V302

Brückenschaltungen

Philip Jaletzky
philip.jaletzky@udo.edu

Matthias Maile
matthias.maile@udo.edu

Durchführung: 01.12.2020

Abgabe: 15.12.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie **3**
1.1 Kirchoffschen Gesetze . . . 3
1.2 Berechnung der Brückenspannung und Herleitung der Abgleichbedingung 4
1.3 Verallgemeinerung auf komplexe Widerstände . . . 5
1.4 Verwendete Widerstände . . . 5
1.5 Beschreibung der verwendeten Brückenschaltungen . . . 6
1.5.1 Wheatstonesche Brücke . . . 6
1.5.2 Kapazitätsmessbrücke . . . 6
1.5.3 Induktivitätsmessbrücke . . . 7
1.5.4 Maxwell-Brücke . . . 8
1.5.5 Wien-Robinson-Brücke . . . 9
1.6 Bestimmung des Klirrfaktors . . . 10

2 Durchführung **10**
2.1 Wheatstonesche Brücke . . . 11
2.2 Kapazitätsmessbrücke . . . 11
2.3 Induktivitätsmessbrücke . . . 11
2.4 Maxwell-Brücke . . . 11
2.5 Wien-Robinson-Brücke und Klirrfaktor . . . 11

3 Auswertung **12**
3.1 Wheatstone-Brücke . . . 12
3.2 Kapazitätsmessbrücke . . . 12
3.3 Induktivitätsmessbrücke . . . 13
3.4 Maxwell-Brücke . . . 14
3.5 Wien-Robinson-Brücke . . . 14
3.6 Klirrfaktor . . . 15

4 Diskussion **16**

Literatur **17**

1 Theorie

In diesem Versuch werden verschieden elektrische Bauteile in Brückenschaltungen eingesetz, um deren (komplexen) Widerstände zu bestimmen.

Dabei wird hier mit der Nullmethode gearbeitet, d.h. dass durch variable Bauteile die Brückenspannung zum Verschwinden gebracht wird.

Zuletzt soll noch der Klirrfaktor des benutzten Funktionenerzeugers bestimmt werden.

1.1 Kirchoffschen Gesetze

Zur Berechnung vom Stromfluss in Schaltungen werden zwei Gesetze, die Kirchhoff'schen Gesetze, verwendet:

1. Die **Knotenregel** besagt, dass an jedem Punkt in einem Stromkreis die Summe aller Ströme (wobei Eingangsströme mit $\mathbf{I} > 0$ und Ausgangsströme mit $\mathbf{I} < 0$ betrachtet werden) verschwindet:

$$\sum_k \mathbf{I}_k = 0. \tag{1}$$

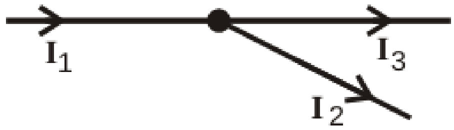

Abbildung 1: Darstellung eines "Knotens" in einem Stromkreis [1]

2. Nach der **Maschenregel** ist die Summe der Potentialdifferenzen in einem geschlossenen Stromkreis ("Masche") 0:

$$\sum_k U_k = \sum_k \mathbf{I}_k R_k = 0 \tag{2}$$

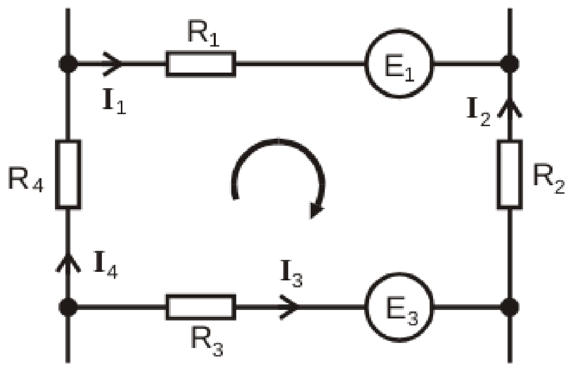

Abbildung 2: Darstellung einer Masche in einem Leiternetzwerk [1]

1.2 Berechnung der Brückenspannung und Herleitung der Abgleichbedingung

In einer Brückenschaltung wird in zwei parallelen (jedoch in ihren Bauteilen nicht unbedingt gleichen) Stromleitern zwischen zwei Punkten (in Abbildung 3 als A und B bezeichnet) die Potentialdifferenz betrachtet. Diese Potentialdifferenz wird im Allgemeinen als Brückenspannung bezeichnet.

