



FACH
HOCH
SCHULE
JENA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Fachbereich SciTec

Elektrotechnikpraktikum

Studiengang FT/LOT/PT/PVHT (B.Eng.)
Prof. Dr. Endter

Versuch 4

29. März 2010

Kondensator und Spule (Eigenschaften und Schaltvorgänge)

Studiengang/Set: Praktikumsplatz-Nr.: Datum:

Note:

Teilnehmer 1:
(Protokollant) (Blockschrift) (Unterschrift)

Datum:

Teilnehmer 2:
(Blockschrift) (Unterschrift)

.....
Unterschrift

Literatur:

- Zastrow, D.: Elektrotechnik - Lehr- und Arbeitsbuch
Braunschweig: Vieweg 1993 S. 145 ff.
- Altmann, S.: Elektrotechnik, Lehr- und Übungsbuch
2001 S. 127-134, 157-163, 340 ff.
- Ose, R.: Elektrotechnik für Ingenieure Bd. 1
Leipzig: Fachbuchverlag 2001; S. 121-139, 156-161, 176-179

1. Einführung

1.1 Erforderliche Begriffe

Kondensator, Kapazität, elektrostatisches Feld, Dielektrikum, Verschiebungsflussdichte, Polarisation, Dielektrizitätskonstante, Spule, Induktivität, Magnetfeld, magnetische Feldstärke, magnetische Induktion, magnetischer Widerstand, Permeabilität, Ersatzschaltbilder von Kondensator und Spule, Kupferwiderstand, Isolations- oder Leckwiderstand, Einschalt- und Ausschaltvorgänge, Differentialgleichungen und deren Lösungen zur Beschreibung der zeitlichen Strom- und Spannungsänderungen bei Schaltvorgängen (Ausgleichsvorgänge, Übergangsvorgänge, Transienten), Kenngrößen exponentieller Vorgänge und deren Messung (Zeitkonstante τ , Halbwertszeit t_H , Anstiegszeit t_{an} (rise time), Abfallzeit t_{ab} (fall time))

1.2 Vorbereitung

Wiederholen Sie die Kapitel aus der Vorlesung zum elektrostatischen und elektromagnetischen Feld (Feldbeschreibung und Feldeigenschaften in Materie) und zu den Bauelementen Kondensator und Spule, deren Funktion und Wirkungsweise auf den Eigenschaften dieser Felder basiert. Im Gegensatz zu Widerstand, an dem elektrische Energie in Stromwärme umgewandelt wird, Energie also dem elektrischen Stromkreis entzogen wird!, handelt es sich bei Kondensator und Spule um Speicher elektrischer Energie! Wiederholen Sie deshalb insbesondere die Abschnitte zu den Schaltvorgängen an diesen Bauelementen (Ausgleichsvorgänge, (Übergangsvorgänge, Transienten) und deren Kenngrößen).

Beantworten Sie folgende Fragen zur Vorbereitung auf die Experimente:

1. Skizzieren Sie qualitativ einen exponentiell verlaufenden Ausgleichsvorgang für eine Spannung und markieren Sie daran wichtige Kenngrößen zur Erfassung der Dynamik dieses Vorgangs. Speziell unter Verwendung der Zeitkonstanten ist die Gleichung zur formalen Beschreibung des Ausgleichsvorgangs anzugeben!
2. Wie kann die Kapazität eines Kondensators anhand seines Entladeverhaltens mit Hilfe der Halbwertszeit t_H ermittelt werden (Messprinzip, Messanordnung Berechnungsvorschrift)?
3. Skizzieren und interpretieren Sie die Ersatzschaltbilder von realem Kondensator und realer Spule! Klären Sie in diesem Zusammenhang die Begriffe Leck- bzw. Isolationswiderstand und Kupferwiderstand und überlegen Sie sich Möglichkeiten zur experimentellen Bestimmung dieser beiden Größen!
4. Welcher Zusammenhang besteht zwischen Anstiegszeit t_{an} bzw. Abfallzeit t_{ab} und der Zeitkonstanten τ eines exponentiellen Ausgleichsvorgangs? Berechnen Sie τ , t_{an} bzw. t_{ab} für die Bedingungen in 2.2.a! Überlegen Sie sich auch die Einflüsse der Instrumentenwiderstände auf die Messungen!

