

V302

Elektrische Brückenschaltungen

Nicolai Weitkemper

Katharina Popp

Durchführung: 03.11.2020

Abgabe: 23.11.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Grundprinzip der elektrischen Brückenschaltungen	3
2.2	Bestimmung der unbekannten Größen	4
2.2.1	Messung von ohmschen Widerständen	4
2.2.2	Komplexe Widerstände	4
2.2.3	Messung von Kapazitäten	4
2.2.4	Messung von Induktivitäten	4
2.2.5	Maxwell-Brücke	5
2.3	Frequenzabhängige Brückenschaltungen	5
2.3.1	Die Wien-Robinson-Brücke	5
2.3.2	Die TT-Brücke	6
3	Durchführung	6
3.1	Wheatstone'sche Brückenschaltung	6
3.2	Kapazitätsmessbrücke	6
3.3	Induktivitätsmessbrücke	6
3.4	Maxwell-Brücke	6
3.5	Wien-Robinson-Brücke	6

1 Zielsetzung

Bei diesem Versuch sollen mithilfe von Brückenschaltungen unbekannte Widerstände, sowie Induktivitäten und Kapazitäten gemessen werden. Außerdem wird mithilfe einer Wien-Robinson-Brücke die Frequenz der Brückenspannung ermittelt werden.

2 Theorie

2.1 Grundprinzip der elektrischen Brückenschaltungen

Elektrische Brückenschaltungen werden dazu verwendet unbekannte Größen, wie zum Beispiel Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten zu bestimmen. Dazu wird die Potentialdifferenz U_{Br} zwischen zwei Punkten an der Schaltung gemessen. Mithilfe der Kirchhoff'schen Regeln lässt sich diese Brückenspannung U_{Br} berechnen.

1. Die Knotenregel besagt, dass alle Ströme, die in einen Knoten hineinfließen, in der Summe gleich Null sein müssen.

$$\sum_k I_k = 0 \quad (1)$$

2. Die Maschenregel besagt, dass in einer Masche alle vorhandenen Spannungen in der Summe gleich Null sein müssen.

$$\sum_k U_k = 0 \quad (2)$$

Daraus folgt für die Brückenspannung:

$$U_{\text{Br}} = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_4}{(R_3 + R_4)(R_1 + R_2)} U_{\text{S}} \quad (3)$$

Hierbei ist U_{S} die Speisespannung des Stromkreises. Für das Verhältnis

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (4)$$

verschwindet die Brückenspannung und man spricht von einer abgeglichenen Brücke. In den Brückenschaltungen sind Bauelemente enthalten, die als Abgleichelemente dienen. Dies sind Potentiometer, mit denen sich die ohmschen Widerstände in den Schaltungen variieren lassen, um die Brückenspannung auf Null zu regeln. Da die Speisespannung proportional zur Brückenspannung ist, sollte die Speisespannung möglichst hoch eingestellt werden, damit eine höhere Abgleichempfindlichkeit erzielt wird. Ziel ist es also, um eine unbekannte Größe zu bestimmen, die gegebenen Bauteile so einzustellen, dass die Brückenspannung gleich Null wird. Dann kann man aus den Beziehungen der Größen das unbekannte Bauteil berechnen.

2.2 Bestimmung der unbekannten Größen

2.2.1 Messung von ohmschen Widerständen

Um unbekannte Widerstände zu bestimmen, wird die Wheatstone'sche Brückenschaltung verwendet. Diese besteht nur aus ohmschen Widerständen und kann mit Gleich- und Wechselstrom betrieben werden. Der unbekannte Widerstand kann mithilfe der Gleichung (4) berechnet werden. Es gilt

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}. \quad (5)$$

Die schon bekannten Widerstände R_2 , R_3 und R_4 können durch einen Potentiometer so eingestellt werden, dass die Brückenspannung U_{Br} gleich Null wird. Mit den so eingestellten Widerständen kann das unbekannte Bauteil berechnet werden.

2.2.2 Komplexe Widerstände

Bei der Verwendung von Kondensatoren mit einer Kapazität C und Spulen mit einer Induktivität L werden bei der Berechnung komplexe Widerstände verwendet. Als Speisespannung wird eine Wechselspannung eingesetzt. Komplexe Widerstände setzen sich aus einem Wirkwiderstand X und einem Blindwiderstand Y zusammen. Die allgemeine Darstellung lautet

$$\mathbf{R} = X + jY \quad (6)$$

Für ohmsche Widerstände R , Kapazitäten C und Induktivitäten L werden durch

$$\mathbf{R}_R = R, \mathbf{R}_C = -\frac{j}{\omega C}, \quad \mathbf{R}_L = j\omega L \quad (7)$$

dargestellt.

2.2.3 Messung von Kapazitäten

Da bei einem realen Kondensator immer ein Teil der elektrischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird und so verloren geht, wird mit dem Kondensator ein ohmscher Widerstand in Reihe geschaltet. Dieser ohmsche Widerstand wird mit Gleichung (5) berechnet. Für die Kapazität des Kondensators gilt

$$C_x = C_2 \frac{R_4}{R_3}. \quad (8)$$

Die Kapazität C_2 ist hierbei schon bekannt und ist mit einem Potentiometer, welches den bekannten Widerstand R_2 regelt, in Reihe geschaltet.

