Sommersemester 2018, Holger Dau

Übungen zur Experimentalphysik II

Serie 5

Abgabe am Montag / Dienstag den 11. / 12. Juni in der Übungsgruppe

---

AUFGABE 1 – Erzeugung von Wechselspannungen im Drehspulgenerator + Elektromotor (4 Pkt)

Auf einen quadratischen Rahmen mit der Seitenlänge a (Fläche $A = a^2$) werden N Windungen eines Kupferdrahts gewickelt. Diese Spule dreht sich mit einer Frequenz f in einem homogenen Feld eines Permanentmagneten (magnetische Kraftflussdichte B). Hierbei ist die Richtung des B-Felds senkrecht zur Drehachse der Spule.

a) Leiten Sie eine Beziehung für den Zeitverlauf der Induktionsspannung $U_{ind}(t)$ her. (2 Pkt)

b) Lässt sich der Drehspulgenerator auch als Elektromotor einsetzen? Begründen Sie die Antwort kurz. (Argumentieren Sie am besten über das magnetische Moment der stromdurchflossenen Spule sowie das daraus resultierenden Drehmoment in Magnetfeld des Permanentmagneten.) (2 Pkt)

AUFGABE 2 – Zeitverlauf des Stromes von idealer und realer Spule (7 Pkt.)

a) Wir blenden erstmal einen Teil der Realität aus und betrachten eine *ideale Spule* mit einer Induktivität von 100 mH, deren ohmscher Widerstand Null ist. Zum Zeitpunkt t=0 fließt kein Strom durch die Spule und es wird nun schlagartig eine konstante Spannung von U = 10 V angelegt.

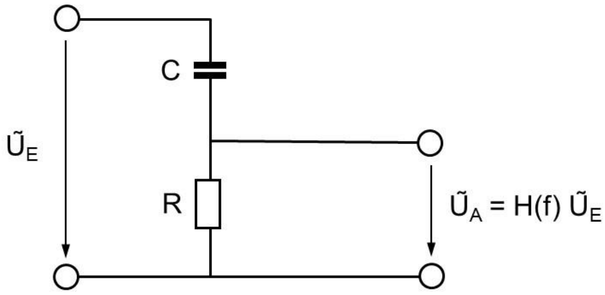
Geben Sie den Zeitverlauf des Spulenstroms als Gleichung an (I(t) = ?). (2 Pkt)

b) Welche Energie steckt in dem magnetischen Feld der obigen idealen Spule nachdem eine Spannung von U = 10 V für 0,1 s angelegt worden ist? Berechnen Sie die Energie durch Integration der elektrischen Leistung $P = U \cdot I(t)$. (2 Pkt)

c) Jetzt berücksichtigen wir einen ohmschen Widerstand des Drahtes der *realen Spule* von **10 Ohm**. Berechnen Sie unter Berücksichtigung des Drahtwiderstands den Zeitverlauf des Stromes! Hierbei kann das Zeitverhalten des Stromes unter der Annahme betrachtet werden, dass eine Serienschaltung des ohmschen Widerstandes (10 Ohm) und einer idealen Spule (100 mH) vorliegt. Die Aufgabe umfasst die Herleitung des Zeitgesetzes für den Spulenstrom, das Einsetzen der Zahlenwerte und eine Skizze des Zeitverlaufs des Stromes. (3 Pkt)

AUFGABE 3 – Bode-Diagramme des Hochpasses (5 Pkt.)

Hintergrund: Hochpässe werden in der Analogelektronik (z.B. Messverstärker oder Audio-verstärker der Konsumelektronik) eingesetzt, um Signale mit höheren Frequenzen ($f > f_g$) von Signalen mit niedrigeren Frequenzen ($f > f_g$) abzutrennen. Die Signale mit höheren Frequenzen können die Schaltung "passieren", daher die Bezeichnung Hochpass. Hierbei ist die Grenzfrequenz, f_g, eine charakteristische Eigenschaft des Hochpasses. Für sinusförmige Eingangssignale der Frequenz f_g ist die Amplitude am Ausgang um den Faktor $1/\sqrt{2} = 0{,}71..$ geringer als die Amplitude am Eingang. (Durch Austauschen von Widerstand und Kondensator in der unten gezeigten Schaltung wird aus dem Hochpass ein Tiefpass).



a) Die komplexe Übertragungsfunktion ($H(f)$) gibt für sinusförmige Eingangsspannungen das Verhältnis zwischen der Ausgangsspannung (U_A) und der Eingangsspannung (U_E) an. Leiten Sie $H(f)$ aus den komplexen Wechselstromwiderständen her und geben sie Frequenzabhängigkeit von Amplitude ($|H(f)| = ..$) und Phase ($\varphi(f) = ..$) an. (2 Pkt.)