5. Ermitteln Sie die Induktivität folgender Spulenanordnungen:

a) Luftspule in Bild 2 a)

b) Spule, aber jetzt montiert auf den Schenkel eines geschlossenen ringförmigen Eisenkerns ($\mu_r = 600$), s. Bild 2 b)

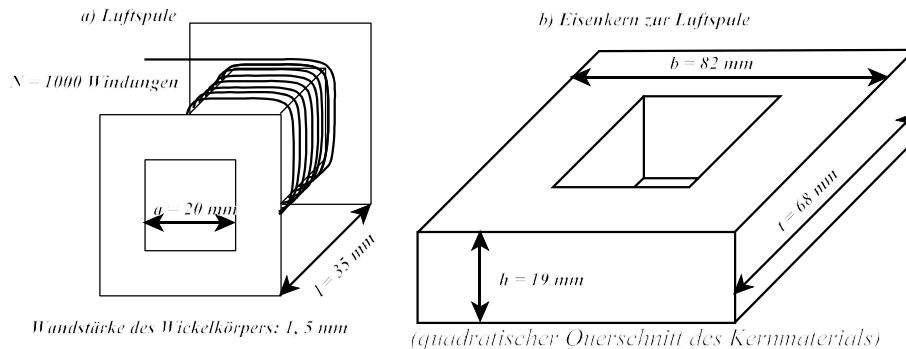


Bild 2 Luftspule und Eisenkern am Versuchsplatz

Hinweis:

Die Selbstinduktivität L von solchen Anordnungen ermittelt sich näherungsweise zu $L = N^2 \cdot \mu \cdot \frac{A}{l}$, mit A - Querschnitt des vom homogenen Magnetfeld erfüllten Raumes und l - Spulenlänge der Luftspule bzw. mittlere Feldlinienlänge im Eisenkern. (Überlegen Sie genau, welcher Querschnitt im Falle der Luftspule und welcher im Falle des Fe-Kerns zu verwenden ist!)

6. Was gibt die Lade- bzw. Entladeendzeit t_E an?

2. Versuchsdurchführung

2.1 Ersatzschaltelemente von Kondensator und Spule

- Bestimmen Sie den Leckwiderstand R_l des 1000 μ F-Kondensators!

Dazu laden Sie zunächst den Kondensator auf einen definierten Spannungswert mit der Versuchsanordnung von Bild 3 auf (**Polung des Elektrolytkondensators beachten!**).

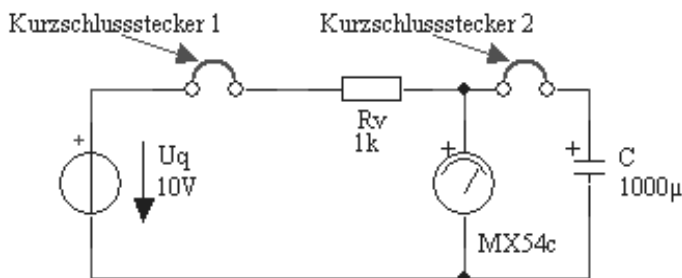


Bild 3 Messanordnung zur Bestimmung des Leckwiderstandes

Warten Sie, bis sich der Anzeigewert im Digitalmultimeter stabilisiert hat und registrieren Sie den Wert. Entfernen Sie dann den Kurzschlussstecker 2 und starten Sie gleichzeitig die Zeitmessung. Entfernen Sie nun den Kurzschlussstecker 1! Nach 120 s verbinden Sie durch Einstecken von Kurzschlussstecker 2 das Messgerät erneut mit dem Kondensator und messen zügig den aktuellen Wert der Kondensatorspannung. Laden Sie danach den Kondensator durch Einstecken von Kurzschlussstecker 1 wieder auf und wiederholen den Vorgang noch zwei mal!

- Bestimmen Sie den Kupferverlustwiderstand R_{Cu} der Spule mit 1000 Wdg. durch eine Widerstandsmessung mit dem Multimeter (Betrieb als Ohmmeter)!

Auswertung:

- Berechnen Sie aus den Spannungsmessungen den Leckwiderstand (Isolationswiderstand)! Geben Sie eine Schätzung des Messfehlers an!
- Geben Sie die sich aus den Messungen ergebenden Ersatzschaltungen mit den experimentell bestimmten Kenngrößen an und **berücksichtigen** Sie in den folgenden Untersuchungen ggf. diese von Ihnen ermittelten Werte!