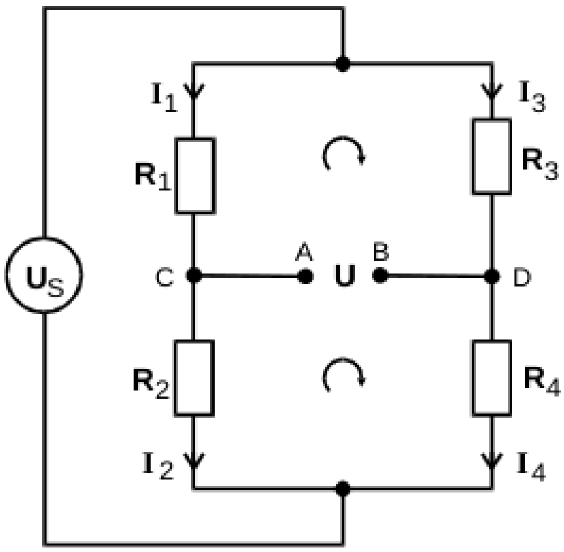

Abbildung 3: Prinzipielle Brückenschaltung [1]

Mit dem ersten Kirchhoff'schen Gesetz lassen sich dann für $U = 0$ die Bedingungen für die parallelen Ströme herleiten:

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_2 \quad \text{und} \quad \mathbf{I}_3 = \mathbf{I}_4. \tag{3}$$

Das zweite Kirchhoffsche Gesetz gibt Auskunft über die Spannungen:

$$U = -R_1\mathbf{I}_1 + R_3\mathbf{I}_3 \text{ und } -U = -R_2\mathbf{I}_2 + R_4\mathbf{I}_4. \tag{4}$$

In Gleichung 4 können dank Gleichung 3 $\mathbf{I}_2$ und $\mathbf{I}_4$ durch $\mathbf{I}_1$ bzw. $\mathbf{I}_3$ ersetzt werden. Gleichsetzen beider Ausdrücke liefert dann

$$U = \frac{R_2R_3 - R_1R_4}{R_3 + R_4}\mathbf{I}_1. \tag{5}$$

Mit der Speisespannung

$$U_S = \mathbf{I}_1(R_1 + R_2) \tag{6}$$

lautet die Brückenspannung

$$U = \frac{R_2R_3 - R_1R_4}{(R_3 + R_4)(R_1 + R_2)}U_S. \tag{7}$$

Die Brückenspannung verschwindet wenn der Zähler im Bruch 0 ist, also wenn

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \tag{8}$$

ist.

Im Falle $U = 0$ spricht man auch von einer abgeglichenen Brücke. Da die Abgleichbedingung nur von den Widerständen abhängt, kann damit ein unbekannter Widerstand bestimmt werden. Die Genauigkeit von einer Messung hängt dann nur noch von der Genauigkeit der bekannten Widerstände und davon, wie niedrig die Brückenspannung in ihrem Minimum ist (da $U = 0$ praktisch nicht erreicht wird) Da die Brückenspannung proportional zur Speisespannung ist, sollte Letztere möglichst groß gewählt werden.

1.3 Verallgemeinerung auf komplexe Widerstände

Wenn die Brückenschaltung nicht nur Widerstände, sondern auch Kapazitäten und Induktivitäten enthält, muss der Formalismus aus Unterabschnitt 1.2 auf diese verallgemeinert werden. Dazu bietet sich die Darstellung als komplexer Widerstand

$$Z = X + jY \tag{9}$$

an, wobei X den Wirkwiderstand und Y den Blindwiderstand darstellt.

Die Abgleichbedingung aus Gleichung 8 muss dann als komplexe Gleichung interpretiert werden, d.h. dass Imaginär- und Realteil auf beiden Seiten gleich sein müssen. Da aus der Darstellung als komplexer Widerstand zwei Unbekannte (X und Y) resultieren, folgen damit auch zwei Gleichungen:

$$X_1 X_4 - Y_1 Y_4 = X_2 X_3 - Y_2 Y_3 \quad \text{und} \quad X_1 Y_4 - X_4 Y_1 = X_2 Y_3 - X_3 Y_2. \tag{10}$$

Elektrotechnisch bedeutet dies, dass sowohl Betrag, als auch Phase des Wechselstroms verschwinden müssen. Aus den zwei Freiheitsgraden folgt auch, dass an der Brückenschaltung zwei voneinander unabhängige Stellglieder existieren müssen.

1.4 Verwendete Widerstände

In diesem Versuch werden ausschließlich Ohm'sche Widerstände benutzt. Von Interesse sind dabei die Intuktivität (L), die Kapazitäten (C) und die gewöhnlichen, nicht-komplexen Widerstände (R).

Die Impedanzen im komplexen sind dabei

$$Z_\mathrm{R} = R, \tag{11}$$

$$Z_\mathrm{L} = j\omega L, \tag{12}$$

$$Z_\mathrm{C} = -\frac{j}{\omega} L. \tag{13}$$

Dabei sollte beachtet werden, dass diese auch von der Kreisfrequenz des Wechselstroms ω abhängig sein können.

1.5 Beschreibung der verwendeten Brückenschaltungen

Im Nachfolgenden Abschnitt wird auf einige spezielle Brückenschaltungen eingegangen und mithilfe von Gleichung 8 und Gleichung 10 eine Formel für das unbekannte Bauteil hergeleitet.

