Aufgabe 1 – Spule, Induktion und Selbstinduktion (50 Punkte)

Sir James Clark Maxwell konnte bereits im 19. Jahrhundert mathematisch vollständig die Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und elektrischen und magnetischen Feldern vollständig erfassen. Er zeigte, dass jeder fließende Strom ein magnetisches Feld verursacht und dass Änderungen eines magnetischen Feldes wiederum Spannungen induzieren.

a. Nenne und erläutere das Induktionsgesetz ausführlich. (9P)

b. Beschreibe und skizziere 3 physikalisch unterschiedliche Verfahren, mittels realer Anwendungen des Induktionsgesetzes Spannungen zu erzeugen. (9P)

c. In einem Demonstrationsexperiment wird eine kleine Spule koaxial in den Innenraum einer großen Spule gebracht (Aufbau und Daten s. Abb. 1). Mittels eines Funktionsgenerators (CASSY) wird der Spulenstrom in der äußeren felderzeugenden Spule, der sog. Primärspule, nun wie in Abb. 2 gezeigt variiert.

   Die Aufgabenteile ii) bis iv) können in <u>ein Diagramm</u> gezeichnet werden (bitte Achszuordnungen kennzeichnen und vorher alle Werte bestimmen!).

   i. Berechne die Induktivität der Primärspule. (6P)

   ii. Zeichne für eine komplette Periodendauer den zeitlichen Verlauf von B(t) (Die Primärspule kann als „lange Spule" angesehen werden). (6P)

   iii. Zeichne für dieselbe komplette Periodendauer wie in der vorigen Aufgabe die in der Sekundärspule (der kleinen, inneren Spule) induzierte Spannung U_{ind}. (6P)

   iv. Zeichne für dieselbe Periodendauer die über der Primärspule messbare Spannung U_L. Falls kein Ergebnis aus i) vorliegt: L=1mH verwenden (6P)

d. Zur Begrenzung von Einschaltströmen werden häufig Spulen als Drosseln eingesetzt. Die Abb. 3 zeigt einen typischen Schaltkreis, in welchem eine Leuchtstoffröhre in kaltem Zustand in den ersten zehntel Sekunden vor zu hohem Strom geschützt werden soll.

   Berechne aus dem gemessenen Verlauf von I(t) in Abb. 4 die Induktivität L der unbekannten, als ideal anzunehmenden Spule und den ohmschen Widerstand R. (8P)

   Tipp: $I(t) = I_0 \cdot (e^{-\frac{R}{L}t}-1)$ mit $I_0 = -\frac{U_G}{R}$ und $I(t\to\infty) = -I_0$

<u>Abb. 1: Aufbau und Größen</u>

<u>Felderzeugende Spule außen</u> („Primärspule"), Luftgefüllt ($\mu_r \approx 1$)

Länge L = 30cm Durchmesser d = 8cm Wicklungszahl n = 200

<u>Innere Spule</u> („Sekundärspule"), Luftgefüllt ($\mu_r \approx 1$)

Länge L = 10cm Durchmesser d = 3cm Wicklungszahl n = 200

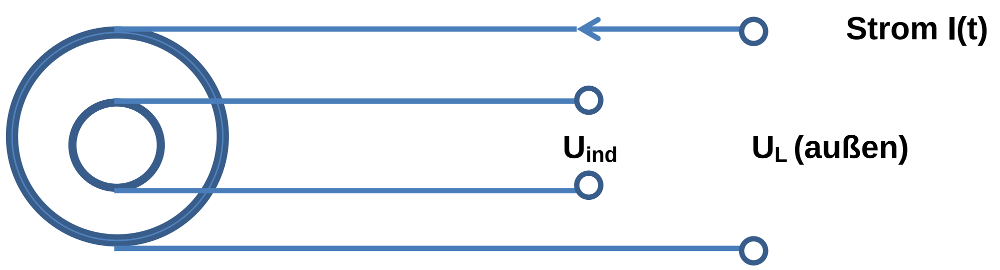


Abb. 2: Felderzeugender Strom in Primärspule I(t)

