

Kapitel 2 – Schaltverhalten einer Spule

Skript zum Kurs Elektrizitätslehre 2

Autoren: Aaron Moser, Martin Loeser, Mathis Nussberger

30. Januar 2020

Inhalt

1. Einführung und Motivation	3
1.1. Ausschaltvorgang bei einer stromführenden Spule	3
1.2. Einschaltvorgang bei einer Spule.....	4
A Literaturverzeichnis	5

1. Einführung und Motivation

Moderne Gleichspannungswandler mit hohen Wirkungsgraden und vernünftigen Stromstärken wären ohne Schaltvorgänge an Spulen nicht realisierbar. Man findet jedoch geschaltete Spulen bis weit weg von der Elektronik zum Beispiel bei Zündkerzen. Die Kenntnis über das Verhalten von geschalteten Spulen gehört damit zu einem Kernelement der Elektrizitätslehre.

1.1. Ausschaltvorgang bei einer stromführenden Spule

Um das Ausschaltverhalten bei einer stromführenden Spule zu untersuchen, bauen wir gedanklich die Messschaltung von Abbildung 1.1 auf.

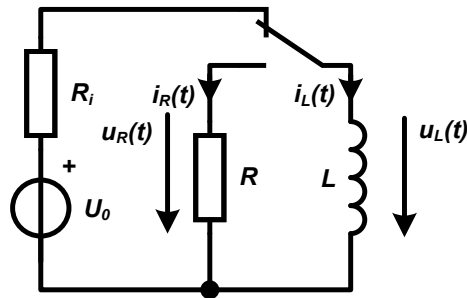


Abbildung 1.1. Schaltung mit Widerstand R , Spule L und einer Spannungsquelle zur Untersuchung des Ausschaltvorgangs bei einer stromführenden Spule. Der Schalter wird zum Zeitpunkt $t = 0$ umgelegt.

Dabei definieren wir, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ der Strom i_0 durch die Spule fließt. Zum gleichen Zeitpunkt $t = 0$ wird der Schalter umgelegt. Wir stellen den Maschensatz auf und schliessen die Kenntnisse über die Elemente ein:

$$\begin{aligned} u_R(t) - u_L(t) &= 0 \\ u_R(t) &= R i_R(t) \quad u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \\ R i_R(t) - L \frac{di_L(t)}{dt} &= 0 \\ \frac{L}{R} \frac{di_L(t)}{dt} - i_R(t) &= 0 \end{aligned}$$

Definieren wir nun $\tau = \frac{L}{R}$, sehen wir, dass eine ähnliche Gleichung wie beim Entladen des Kondensators resultiert:

$$\tau \frac{di_L(t)}{dt} + i_R(t) = 0 \quad i_L(0) = i_0$$

Diese führt zu den entsprechenden Lösungen

$$\begin{aligned} i_L(t) &= i_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad t \geq 0 \\ u_L(t) &= -\frac{i_0}{R} \cdot e^{-t/\tau} = -u_0 \cdot e^{-t/\tau} \end{aligned}$$

Diese Lösungen sind in Abbildung 1.2 im Zeitverlauf dargestellt.

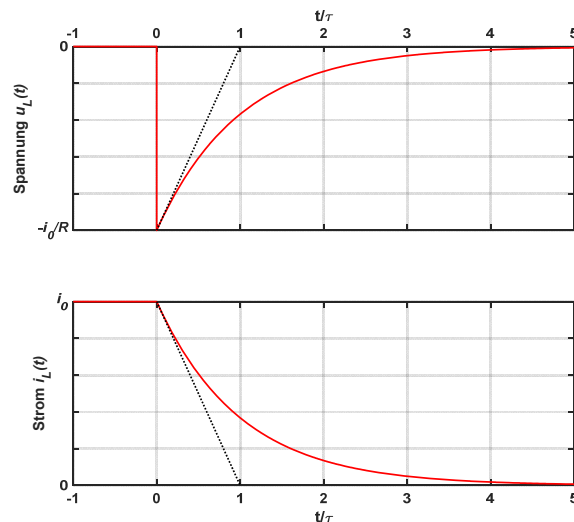


Abbildung 1.2.: Strom- und Spannungsverlauf beim Ausschaltvorgang.