1.5.1 Wheatstonesche Brücke

In der Wheatstoneschen Brücke sind alle R_i ohmsche Widerstände, wobei hier R_1 ein unbekannter Widerstand ist, die Anderen sind bekannt.

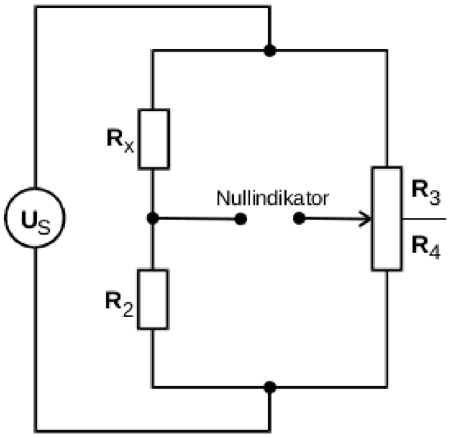

Abbildung 4: Schaltplan der Wheatstoneschen Brückenschaltung [1]

Mit Gleichung 8 lautet dann der unbekannte Widerstand

$$R_\mathrm{x} = R_2 \frac{R_3}{R_4}. \tag{14}$$

1.5.2 Kapazitätsmessbrücke

Wie der Name andeutet, können mit dieser Brückenschaltung die Kennzahlen eines Kondensators bestimmt werden. Ein realer Kondensator besitzt allerdings nicht nur den komplexen Anteil wie in Gleichung 13, sondern hat auch dielekterische Verluste.

Daher benutzt man ein Ersatzschaltbild mit einem Widerstand R.

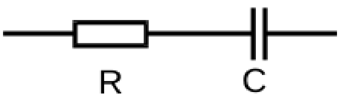

Abbildung 5: Ersatzschaltbild eines realen Kondensators. [1]

Der reale Widerstand lautet somit

$$Z_{C_\mathrm{real}} = R - \frac{j}{\omega C}. \tag{15}$$

Da jetzt für den unbekannten Kondensator $R_{C_{\text{real}}}$ zwei unbekannte vorliegen (R und C), muss auch ein weiterer Freiheitsgrad zur Abstimmvorrichtung hinzugefügt werden.

In diesem Versuchsaufbau (siehe Abbildung 6) wird dieser durch einen Veränderlichen R_2 realisiert.

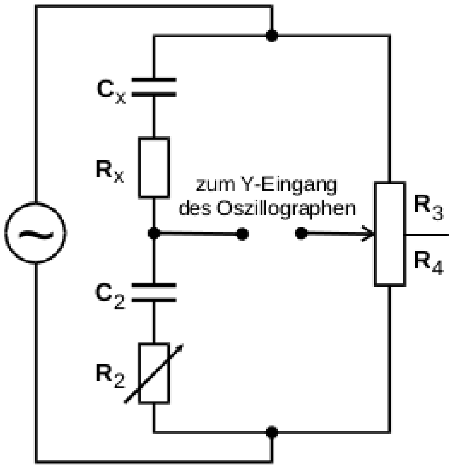

Abbildung 6: Schaltplan zur Kapazitätsmessbrücke [1]

Die Abgleichbedingung liefert dann

$$R_\text{x} = R_2 \frac{R_3}{R_4} \qquad C_\text{x} = C_2 \frac{R_4}{R_3}. \tag{16}$$

1.5.3 Induktivitätsmessbrücke

Wie eben schon für Kondensatoren, müssen hier auch für Spulen einige Vorüberlegungen getroffen werden. Diese sind auch verlustbehaftet, weswegen auch hier ein Ersatzschaltbild mit einem Widerstand zum Einsatz kommt. Die Impedanz lautet dann

$$Z_{L_\text{real}} = R + j\omega L. \tag{17}$$

Der Aufbau der Induktivitätsmessbrücke erfolgt analog zu der Kapazitätsmessbrücke.

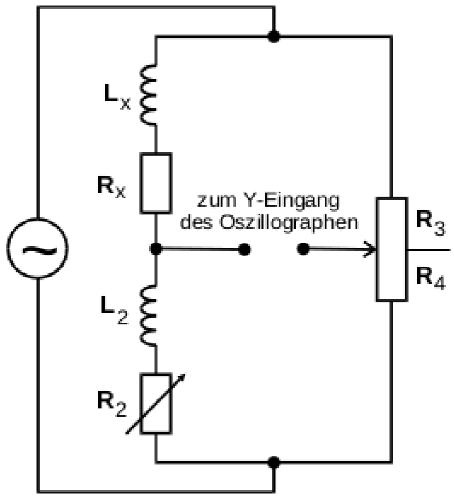

Abbildung 7: Schaltplan zur Induktivitätsmessbrücke [1]

Die Kennziffern der unbekannten Spule folgen dann aus Gleichung 10.

$$R_\mathrm{x} = R_2 \frac{R_3}{R_4} \qquad L_\mathrm{x} = L_2 \frac{R_3}{R_4} \tag{18}$$

1.5.4 Maxwell-Brücke

Eine Alternative zu der in Unterunterabschnitt 1.5.3 diskutierten Methode zur Bestimmung unbekannter Induktivitäten ist die Maxwell-Brücke, die Schaltung ist in Abbildung 8 zu sehen.