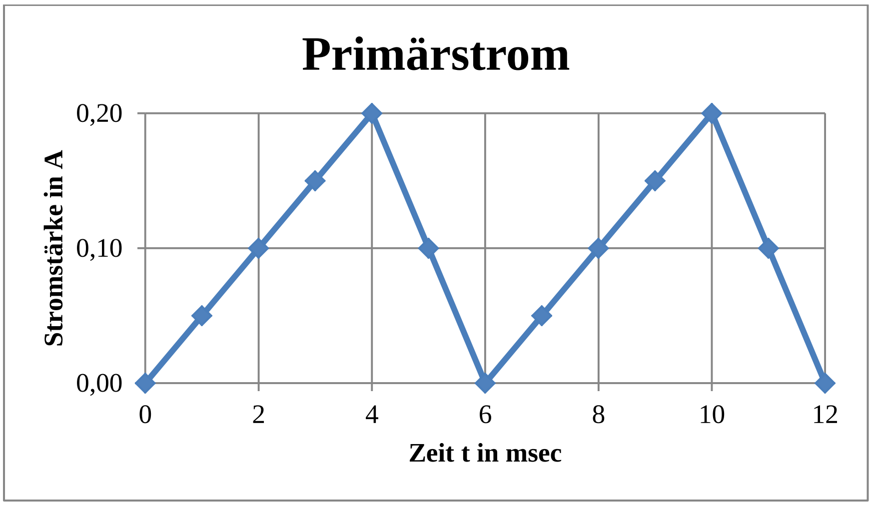


Abb. 3: Schaltplan zur Spule als Drossel

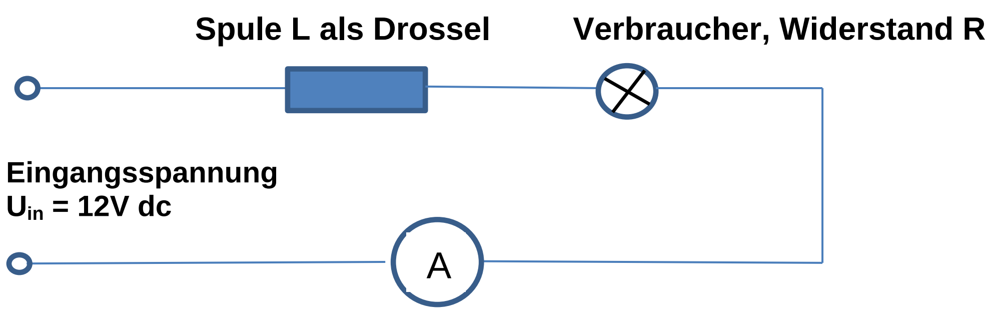
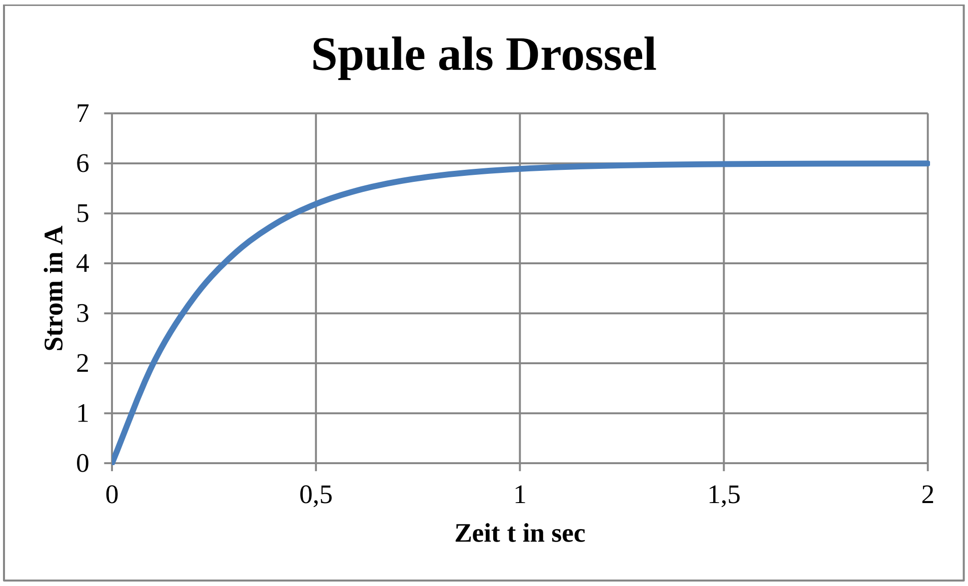