Wie ersichtlich, springt die Spannung zum Zeitpunkt $t = 0$ auf i_0/R . D.h. die Spannungsspitze kann über den Widerstand R beliebig hoch eingestellt werden.

1.2. Einschaltvorgang bei einer Spule

Wir verwenden fast den gleichen Aufbau, wie beim Ausschaltvorgang, ersetzen den Umschalter aber mit einem Einschalter und die Spannungsquelle mit einer Stromquelle, siehe Abbildung 1.3.

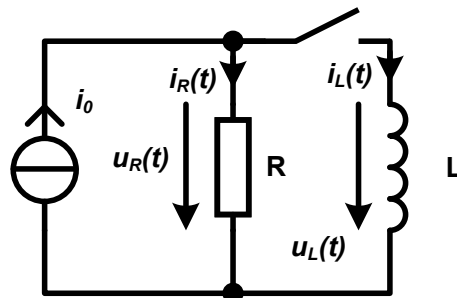


Abbildung 1.3.: Schaltung mit Widerstand R , Spule L und einer Stromquelle zur Untersuchung des Einschaltvorgangs bei einer Spule. Der Schalter wird zum Zeitpunkt $t = 0$ geschlossen. Durch die Spule fließt der Strom $i_L(t)$.

Auch hier kann man wieder mit dem Maschensatz beginnen:

$$u_R(t) = u_L(t)$$

Den Knotensatz dazufügen:

$$i_R(t) + i_L(t) = i_0$$

Die Bauteilgleichungen verwenden:

$$u_R(t) = R i_R(t) \quad u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

Damit ergibt sich:

$$R i_R(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$i_R(t) = \frac{L}{R} \frac{di_L(t)}{dt}$$

und mit dem Knotensatz

$$\tau \frac{di_L(t)}{dt} + i_L(t) = i_0 \quad i_L(0) = 0$$

Diese führt zu den entsprechenden Lösungen

$$i_L(t) = i_0 \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

$$u_R(t) = u_L(t) = u(t) = Ri_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

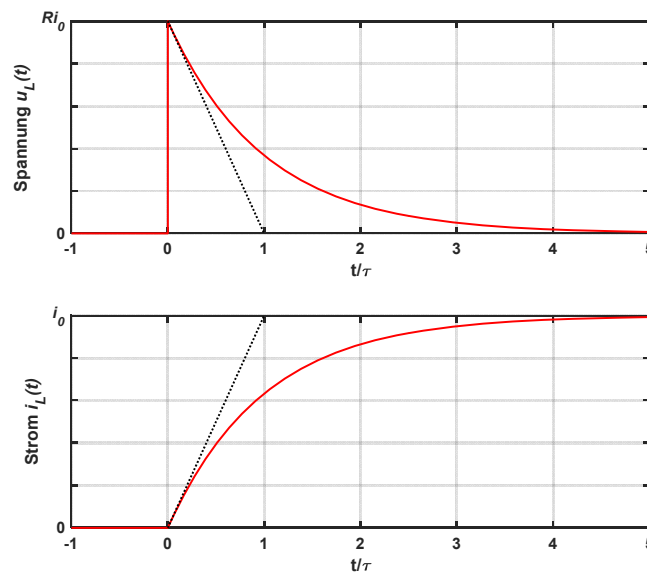


Abbildung 1.4.: Strom- und Spannungsverlauf beim Einschaltvorgang.

Aus der Untersuchung folgt, dass der Strom an einer Spule erst mit Verzögerung einsetzt, d.h. Induktivität eine natürliche Art der Einschaltstrombegrenzung darstellt.

A Literaturverzeichnis

A. Führer, K. Heidemann, W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik, Band 1: Stationäre Vorgänge, Hanser, 8. Auflage, ISBN-13: 978-3-446-40668-1

A. Führer, K. Heidemann, W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik, Band 2: Zeitabhängige Vorgänge, Hanser, 8. Auflage, ISBN-13: 978-3-446-40573-8

A. Führer, K. Heidemann, W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik, Band 3: Aufgaben, Hanser, 2. Auflage, ISBN-13: 978-3-446-41258-3

E. Hering, K. Bressler, J. Gutekunst: Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer, 5. Auflage, ISBN-13: 978-3-540-24309-0