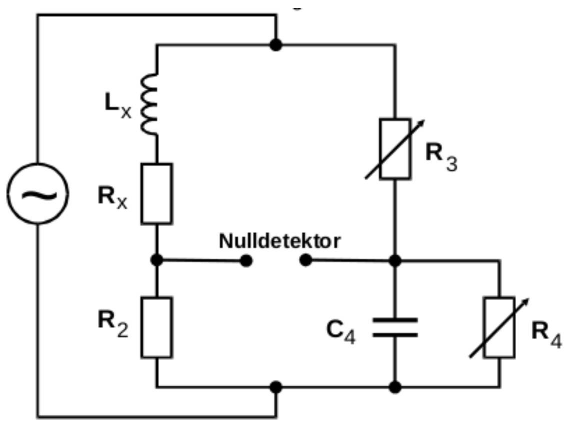

Abbildung 8: Schaltplan zur Maxwell-Brücke [1]

Der Unterschied zur Induktivitätsbrücke besteht dadrin, dass R_2 konstant gehalten wird und keine Induktivität enthält. Der zweite Freihatsgrad im System wird durch den parallel liegenden, nun variablen Widerstand R_4 mit einem parallel geschalteten Kondensator C_4 realisiert.

Aus Gleichung 10 folgen dann die Gleichungen

$$R_\mathrm{x} R_4 + \omega^2 R_4^2 C_4 L_\mathrm{x} = R_2 R_3 \left(1 + \omega^2 C_4^2 R_4^2\right) \tag{19}$$

und

$$-\,\omega R_\mathrm{x} R_4^2 C_4 = 0. \tag{20}$$

Diese liefern die unbekannten Größen

$$R_\mathrm{x} = \frac{R_2 R_3}{R_4} \qquad L_\mathrm{x} = R_2 R_3 R_4. \tag{21}$$

1.5.5 Wien-Robinson-Brücke

Zuletzt wird die Wien-Robinson-Brücke beschrieben. Diese unterscheidet sich von den bisher genannten Schaltungen dadurch, dass die Ablgeichbedingung auch von der Frequenz des Wechselstroms ω abhängt.

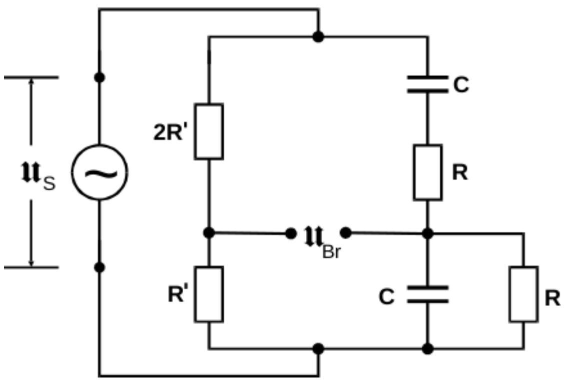

Abbildung 9: Schaltplan zur Wien-Robinson-Brücke [1]

Die vier Brückenelemente besitzen damit die Widerstandsoperatoren

$$Z_1 = 2R', \quad Z_2 = R', \quad Z_3 = \frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} \quad \text{und } Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega RC}. \tag{22}$$

Damit folgt aus Gleichung 10

$$U_\mathrm{Br} = \frac{\frac{2RR'}{1+j\omega RC} - \frac{R'+j\omega R'RC}{j\omega C}}{3R'\left(\frac{j\omega RC+1}{j\omega C} + \frac{R}{1+j\omega RC}\right)} U_S \tag{23}$$

$$= \frac{\omega^2 R^2 C^2 - 1}{3\left(1 - \omega^2 R^2 C^2\right) + 9 j\omega RC} U_S. \tag{24}$$

Das Verhältnis zwischen Brückenspannung und Speisespannung lautet somit

$$\left|\frac{U_\mathrm{Br}}{U_S}\right|^2 = \frac{\left(\omega^2 R^2 C^2 - 1\right)^2}{9\left\{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2 + 9\omega^2 R^2 C^2\right\}}. \tag{25}$$

Offensichtlich verschwindet Gleichung 25 für

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}. \tag{26}$$

Eine einfachere Darstellung von Gleichung 25 ist möglich durch das Frequenzverhältnis

$$\Omega := \frac{\omega}{\omega_0}, \tag{27}$$

das ergibt dann

$$\left|\frac{U_{\mathrm{Br}}}{U_S}\right|^2 = \frac{1}{9}\frac{\left(\Omega^2 - 1\right)^2}{(1-\Omega^2)^2 + 9\Omega^2}. \tag{28}$$

In Gleichung 28 wird deutlich, dass es sich bei der Wien-Robinson-Brücke um einen Frequenzfilter handelt. Wechselströme mit der Kreisfrequenz ω werden entfernt und Frequenzen in der Nähe abgeschwächt.

