

0.1 6. Hausaufgabe

0.1.1 Zusammenfassung möglicher Techniken zur Netzwerkanalyse

Um elektrische Schaltungen effizient analysieren zu können, ist es hilfreich, einige Regeln zu kennen.

Nach der OHMschen Regel kann man den Widerstand R eines Elements durch Berechnung des Quotienten aus Spannung U und Stromstärke I angeben, also $R = \frac{U}{I}$. Durch geeignete Umformung kann man sich oftmals das Nutzen anderer Regeln sparen.

Es gibt unterschiedliche Regeln für Reihen- und Parallelschaltungen. In Reihenschaltungen bleibt die Stromstärke I für jeden Widerstand der Reihenschaltung konstant. (Dies leuchtet auch ein – wohin sollten die fließenden Teilchen denn „abhauen“?) Die Spannung, die an den Teilwiderständen anlegt, verhält sich wie die zugehörigen Widerstände, also gilt z.B. in einer Reihenschaltung bestehend aus zwei Elementen $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$. Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung, also der Widerstand, den man anstatt den Teilwiderständen nehmen könnte, errechnet sich einfach durch Addition der Teilwiderstände.

Bei Parallelschaltungen dagegen bleibt die Stromstärke I in den einzelnen Zweigen nicht konstant; Stattdessen verhalten sich die Teilstromstärken umgekehrt wie die zugehörigen Widerstände, also gilt z.B. $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$. (Auch dies leuchtet ein: Der Strom teilt sich beim Verzweigungspunkt auf.) Die Spannung, die an den Zweigen jeweils anliegt, ist konstant und entspricht der Spannung, die insgesamt an der Parallelschaltung anliegt. Die Berechnung des Gesamtwiderstandes einer Parallelschaltung erfordert mehrfache Kehrwertbildung: Der Kehrwert des Gesamtwiderstandes errechnet sich durch Addition aller Kehrwerte der Teilwiderstände, also $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$.

Unabhängig, ob Betrachtungsobjekt eine Reihen- oder eine Parallelschaltung ist, gilt die Knotenregel: Die Summe aller Eingangs- und Ausgangsströme einer Schaltung ergibt 0, unter der Voraussetzung, dass man entweder die Eingangs- oder die Ausgangsströme negiert, also ihr Vorzeichen umkehrt. Anders formuliert

besagt die Knotenregel, dass die Summe aller Eingangsströme der Summe aller Ausgangsströme entspricht.

Die Maschenregel besagt, dass die Summe aller Teilspannungen einer Schaltung, wenn man alle Teilwiderstände in einem selbst gewählten Drehsinn abläuft, 0 ergibt. Wichtig ist nicht, ob man alle Verbraucher im oder gegen den Uhrzeigersinn „abklappert“, entscheidend ist, dass man bei seiner Wahl bleibt. (Das erklärt auch die negativen Spannungen, die sich ergeben können.)

Zu extremen Widerständen: Lässt man einen Widerstand gegen unendlich Ω gehen, kann kein elektrischer Strom mehr durch ihn fließen – ein Durchschneiden der Kabel hätte die gleichen Auswirkungen.

Geht ein Widerstand gegen 0Ω , so fließt in Parallelschaltungen sehr viel Strom durch den Widerstand, andere Verbraucher erhalten fast keinen Strom mehr, sie werden überbrückt. Dies kommt einem Herausnehmen des Widerstandes bei Beibehaltung der Kabelverbindung gleich.

0.1.2 Beschreibung des Millikan-Versuchs in eigenen Worten (siehe auch Metzler S. 210)

Sprüht man, unter Einfluss der Gravitation (Ortsfaktor \vec{g}), elektrisch geladene Öltröpfchen der Masse m in ein vertikal gerichtetes elektrisches Feld ($\vec{\mathcal{E}}$), praktischerweise erzeugt durch einen Kondensator, ein, so folgen die Tropfen den Auswirkungen zweier Kräfte: Zum einen zieht die Gewichtskraft die Teilchen mit $\vec{F}_G = m\vec{g}$ nach unten, zum anderen wirkt die elektrische Kraft $\vec{F}_{el} = Q\vec{\mathcal{E}}$.

Nun könnte man durch geeignete Manipulation der Kondensatorspannung $\vec{\mathcal{E}}$ so ändern, dass die elektrische und die Gravitationskraft gleich groß sind, die Tropfen also schweben. In diesem Fall gilt dann $\vec{F}_G = \vec{F}_{el} = m\vec{g} = Q\vec{\mathcal{E}}$, und man könnte durch Auflösen nach Q die Kondensatorladung bestimmen. Allerdings ist diese Herangehensweise unpraktisch, da die Bestimmung der Tröpfchenmasse m nur schwer durchführbar ist.

Stattdessen kann man aber, erneut durch Änderung der Kondensatorspannung, erreichen, dass sich Öltröpfchen gleichförmig bewegen, also nicht mehr beschleunigt werden und damit über eine konstante Geschwindigkeit verfügen. Die notwendige Einbezie-

hung der Luftreibung wird durch das STOKESsche Gesetz möglich gemacht. Damit erhält man zwei Geschwindigkeiten, v_1 und v_2 , mit der sich gleichförmig nach unten oder oben bewegende Teilchen bewegen. Die einzigen fehlenden Größen, $\vec{\mathcal{E}}$ und m , kann man durch Substitution mit $\vec{\mathcal{E}} = \frac{U}{d}$, wobei d den Abstand der Kondensatorplatten angibt, und durch Verwendung der Dichte ρ der Tropfen, $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$, eliminieren. Ergebnis ist das eine Formel für die Kondensatorladung Q , die nur von der Kondensatorspannung und v_1 und v_2 abhängt.

Variiert man nun diese Parameter stellt man fest, dass die Ladung Q immer als ganzzahliges Vielfaches einer Konstanten auftritt. Diese Konstante ist die kleinste in der Natur vorkommene mögliche elektrische Ladung, die Elementarladung e , mit $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Ein Ion oder ein Elektron trägt diese Elementarladung, man keine Teilchen mit einer Ladung kleiner als e finden. Können Größen nur als ganzzahlige Vielfache einer Konstanten auftreten, spricht man von Quantelung – elektrische Ladung ist eine gequantelte Größe.

(Benötigte Zeit: 59 min)