

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

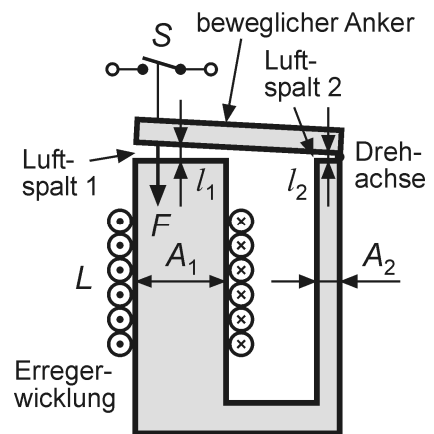
A	1	2	3	4	Σ	N
P						

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 Φ 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: $R = 0,8 \ \Omega$

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

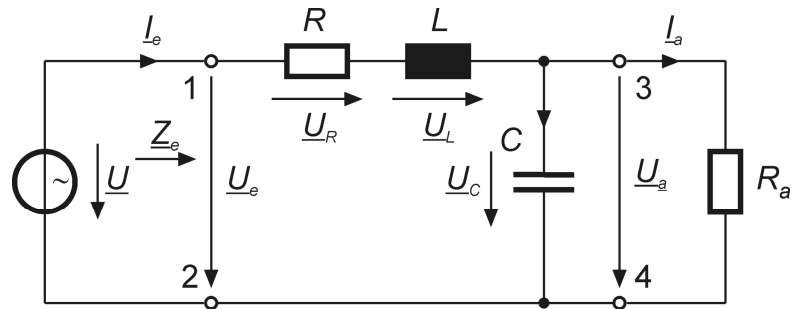


Abb. 1: Tiefpassfilter

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.

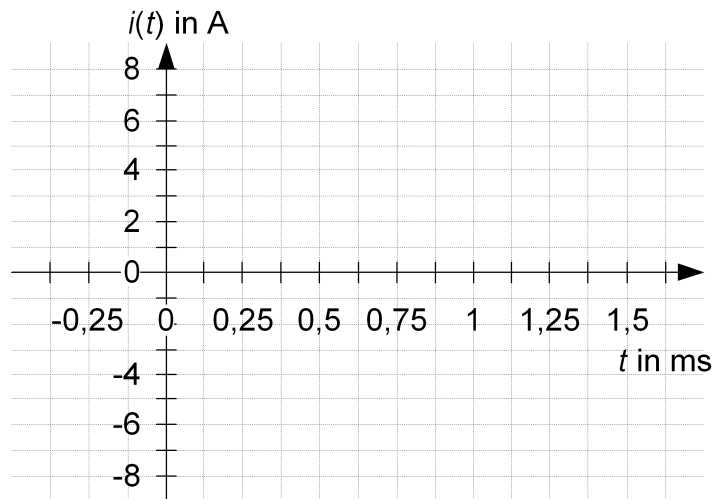


Diagramm 1

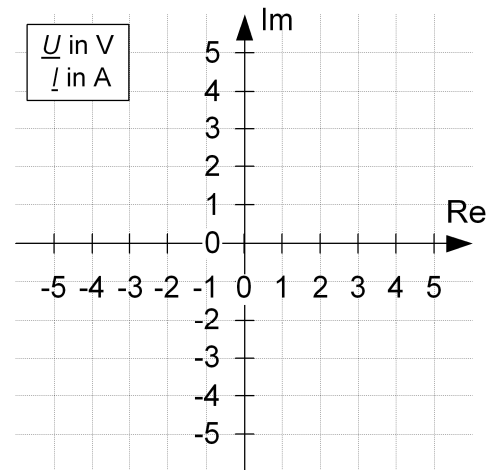


Diagramm 2

2.1 Berechnen Sie \underline{I}_e und zeichnen Sie den entsprechenden Effektivwert-Drehzeiger \underline{I}_e in die komplexe 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 φ_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 $I_{0,2} = 16 \text{ mA}$.