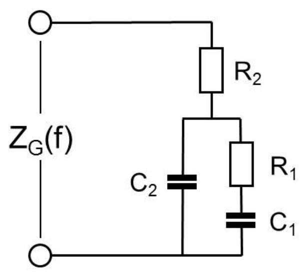
b) Geben Sie einen Ausdruck für die Grenzfrequenz an und zeigen Sie, dass bei f_g der Phasenwinkel 45° beträgt. (1 Pkt)

c) Skizzieren Sie für $R = 1\ \mathrm{k\Omega}$ und $C = 1\ \mu\mathrm{F}$ die *Bode-Diagramme* des *Amplitudengangs* und des *Phasengangs.* Markieren Sie die *Grenzfrequenz* des Hochpasses und stellen Sie sicher, dass bei kleinen Frequenzen die Steigung im Amplitudengang korrekt ist. Die logarithmische Frequenzachse soll den Bereich von 1 Hz bis 1 MHz abdecken. (2 Pkt)

Anmerkungen: In den Bode-Diagrammen wird immer eine logarithmische Frequenzachse (f, nicht ω) als x-Achse gewählt. Im Amplitudengang ist auch die $|H(f)|$ -Achse eine logarithmische Achse; im Phasengang ist jedoch die $\varphi(f)$-Achse linear.

AUFGABE 4 – Parallel- & Serienschaltung von Wechselstromwiderständen
(4 Pkt.)

Hintergrund: Anordnungen von mehren frequenzabhängigen Widerständen spielen in der Analogelektronik, Messtechnik und Regelungstechnik eine Rolle. Sie spielen ferner auch als "Ersatzschaltbild" bei der Modellierung von Daten der Impedanzspektroskopie eine Rolle. Die unten gezeigte Schaltung entspricht einem Ersatzschaltbild für einen elektrodeponierten, amorphen Metalloxidfilm zur Wasseroxidation (für Einsatz in Systemen zur Wasserstoff-gewinnung durch Spaltung von Wasser), wie kurz in der Vorlesung angesprochen. Ähnliche Ersatzschaltbilder werden in der Biophysik auch zur Diskussion des elektrischen Verhaltens biologischer Membranen eingesetzt.



Gesucht ist die Gesamtimpedanz des obigen RC-Netzwerks, welche sich durch Anwendung der Regeln für die Parallel- und Serienschaltung von Wechselstromwiderständen ergibt.

a) Geben Sie $Z_G(f)$ (oder auch $Z_G(\omega)$) als gebrochen rationale Funktion in der folgenden funktionalen Form an: (2 Pkt)

$$Z_G(\omega) = \frac{a\,\omega^2 + b\,\omega + d}{e\,\omega^2 + f\,\omega + g}$$

Anmerkungen: Beachten Sie, dass die sechs Koeffizienten (a – g) im Prinzip komplexe Zahlen sind, die aber rein reell, rein imaginär oder auch gleich Null sein können. Sie können wahlweise die Impedanz in Abhängigkeit von der Frequenz f beschreiben oder in Abhängigkeit von ω (= $2\pi f$), letztere Notation spart etwas Schreibarbeit.

b) Geben Sie die folgenden Grenzwerte von $Z_G(\omega)$ an, und zwar:

- Betrag *und* Phasenwinkel von $Z_G(\omega)$ für $\omega \to \infty$

- Betrag *und* Phasenwinkel von $Z_G(\omega)$ für $\omega \to 0$

Anmerkung: Im Prinzip kann der Aufgabenteil b) auch ganz unabhängig von der Lösung des Aufgabenteil a) bearbeitet werden, durch einfache Überlegungen auf der Basis der Kenntnisse zu den Wechselstromwiderständen. Aber es kann natürlich auch eine Grenzwertbetrachtung auf der Basis des Ausdrucks für $Z_G(\omega)$ aus dem Aufgabenteil a) erfolgen. (2 Pkt)