1.6 Bestimmung des Klirrfaktors

Der Klirrfaktor ist ein Indikator für die Qualität eines Funktionsgenerators. Ein idealer Sinus-Generator erzeugt nur den Sinus zu der eingestellten Frequenz. Das ist beim realen Funktionen-Generator nicht der Fall; es entstehen Oberwellen.

Für die Bestimmung des Klirrfaktors wird die Wien-Robinson-Brücke aus Unterunterabschnitt 1.5.5 benutzt. Mit ihr wird die Hauptwelle des Funktionenerzeugers rausgefiltert, sodass nur die Oberwellen zurückbleiben. Dann folgt der Klirrfaktor

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + ...}}{U_1}. \tag{29}$$

Dabei ist U_1 die Amplitude der Grundwelle und U_n die der n-ten Oberwelle, welche dann die Frequenz $n\omega_0$ besitzt.

Für diesen Versuch wird die Annahme

$$U_k = 0 \text{ für } k > 2 \tag{30}$$

gemacht. Dann lautet folgt aus Gleichung 28

$$U_2 = \frac{U_{\mathrm{Br}}}{f(2)} \tag{31}$$

Wobei $f(2)$ Gleichung 28 bei $\Omega = 2$ ausgewertet ist.

2 Durchführung

Im nächsten Abschnitt wird auf die Durchführung eingegangen. Abgesehen von der Messung des Klirrfaktors beruhen die Messungen auf der Nullmethode, die Brückenspannung wird dabei mit einem digitalen Oszillograph gemessen.

2.1 Wheatstonesche Brücke

Hier sollen zwei unbekannte Widerstände bestimmt werden. Da Gleichung 14 nicht von R_3 und R_4, sondern nur von deren Verhältnis abhängt, werden diese hier mit durch ein Potentiometer ersetzt.

Es wird das Verhältnis R_3/R_4 variiert, bis mit dem Oszillographen ein Minimum der Brückenspannung gefunden wurde. Die Speisespannung wird auf 10V gestellt. Zur Fehlerbestimmung wird R_2 (siehe Abbildung 4) variiert.

2.2 Kapazitätsmessbrücke

Die Durchführung bei der Kapazitätsmessbrücke erfolgt analog zu der bei der Wheatstoneschen Brücke.

Der Hauptunterschied liegt dadrin, dass nun zwei veränderliche Bauteile im Aufbau verbaut sind. Für die Nullmethode wird an einem Bauteil der Wert verändert, bis das Oszilloskop ein Minimum in der Brückenspannung verzeichnet. Danach wird dann am zweiten variablen Bauteil ein Minimum gesucht.
Dies wird so lange durchgeführt, bis man ein totales Minimum gefunden hat, d.h. dass eine Veränderung eines Wertes die Brückenspannung erhöht.

Da für die Bestimmung eines Wertes R_2 variiert wird, muss für die Fehlerbestimmung C_2 in den verschiedenen Messreihen variiert werden.

2.3 Induktivitätsmessbrücke

Die Durchführung findet komplett analog zu der in Unterabschnitt 2.2 statt; zur Fehlerbestimmung wird L_2 variiert.

2.4 Maxwell-Brücke

Der Aufbau folgt gemäß Abbildung 8, für die Nullmethode werden R_3 und R_4 durch Potentiometer ersetz welche so lange variiert werden, bis die Brückenspannung minimal ist.

Es werden die gleichen unbekannten Induktivitäten wie bei der Induktivitätsmessbrücke eingesetzt.

2.5 Wien-Robinson-Brücke und Klirrfaktor

Der Aufbau erfolgt gemäß dem Schaltplan in Abbildung 9. Im Frequenzbereich von 20Hz bis 30kHz wird die Brückenspannung gemessen. Dabei soll auch die Frequenz ω_0 gefunden werden, bei der die Brückenspannung minimal ist.

Für die Berechnung des Klirrfaktors muss auch die Brückenspannung im Minimum ω_0 notiert werden.

3 Auswertung

3.1 Wheatstone-Brücke

Für die Messung des Widerstandes (Wert 11) wurden drei Messreihen vorgenommen, bei denen R_2 variiert wurde und das Potentiometer($R_3, R_4 = 1\mathrm{k}\Omega - R_3$) abgestimmt wurde, sodass ein Spannungsminimum entsteht. Die eingesetzten, gemessenen und berechneten Widerstände wurden in Tabelle 1 aufgelistet. Der Widerstand R_x kann mit diesen Werten nach Gleichung 14 berechnet werden.