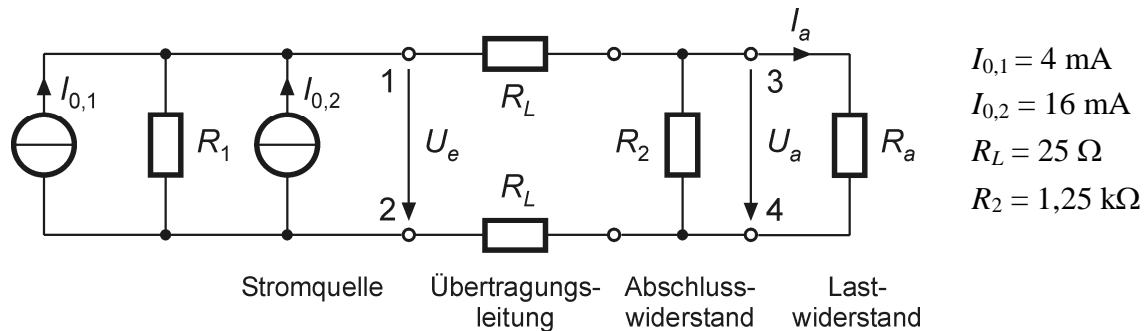


Abb. 1: 20 mA-Stromschleife

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

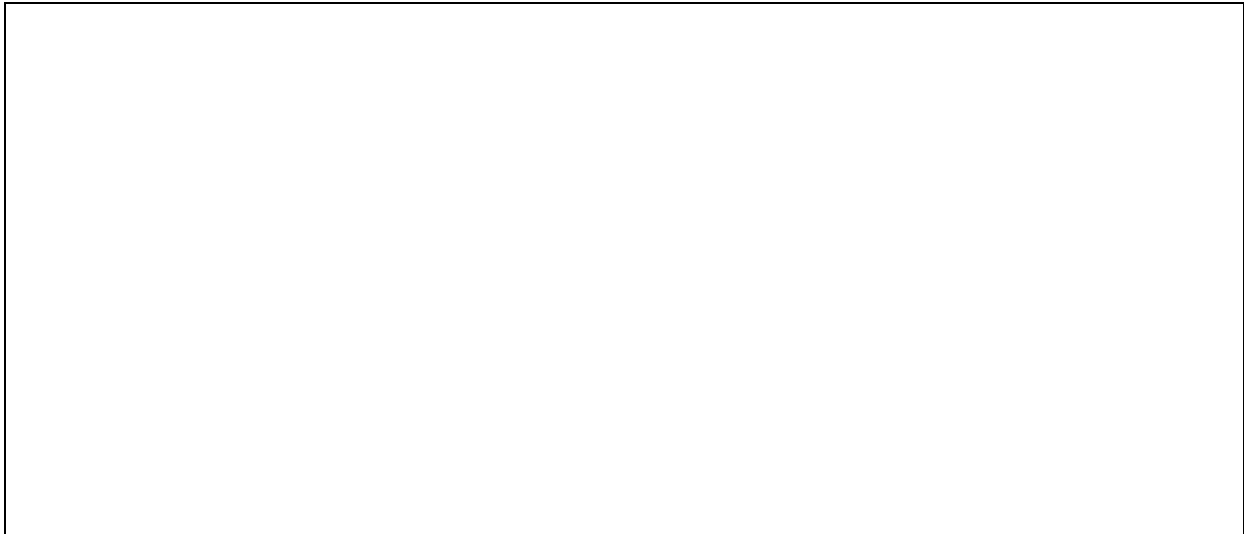
- 3.3 Zeichnen Sie das Stromquellen-Ersatzschaltbild (ESB) der Stromschleife **links der Ausgangsklemmen 3–4** und berechnen Sie die zugehörigen Kenngrößen I_0 und R_i allgemein und zahlenmäßig. **Ersatzwerte:** $I_0 = 24 \text{ mA}$, $R_i = 500 \Omega$



- 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:** $U_0 = 15 \text{ V}$



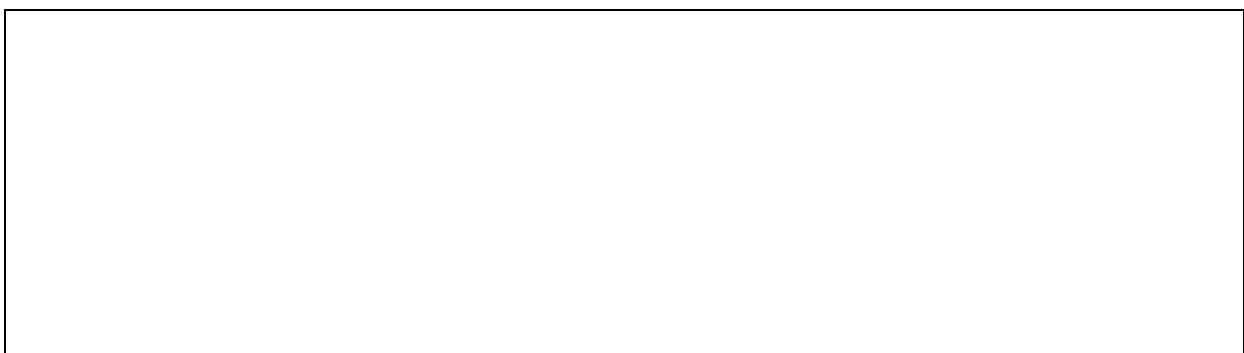
3.5 Für welchen Ausgangswiderstand R_a wird die übertragene Leistung maximal? Kennzeichnen Sie diesen Arbeitspunkt im Strom-Spannungsdiagramm und geben Sie den zugehörigen Ausgangsstrom I_a sowie die in R_a umgesetzte maximale Leistung $P_{a,max}$ zahlenmäßig an.



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?



