

## **Elektrotechnische Grundlagen für das Verkehringenieurwesen**

### **Übung 4: Magnetische Felder und Superposition**

#### **Aufgabe 4.1:** Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule

Gegeben sei eine Spule mit dem ohmschen Widerstand  $R$  und der Induktivität  $L$ , eine ideale Spannungsquelle mit der Quellenspannung  $U_0$  sowie ein idealer Schalter mit zwei Schaltzuständen. Im Schaltzustand 1 werde die Spule mit der Spannungsquelle in Reihe geschaltet, im Schaltzustand 2 kurzgeschlossen.

- a)** Zeichnen Sie das vollständige Ersatzschaltbild der Schaltung mit beiden Schaltzuständen!
- b)** Stellen Sie für beide Schaltzustände jeweils die Maschengleichung auf!

Zunächst soll der Einschaltvorgang der Spule betrachtet werden. Dazu werde zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  der Schalter vom Schaltzustand 2 in den Schaltzustand 1 umgeschaltet.

- c)** Berechnen Sie die Zeitverläufe des Stroms  $i(t)$ , der über dem Widerstand abfallenden Spannung  $u_R(t)$  sowie die über der Induktivität abfallenden Spannung  $u_L(t)$  nach dem Einschalten der Spule!
- d)** Skizzieren Sie die in Aufgabenteil (c) berechneten Zeitverläufe qualitativ und interpretieren Sie die Zeitverläufe aus physikalischer Sicht!

Nachfolgend soll noch der Ausschaltvorgang der Spule betrachtet werden. Dazu werde zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  der Schalter vom Schaltzustand 1 in den Schaltzustand 2 umgeschaltet.

- e)** Berechnen Sie die Zeitverläufe des Stroms  $i(t)$ , der über dem Widerstand abfallenden Spannung  $u_R(t)$  sowie die über der Induktivität abfallenden Spannung  $u_L(t)$  nach dem Ausschalten der Spule!
- f)** Skizzieren Sie die in Aufgabenteil (e) berechneten Zeitverläufe qualitativ und interpretieren Sie die Zeitverläufe aus physikalischer Sicht!

### Aufgabe 4.2: Induktivität einer Zweidrahtleitung

Gegeben sei die in Abbildung 1 dargestellte, lange ( $l \gg d$ ) Zweidrahtleitung der Länge  $l$ , deren Hin- und Rückleiter parallel im Abstand  $d$  zueinander liegen. Die Zweidrahtleitung werde von dem Strom  $I$  durchflossen und besitze ein Rundprofil mit dem Radius  $r$ .

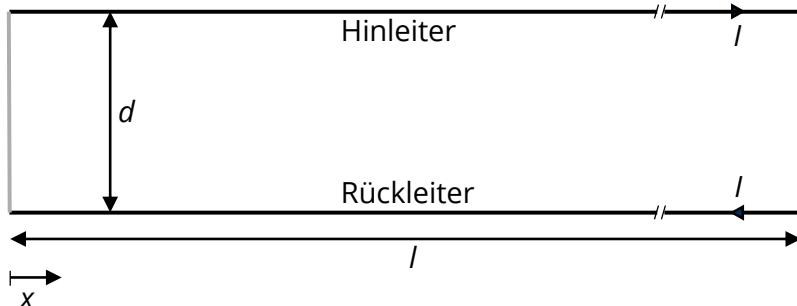


Abbildung 1: Geometrische Anordnung einer langen, geraden Zweidrahtleitung

Es sollen die folgenden Vereinfachungen getroffen werden:

- Der gesamte Raum darf als magnetisch neutral angenommen werden, d. h. es gilt:  
$$\mu = \mu_0 \Leftrightarrow \mu_{\text{rel}} = 1.$$
- Für das magnetische Feld von den Hin- und Rückleitern darf das Feld eines unendlich langen Linienleiters mit dem Strom  $I$  angenommen werden, d. h. nach dem Biot-Savart'schen-Gesetz gilt in diesem Fall, dass der Betrag der magnetischen Flussdichte  $|\vec{B}|$  nur vom radialen Abstand  $r$  zum Linienleiter abhängt:

$$|\vec{B}(r)| = \frac{\mu I}{2\pi r} 1.$$

- Der Einfluss der Querverbindungen auf das magnetische Feld (in Abbildung 1 grau dargestellt) darf vernachlässigt werden.
- Die sogenannte innere Induktivität soll vernachlässigt werden, d. h. es wird für die Berechnung der Induktivität nur der Fluss außerhalb der Leiter berücksichtigt.