Mit der für das Potentiometer (also für R_3/R_4) gegebenen Messungenauigkeit von 0.5% und der Standardabweichung für R_x von $\sigma_{R_x} = 1.92\Omega$ lässt sich auch ein Fehler bestimmen. Für R_x ergibt sich dann:

$$R_x = R_{11} = (490.9 \pm 3.6)\Omega \tag{32}$$

Tabelle 1: Daten zur Wheatstone-Brücke

R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	R_4 [Ω]	R_x [Ω]
664	425.25	574.75	491.285
1000	330	670	492.537
332	595.5	404.5	488.766

3.2 Kapazitätsmessbrücke

In Unterunterabschnitt 1.5.2 wurde bereits beschrieben, wie die Kenndaten eines Kondensators mit einer Kapazitätsmessbrücke bestimmt werden können. Es wurden 2 RC-Kombinationen (Werte 8 und 9) und ein Kondensator (Wert 3) ausgemessen. Die Messdaten, die zur Berechnung genutzt wurden, sind in Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 2: Messdaten für die Berechnung von C_8

R_2 [Ω]	R_3 [Ω]	C_2 [nF]
482	568	399
431	600	450

Die hohen Werte für R_2 bei der Messung für C_9 wurden durch eine Reihenschaltung mehrerer Widerstände erreicht, um so möglichst nahe an das Minimum der Brückenspannung zu kommen. Die Kenndaten wurden nach Gleichung 16 berechnet (R_4 ergibt sich wieder aus R_3 mit $R_4 = 1\mathrm{k}\Omega - R_3$). Für die Werte der verlustbehafteten Kondensatoren ergeben sich dann:

Tabelle 3: Messdaten für die Berechnung von C_9

$R_2\,[\Omega]$	$R_3\,[\Omega]$	$C_2\,[\text{nF}]$
2000	798	992
3000	880	992

Tabelle 4: Messdaten für die Berechnung von C_3

$R_2\,[\Omega]$	$R_3\,[\Omega]$	$C_2\,[\text{nF}]$
0	482	399
41	505	450

$$C_8 = (301.73 \pm 3.24)\text{nF} \tag{33}$$
$$R_8 = (640.12 \pm 25.85)\Omega \tag{34}$$

und

$$C_9 = (193.19 \pm 58.88)\text{nF} \tag{35}$$
$$R_9 = (14.95 \pm 7.50)\text{k}\Omega \tag{36}$$

Die Ergebnisse für Wert 9 werden in Abschnitt 4 diskutiert. Für den Wert des Kondensators (Wert 3) ergibt sich:

$$C_3 = (434.94 \pm 8.32)\text{nF} \tag{37}$$

3.3 Induktivitätsmessbrücke

Die Bestimmung der Kenndaten einer Spule mit einer Induktivitätsmessbrücke wurde in Unterunterabschnitt 1.5.3 beschrieben. Die erhaltenen Messdaten wurden in Tabelle 5 aufgelistet. Mit Tabelle 5 lassen sich nach Gleichung 18 Induktivität und Verlustwiderstand

Tabelle 5: Messdaten zur Induktivitätsmessbrücke

$R_2\,[\Omega]$	$R_3\,[\Omega]$	$L_2\,[\text{mH}]$
65	711	20.1
54	646	14.6
96	499	27.5

der unbekannten Spule berechnen. Es ergeben sich:

$$L_{19} = (34.49 \pm 7.65)\text{mH} \tag{38}$$
$$R_{19} = (118.02 \pm 24.55)\Omega \tag{39}$$

3.4 Maxwell-Brücke

Mit einer Maxwell-Brücke wurden die Daten zu Wert 19 dann nochmal bestimmt(Messdaten siehe Tabelle 6). Als Toleranz der variablen Widerstände R_3 und R_4 waren hier

Tabelle 6: Messdaten zur Maxwell-Brücke

$R_2\,[\Omega]$	$R_3\,[\Omega]$	$R_4\,[\Omega]$	$C_4\,[\mathrm{nF}]$
1000	26	230	992
332	84.5	245	992
332	139	400	597
664	69	403.5	597

3% angegeben. Mit Tabelle 6 lassen sich nach Gleichung 21 Induktivität und Verlustwiderstand der unbekannten Spule dann ein zweites Mal berechnen. Es ergeben sich:

$$L_{19\mathrm{Mw}} = (27.13 \pm 1.27)\mathrm{mH} \tag{40}$$

$$R_{19\mathrm{Mw}} = (114.12 \pm 5.36)\Omega \tag{41}$$

3.5 Wien-Robinson-Brücke

Wie in Abbildung 10 zu sehen ergab sich für die Wien-Robinson-Brücke eine Messreihe von Brückenspannungen mit dazugehörigen Frequenzen.Bei der Auswertung der Wien-Robinson-Brücke konnte aus den Messdaten eine Frequenz f_0 bei der die Brückenspannung minimal wurde bestimmt werden. Hier ergab sich eine Frequenz $f_0 = 160\mathrm{Hz}$ mit einer Brückenspannung von $U_{\mathrm{Br,Min}} = 11.1\mathrm{mV}$. Die theoretische Kreisfrequenz für die minimale Brückenspannung nach Gleichung 26 liegt bei $\omega_0 = \frac{1}{RC} = 1006\mathrm{Hz}$ (dies entspricht als auf die Zeit bezogene Frequenz $(1006/2\pi)\mathrm{Hz} = 160.11\mathrm{Hz}$) und liegt somit sehr nahe an dem gemessenen Wert für f_0. In Abbildung 11 wurden die Messdaten geplottet. Dabei wurde der Quotient $U_{\mathrm{Br}}/U_{\mathrm{S}}$ in einem halblogarithmischen Diagramm gegen $\Omega = f/f_0$ aufgetragen. Die Theorie-Kurve wurde dabei aus Gleichung 28 berechnet.

```
f[Hz],2U_Br[V]
20,6.16
140,0.624
145,0.468
150,0.308
155,0.164
160,0.022
165,0.136
170,0.264
175,0.404
180,0.532
200,1
300,2.76
400,3.84
500,5.56
1000,6
2098,6.48
3098,6.52
4098,6.52
```

Abbildung 10: Messdaten zur Wien-Robinson-Brücke

3.6 Klirrfaktor

Der Klirrfaktor k kann anschließend, wie in Unterabschnitt 1.6 beschrieben, berechnet werden. Zuerst muss dafür U_2 nach nach Gleichung 31 berechnet werden. $f(2)$ bezieht sich dabei auf Gleichung 28. Es ergibt sich für U_2:

$$U_2 = \frac{0.0111\text{V}}{f(2)} \tag{42}$$

$$U_2 = 0.4995\text{V} \tag{43}$$

Nun kann man U_2 in Gleichung 29 einsetzen, um k zu bestimmen($U_1 = 10\text{V}$):

$$k = \frac{U_2}{U_1} \tag{44}$$

$$k = 0.04995 \tag{45}$$

$$k = 5\% \tag{46}$$

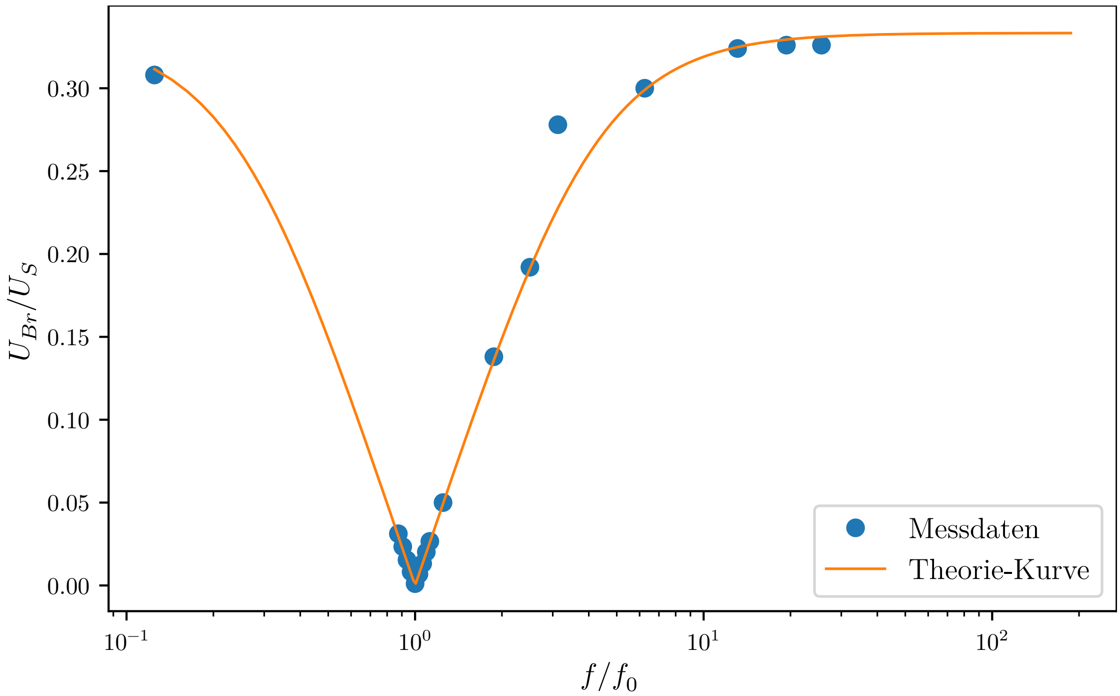

Abbildung 11: Halblogarithmische Darstellung der Frequenzabhängigkeit der Brückenspannung der Wien-Robinson-Brücke