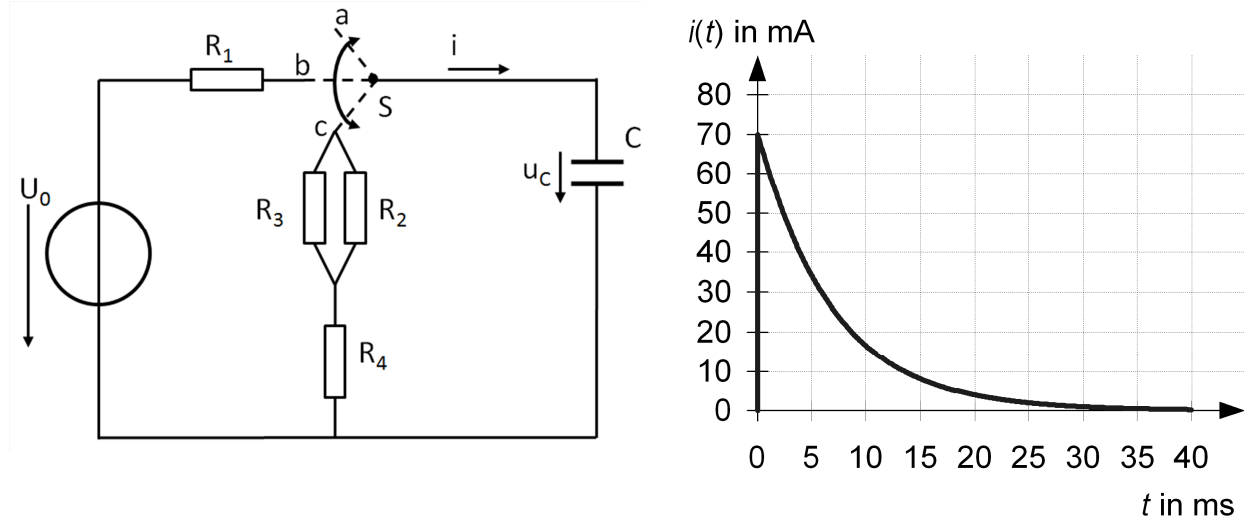
3.7 Unter welcher Bedingung ist die Ausgangsspannung U_a unabhängig von der Leitungslänge (Begründung)?



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:



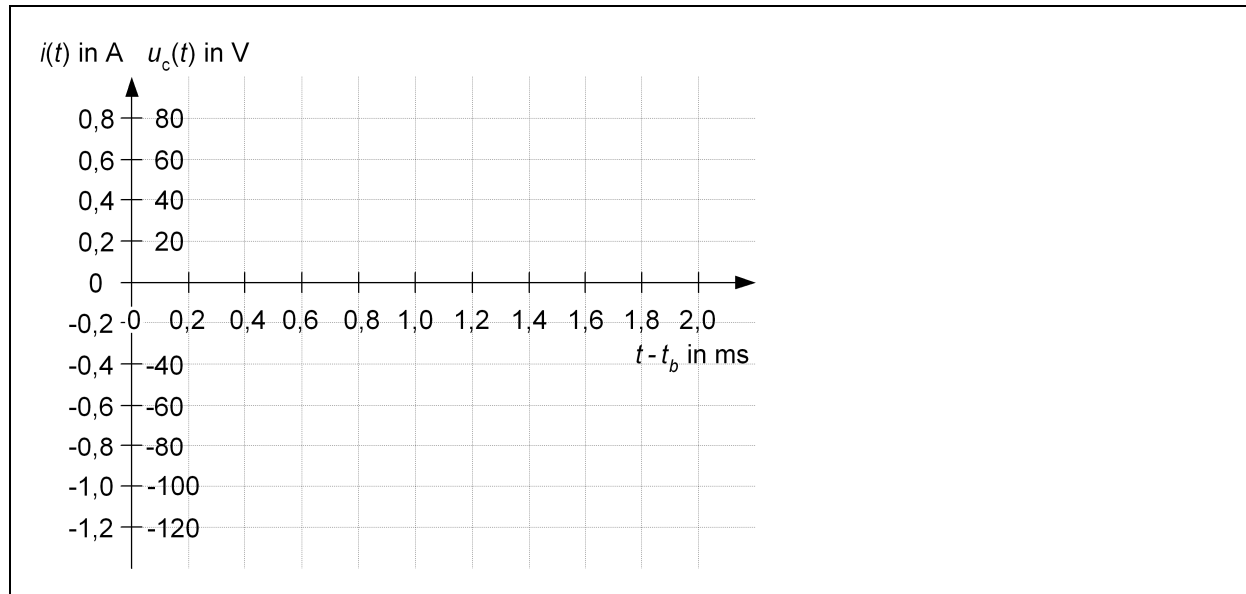
4.1 Berechnen Sie U_0 .

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

4.2 Berechnen Sie die Lade-Zeitkonstante τ_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 τ_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 τ_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 ?