2.2.4 Messung von Induktivitäten

Auch bei einer realen Induktivität wird ein Teil der enthaltenen magnetischen Feldenergie in Wärmeenergie umgewandelt und geht verloren. Aus diesem Grund wird auch hier ein ohmscher Widerstand mit der Induktivität, zum Beispiel einer Spule, in Reihe

geschaltet. Der ohmsche Widerstand kann wieder mit Gleichung (5) bestimmt werden. Die Induktivität wird durch

$$L_x = L_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (9)$$

Die Induktivität L_2 ist hier ebenfalls schon bekannt, und mit dem Potentiometer für R_2 in Reihe geschaltet.

2.2.5 Maxwell-Brücke

Eine weitere Möglichkeit, um Induktivitäten zu bestimmen, ist die Maxwell'sche Brückenschaltung. Die Elemente zum Abgleichen der Brücke sind hier R_2 , R_3 , R_4 und C_4 , wobei R_3 und R_4 durch ein Potentiometer geregelt werden. Die Kapazität C_4 ersetzt die Induktivität L_2 , da dies einfacher zu realisieren ist. Der Widerstand, der mit der Induktivität in Reihe geschaltet ist, lässt sich durch Gleichung (5) bestimmen, die Induktivität wird mit

$$L_x = R_2 R_3 C_4 \quad (10)$$

berechnet.

2.3 Frequenzabhängige Brückenschaltungen

Alle komplexen Widerstände sind von einer Frequenz ω der Speisespannung U_S abhängig. Ist diese Frequenz zu hoch eingestellt, wird der Anteil der Streukapazitäten, die in den Bauteilen entstehen, zu groß, und ein Abgleichen ist nicht mehr möglich. Wenn die Frequenz zu niedrig ist, kommt es zu Problemen bei der technischen Handhabung, da nun einige Periodendauern für Einschwingvorgänge benötigt werden, bis sich eine stabile Brückenspannung U_{Br} eingestellt hat. Die Frequenzen sind optimal, wenn sich die Blind- und Wirkwiderstände einer Schaltung in einer Größenordnung befinden.

2.3.1 Die Wien-Robinson-Brücke

In der Schaltung der Wien-Robinson-Brücke sind keine Abgleichelemente enthalten. Die Brückenspannung U_{Br} soll in Abhängigkeit der Frequenz ω bestimmt werden. Es gilt:

$$\left| \frac{U_{Br}}{U_S} \right| = \frac{1}{9} \frac{(\Omega^2 - 1)^2}{(1 - \Omega^2)^2 + 9\Omega^2}, \quad (11)$$

wobei

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (12)$$

ist, mit

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}. \quad (13)$$

Die Wien-Robinson-Brücke filtert aus dem kontinuierlichen Frequenzspektrum die Frequenz ω_0 heraus und schwächt die Frequenzen in der Nähe von ω_0 . Mit dieser Eigenschaft soll der Klirrfaktor gemessen werden, welcher dazu dient die Qualität des Sinusgenerators

zu prüfen. Wenn der Klirrfaktor hinreichend klein ist, ist auch der Anteil der Oberwellen, welche bei einem realen Sinusgenerator entstehen, gering. Der Generator wird auf die Frequenz ω_0 geregelt und übrig bleiben nur die von ω_0 verschiedenen Frequenzen.

2.3.2 Die TT-Brücke

Die TT-Brücke dient wie die Wien-Robinson-Brücke als elektronischer Filter. Der Unterschied liegt darin, dass die Spannungen U_S und U_{Br} gegen Masse angeschlossen werden können. Für das Spannungsverhältnis ergibt sich mit den Bezeichnungen aus den Gleichungen (12) und (13):

$$\left| \frac{U_{Br}}{U_S} \right| = \frac{(\Omega^2 - 1)^2}{(1 - \Omega^2)^2 + 16\Omega^2}. \quad (14)$$

3 Durchführung

Im Folgenden soll die Durchführung der Messungen von verschiedenen Größen mithilfe der oben beschriebenen Brückenschaltungen beschrieben werden. Dabei werden zu jeder Schaltung mehrere Messungen unter Variation der Bauteile R_2 , C_2 und L_2 aufgenommen. Zu Beginn des Experiments sind eine Speisespannung U_S , ein digitales Oszilloskop, welches die Brückenspannung U_{Br} anzeigt, und verschieden ohmsche Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten, sowie zwei Potentiometer gegeben.

3.1 Wheatstone'sche Brückenschaltung

Zunächst wird die Wheatstone'sche Brückenschaltung anhand der Abbildung in Kapitel ?? gebaut. Es wird eine konstante Speisespannung von $U_S =$ eingestellt, sowie eine Frequenz von $f = 1000\text{Hz}$. Die Brücke wird mit Wechselstrom betrieben. Anschließend wird mithilfe des Potentiometers, welcher einen Gesamtwiderstand von $1k\Omega$ besitzt, die Brückenschaltung abgeglichen, indem die Widerstände R_3 und R_4 variiert werden und U_{Br} auf Null geregelt wird. Nachdem die Messwerte für R_2 , R_3 und R_4 abgelesen wurden, wird mithilfe von Gleichung (5) der unbekannte Widerstand R_x berechnet. Die Messung wird wiederholt unter der Variation von R_2 .

3.2 Kapazitätsmessbrücke

3.3 Induktivitätsmessbrücke

3.4 Maxwell-Brücke

3.5 Wien-Robinson-Brücke

4 Auswertung