Berechnen Sie die Induktivität  $L$  der Zweidrahtleitung!

### Aufgabe 4.3: Superpositionsmethode

In dieser Aufgabe soll mit der Superpositions methode (auch: Überlagerungsverfahren) noch ein wichtiges Hilfsmittel bei der Analyse linearer elektrischer Netzwerke mit unabhängigen Quellen eingeführt werden. Wie in allen linearen Systemen dürfen auch hier die „Wirkungen“ (Ströme, Spannungsfälle) einzelner Quellen/„Ursachen“ (Quellenströme, Quellenspannungen) getrennt berechnet und überlagert werden – wie beispielsweise analog in der Technischen Mechanik.

Die praktische Vorgehensweise ist wie folgt:

1. Betrachtung von je einem Teilnetzwerk pro Quelle des Netzwerkes (Hinweis: Durch Zusammenfassen von Quellen kann ggf. die Anzahl der zu betrachtenden Teilnetzwerke reduziert werden.)

2. Umformung der Teilnetzwerke: Je eine Quelle bleibt unverändert vorhanden. Alle übrigen idealen Spannungsquellen werden durch Kurzschlüsse ( $\rightarrow$  Verbindungen) ersetzt und alle übrigen idealen Stromquellen durch offene Klemmen ( $\rightarrow$  keine Verbindungen). Reihenwiderstände bei realen Spannungsquellen und Parallelwiderstände bei realen Stromquellen bleiben unverändert.
3. Berechnung der gesuchten Ströme und Spannungen für alle Teilnetzwerke
4. Überlagerung der gesuchten Ströme und Spannungen zur Lösung

Bestimmen Sie den Strom  $I_2$  in dem durch Abbildung 2 gegebenen resistiven linearen Netzwerk mithilfe der Superpositionsmethode!

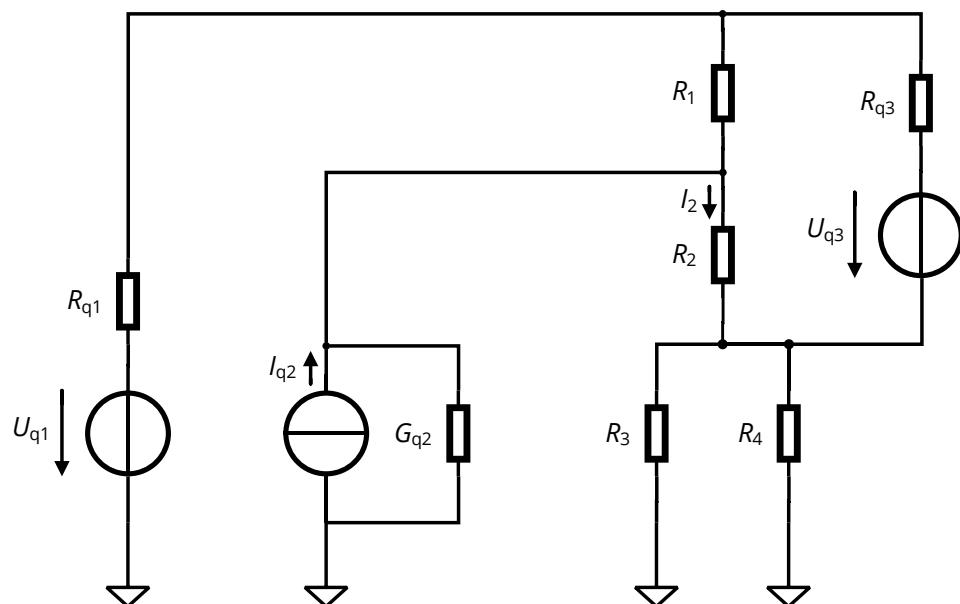


Abbildung 2: Netzwerk zu Aufgabe 4.3