2.2 Schaltvorgänge

a. Ermittlung von Übergangsvorgängen am Kondensator mittels Strom-Spannungs-Messung

Bauen Sie die Schaltung entsprechend Bild 4 auf. Achten Sie darauf, dass der Umschalter zunächst in Stellung 2 steht! Wählen Sie $U_q = 10\text{ V}$ sowie für die R,C-Kombination $R = 100\text{ k}\Omega$ und $C = 1000\text{ }\mu\text{F}$. **Achten Sie auch hier auf korrekte Polung des Elektrolyt-Kondensators!** Benutzen Sie die **digitalen** Multimeter und betreiben Sie diese mit **festen Messbereichen** 50 V und 5 mA! (**Sollte der Kondensator noch eine Restspannung aufweisen, beseitigen Sie diese, indem Sie kurzzeitig einen 100 Ω -Widerstand dem Kondensator parallel schalten!**)

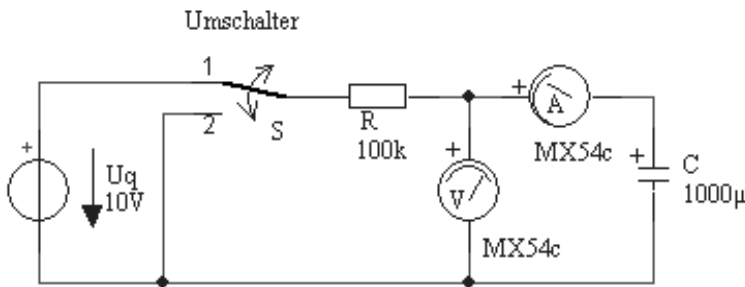


Bild 4 Messschaltung zur Aufnahme der Ausgleichsvorgänge am Kondensator (dargestellt ist der Einschaltmoment!)

Die Messung beginnt mit dem Umschalten von S von Stellung 2 auf 1 (Ladevorgang). Registrieren Sie dazu die zeitliche Änderung von Strom $i_C = f_1(t)$ und Spannung $u_C = f_2(t)$ am Kondensator! Übernehmen Sie die Werte in nachfolgende Tabelle.

Hinweis:

Als problematisch erweist sich die Erfassung der Anfangswerte, insbesondere beim Strom, da die Messgeräte eine gewisse Einstellzeit benötigen. Markieren Sie deshalb in Ihrem Diagramm diesen Wert durch den sich theoretisch aus dem Messaufbau ergebenden Wert oder extrapolieren Sie ihn aus dem restlichen Kurvenverlauf!

Nach Erreichen der Ladeschlussspannung schalten Sie den Umschalter wieder in Stellung 2, um nun noch den Entladevorgang aufzunehmen. Dabei genügt es, nur die Spannung zu registrieren!

Empfehlung: Nutzen Sie die Stoppuhr am Arbeitsplatz. Jeder Praktikant beobachtet ein Instrument, einer außerdem noch die Uhr. Letzterer signalisiert seinem Partner jeweils zu den in der Tabelle angegebenen Zeiten durch ein Klopfzeichen den Moment der Messwerterfassung. Messen Sie auf diese Weise die Größen simultan!

t in s	0	10	20	40	60	80	100	140	180	220	260	300	400	500
u_{auf} in V														
i_{auf} in μA														
u_{ent} in V														

Auswertung:

- Stellen Sie alle drei Messgrößen in einem **gemeinsamen** Diagramm dar (Millimeterpapier, 1/2 A4 oder größer!)
- Ermitteln Sie aus den Kurvenverläufen durch Auswertung der Halbwertszeit den tatsächlichen Wert der Kapazität!
- Markieren Sie an der Aufladestromkurve die Zeitkonstante des Vorgangs (Konstruktion verdeutlichen!)
- Geben Sie außerdem den theoretischen Funktionsverlauf für u_{auf} an. Berücksichtigen Sie dabei die Elemente des Kondensatorsatzschaltbildes und die Messgeräteinnenwiderstände! Begründen Sie Abweichungen und beurteilen Sie die verwendete Messschaltung!
- Warum erübrigt sich eigentlich die Messung von i_{ent} ?

b. Ermittlung transienter Vorgänge an einer Spule mit dem Oszilloskop

Für die Registrierung der Umladevorgänge an einer Spule verwenden Sie nun das Oszilloskop. Das Umschalten der Spannungen erfolgt nun durch den periodischen Polaritätswechsel einer Rechteckwechselfspannung (**Rechteckpuls**), welche Sie dem Signalgenerator entnehmen! Bauen Sie dazu die Messschaltung von Bild 5 auf. R ist ein 1,5 k Ω -Widerstand. Für L wählen Sie die am Versuchsplatz vorhandene Spule mit 1000 Windungen, die Sie zunächst ohne Kern als Luftspule und danach mit **geschlossenem** Eisenkern (**ohne Luftspalt**!) betreiben.

Am Signalgenerator nehmen Sie folgende Einstellungen vor: Rechteckpuls, \hat{u} ca. 5V, $f = 4\text{ kHz}$ **ohne** Kern; 100 Hz **mit** Kern.

