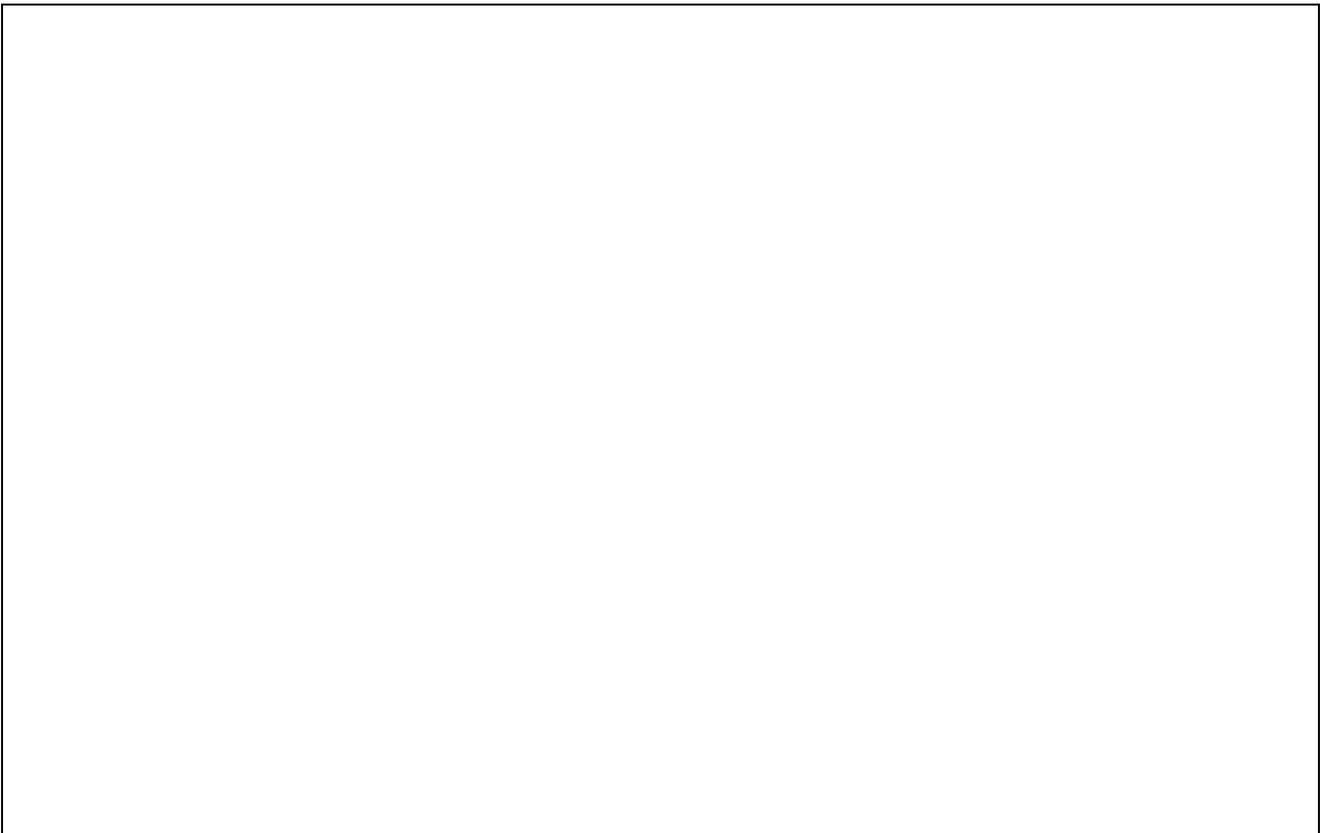
4.1 Berechnen Sie folgende Kenngrößen dieses Kondensators: Kapazität  $C_0$ , Ladung  $Q_0$ , elektrische Feldstärke  $E_0$ , dielektrische Verschiebung  $D_0$  und gespeicherte Energie  $W_0$ .

**Ersatzwert:**  $C_0 = 200 \text{ pF}$



In den Kondensator wird eine Glasplatte ( $\epsilon_r = 5$ ) mit der Dicke  $d_g = 2 \text{ mm}$  so eingeschoben, dass die Hälfte der Plattenfläche abgedeckt ist.

4.2 Skizzieren Sie die Anordnung und geben Sie das Ersatzschaltbild an. Berechnen Sie die Kapazität  $C_1$  dieser Anordnung.



Nun wird die Glasplatte wieder entfernt, die Spannungsquelle abgetrennt und anschließend ein ungeladener Kondensator  $C_p = 50 \text{ pF}$  parallel zu  $C_0$  geschaltet.

4.3 Auf welchen Wert  $U_2$  sinkt die Spannung?

Ersatzwert:  $U_2 = 0,5 \text{ kV}$

Diese Anordnung wird über einen Widerstand  $R = 1 \text{ M}\Omega$  entladen.

4.4 Berechnen Sie die Zeitkonstante  $\tau$  und den maximalen Entladestrom  $I_{max}$ . Geben Sie den Zeitverlauf der Spannung  $u(t)$  an den Kondensatoren und des Entladestroms  $i(t)$  quantitativ an.

4.5 Skizzieren Sie die prinzipiellen Zeitverläufe  $u(t)$  und  $i(t)$  quantitativ in einem geeignet skalierten gemeinsamen Diagramm im Bereich  $0 \leq t \leq 5 \tau$  (jeweils Zeitkonstante  $\tau$  kennzeichnen) und begründen Sie, warum  $I_{max}$  mit einem Drehspulinstrument nicht gemessen werden kann.