Abb 4: Stromverlauf (Betrag von I) mit einer Spule als Drossel nach Abb. 3



Aufgabe 2: Schwingkreise, Filter und Pässe (50P)

In den folgenden Schaltungen werden Spulen und Kondensatoren zur Erzeugung von elektromagnetischen Schwingungen und für das Sieben oder Filtern von bestimmten Frequenzanteilen aus Wechselspannungssignalen benutzt.

Dabei werden üblicherweise Ersatzschaltbilder benutzt, bei denen ideale (also verlustfreie) Spulen und Kondensatoren betrachtet werden. Die unvermeidlichen „ohmschen“ Anteile werden dann in einem Widerstand zusammengefasst.

a. Betrachte zunächst eine Spule der Induktivität L=40mH, einen Kondensator der Kapazität C=5,0mF und einen ohmschen Widerstand von 4Ω.

   i. Skizziere die Beträge der Wechselstromwiderstände X_L, X_C und X_R=R als Funktion der Frequenz f. (6P)

   ii. Berechne die 3 Schnittpunkte in der Form (f, X(f)). (6P)

   iii. Zeichne den komplexen Gesamtwiderstand („Impedanz“) Z einer Reihenschaltung aus diesen 3 Bauteilen und bestimme daraus GRAPHISCH den Betrag der komplexen Impedanz sowie den Phasenwinkel φ zwischen I und U für eine angelegte Wechselspannung von f=30Hz. (6P)

   iv. Berechne Z (komplex), |Z| und den Phasenwinkel φ für f=30Hz und vergleiche die Werte mit der graphischen Lösung. (6P)

   v. Eine solche Anordnung wie in der vorigen Aufgabe wird als „Siebkette“ bezeichnet. Skizziere den Verlauf von |Z(f)| und beschreibe ihn. Erläutere dabei den Ausdruck „Siebkette“ - ein Sieb soll nur bestimmte Anteile durchlassen! (6P)

b. Ein Schwingkreis besteht aus Spule, Kondensator und leider immer auch aus einem ohmschen Widerstand, welcher für die Dämpfung verantwortlich ist. Betrachte den Aufbau aus Abb. 5 und die damit und CASSY gewonnene Messkurve in Abb. 6. Die Messung wird durch externe Triggerung beim Umlegen des Schalters gestartet.

   i. Beschreibe und erläutere den Aufbau. Begründe, warum der Widerstand R1 die eigentliche Messung nicht stört. (8P)

   ii. Aus Messungen an den Einzelkomponenten wurde R2 zu 10Ω ermittelt. Bestimme nun aus der Abb. 6 die Periodendauer T, die Frequenz ω, die Dämpfungskonstante α und damit dann ω_o und schließlich mit R2 daraus dann L und C. (12P)

Tipp: Eine mathematische Lösung der zugrundeliegenden Differentialgleichung liefert als Lösung für den Stromverlauf einer solchen Schaltung

$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t) \cdot e^{-\alpha t}$ mit $\omega = \sqrt{{\omega_{Thomson}}^2 - \alpha^2}$ und der Dämpfung $\alpha = \frac{R}{2L}$

Abb. 5: Schaltplan zur Messung der gedämpften Schwingung (ohne CASSY gezeichnet)

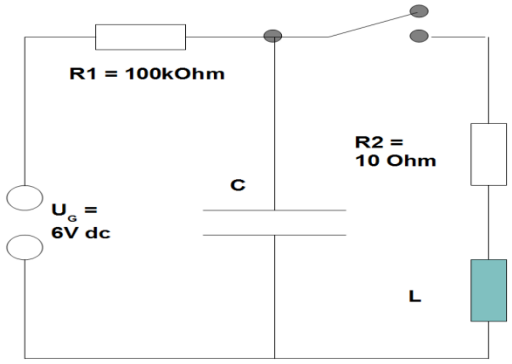


Abb. 6: Verlauf des Stromes im gedämpften Schwingkreis