4 Diskussion

Die Ergebnisse für Kapazität 9 sind schlecht ausgefallen (siehe Unterabschnitt 3.2). So weisen die Werte einen hohen Fehler auf und der Verlustwiderstand R_x fällt sehr hoch aus. Dies ist mit Problemen bei der Messung zu erklären. So wurde bei der Bestimmung der Daten zu Wert 9 kein Spannungsminimum gefunden, sondern der Rand des Voltmeters erreicht bevor die Spannung bei einem Minimum angekommen war. Es wurde versucht das Spannungsminimum zu erreichen, indem der Wert für R_2 durch Nutzung einer Reihenschaltung mehrerer Widerstände erhöht wurde. Allerdings konnte auch bei hohen Werten von R_2 kein klares Spannungsminimum gefunden werden.
Im Gegensatz zu den Ergebnissen für Wert 9 wirken die Werte für die Induktivität (Wert 19) gut. So liegen die ermittelten Werte per Maxwell-Brücke im Fehlerbereich der berechneten Werte mit der Induktivitätsmessbrücke.
In Abbildung 11 ist zu sehen, dass die Kurve der Messdaten zur Wien-Robinson-Brücke nahe an der Theorie-Kurve liegen. Bei der Messung wurde darauf geachtet besonders viele Messwerte in der Nähe des Minimums aufzunehmen. Dies führte dazu, dass die Kurve der Messdaten in der Nähe des Minimums besonders gut mit der Theorie-Kurve übereinstimmt.

Literatur

[1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung: Versuch Nr. 302, Brückenschaltung.* 2014.

V.302, Brückenschaltungen

01.12.20

Wheatstone

F = 1076 Hz

Wien-Robinson-Brücke

angelegte Spannung: $U_0 = 10V$

$R' = 332\ \Omega$

$C = 594\ nF$

$R = 1k\Omega$

~~20 Hz~~

Frequenz am ~~Oszillator~~ Funktionen-Generator	$2 \cdot U_{Br}$
20 Hz	6.16 V
140 Hz	624 mV
145 Hz	468 mV
150 Hz	308 mV
155 Hz	164 mV
160 Hz	22.2 mV
165 Hz	136 mV
170 Hz	264 mV
175 Hz	404 mV
180 Hz	532 mV
200 Hz	1 V
300 Hz	2.76 V

Weiterführung: Wien-Robinson-Brücken

Frequenz	$2 \cdot U_{Br}$
400 Hz	3.84 V
500 Hz	5.56 V
1000 Hz	6 V
2098 Hz	6.48 V
mit TP → 3098 Hz	6.52 V
ohne TP → 3000 Hz	6.56 V

Frequenz	
4098 Hz	6.52 V
ohne Tiefpass 10 kHz	6.68 V

ab alle drüber unverändert

Induktivitätsmessbrücke

Wert 19 1000 Hz am Funktionenerzeuger, $U_0 = 10V$

1.) $L_2 = 20.1$ mH

$R_3 = 711\,\Omega$ $R_4 = 1000\,\Omega - R_3$

$R_2 = 65\,\Omega$

2.) $L_2 = 14.6$ mH $R_3 = 646\,\Omega$ $R_4 = 1k\Omega - R_3$

$R_2 = 54\,\Omega$

3.) $L_2 = 27.5$ mH $R_3 = 490\,\Omega$ $R_4 = 1k\Omega - R_3$

$R_2 = 96\,\Omega$

Maxwell-Brücke

Wieder Wert 19; 1000 Hz, $U_0 = 10$ V

1.) $R_2 = 1k\Omega$ $C_4 = 992$ nF $R_3 = 26\,\Omega$

$R_4 = 230\,\Omega$

2.) $R_2 = 332\,\Omega$ $C_4 = 992$ nF $R_3 = 84.5\,\Omega$

$R_4 = 245\,\Omega$

3.) $R_2 = 332\,\Omega$ $C_4 = 597$ nF $R_3 = 139\,\Omega$

$R_4 = 400\,\Omega$

4.) $R_2 = 664\,\Omega$ $C_4 = 597$ nF $R_3 = 69\,\Omega$

$R_4 = 403.5\,\Omega$

Wheatstonesche Brücke

$\boxed{\text{Wert 11}}$

Funktionen - Generator: $U_0 = 10V$, $1kHz$

$\boxed{R_4 = 1k\Omega - R_3}$

1.) $R_2 = \cancel{661}\ 664\,\Omega$ $R_3 = 425.25\,\Omega$

2.) $R_2 = 1k\Omega$ $R_3 = 330\,\Omega$

3.) $R_2 = 332\,\Omega$ $R_3 = \cancel{5}595.5\,\Omega$

Kapazitätsmessbrücke

Wert 9

F - Generator: $U_0 = 10V$, $1kHz$

1.) $R_2 = 2k\Omega$ $R_3 = 798\,\Omega$

2.) $R_2 = 3k\Omega$ $R_3 = 880\,\Omega$

$\boxed{R_4 = 1k\Omega - R_3}$

Zu 1.) und 2.): $C_2 = 992\,nF$

3.) $C_2 = 597\,nF$ $R_2 = 1k\Omega$

$R_3 = 694\,\Omega$

4.) $C_2 = 597\,nF$ $R_2 = 3k\Omega$

$R_3 = 694\ \cancel{00}\,\Omega$

Beobachtung: Es war kein Minimum, sondern Rand vom Voltmeter