Die Messung der Zeitkonstanten erfolgt über die Messung der Anstiegs- bzw. Abfallzeit der Signalfanken. Dazu ist das %-Hilfsraster auf dem Bildschirm zu nutzen!

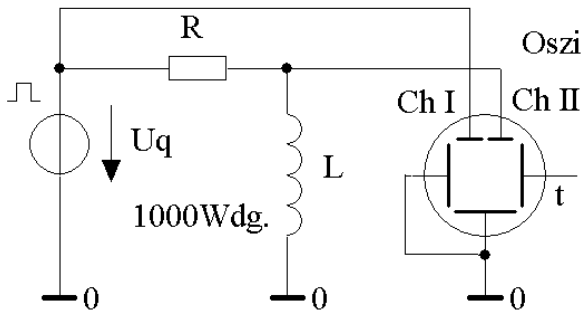


Bild 5 Messschaltung mit Oszi für Transienten an einer Spule; $R = 1,5 \text{ k}\Omega$

Vorgehensweise:

Beginnen Sie mit der Luftspule! Nach Einstellung der entsprechenden Generatorparameter betreiben Sie das Oszilloskop im Zeitablenkbetrieb zunächst mit dem Zeitablenkfaktor $50 \mu\text{s}/\text{DIV}$ und skizzieren qualitativ Ein- und Ausgangsspannung der Schaltung. Danach oszillographieren Sie nur noch die Spannung an der Spule (Ch II)!

Zur Ermittlung der Zeitkonstanten nehmen Sie jetzt eine Messung der Abfallzeit im Signal vor. Das Prinzip zeigt Bild 6.

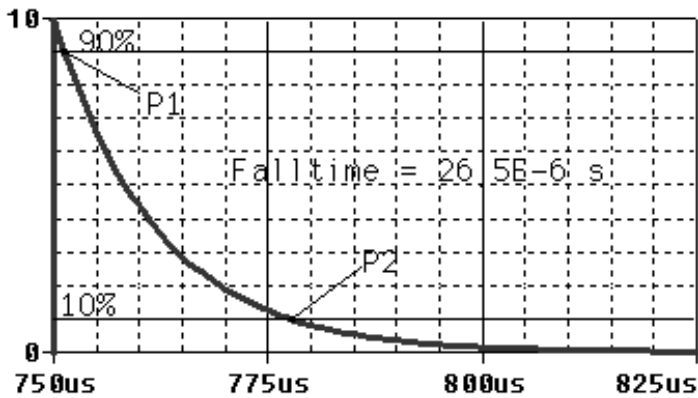


Bild 6 Prinzipdarstellung zur Bestimmung der Abfallzeit t_{ab}

Wählen Sie dazu den **kalibrierten** Zeitablenkfaktor so, dass nur noch **ein** Impuls dargestellt wird. Im nächsten Schritt müssen Sie unter Verwendung des **variabel** einstellbaren y-Ablenkfaktors die Signalmaxima und -minima des Exponentialvorgangs mit den 0 %- und 100 %-Hilfslinien im Bildschirmraster in Übereinstimmung bringen. (Alternativ können Sie auch die Signalamplitude am Generator verändern!) Durch Messung der Zeitspanne (evtl. Cursor beim HAMEG-Oszilloskop nutzen!) zwischen den Schnittpunkten der Signalkurve mit den 10 %- und 90 %-Markierungen bestimmen Sie t_{ab} . Dehnen Sie ggf., nachdem Sie den 100 %- und 0 %-Wert einjustiert haben, die Zeitablenkung so, dass eine maximale Messgenauigkeit garantiert ist!

Wiederholen Sie die Messungen sinngemäß für die Spule mit geschlossenem Eisenkern (ohne Distanzscheibe!), wobei diesmal Widerstand und Spule die Plätze im Messaufbau tauschen sollen! Die Frequenz ist jetzt auf 100 Hz zu verringern! Der Bildschirm muss nun einen Aufladevorgang zeigen, demzufolge ist daran die Anstiegszeit t_{an} zu bestimmen!

Auswertung:

- Ermitteln Sie aus t_{an} bzw. t_{ab} zunächst jeweils die Zeitkonstante in den Schaltungen und bestimmen Sie daraus unter Berücksichtigung **aller** im Messkreis vorhandenen Widerstände die Induktivität der Spule in beiden Fällen!
- Ermitteln Sie aus den erhaltenen Ergebnissen die magnetische Feldkonstante μ_0 sowie die mittlere relative Permeabilität μ_r des Kerns?
- Was genau hat die zuletzt dargestellte Bildschirmkurve mit der Induktivität zu tun? Gemessen wurde doch ein Signal an einem Widerstand?