

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN  
Fakultät IV - Institut für Energie- und Automatisierungstechnik  
Fachgebiet Energieversorgungsnetze und Integration  
Erneuerbarer Energien

## LABORVERSUCH ZWEITORE 4. Labortermin

### Protokoll zum Praktikum "elektrische Netzwerke"

vorgelegt von:	Robert Focke
Matrikelnummer:	369264
Betreuer:	Michael Smirnov
Labortermin:	Mittwoch 14:00-16:00
eingereicht am:	28. Juni 2016

## Eidesstattliche Erklärung

Ich, Robert Focke, versichere hiermit an Eides statt, dass ich mein Protokoll zum Praktikum "elektrische Netzwerke" mit dem Thema

LABORVERSUCH ZWEITORE - 4. *Labortermin*

selbständig und eigenhändig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Berlin, den 28. Juni 2016

---

ROBERT FOCKE

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
1.1	Zweitor . . . . .	1
1.2	Impedanzmatrix . . . . .	1
1.3	Bestimmung einzelner Elemente der Impedanzmatrix . . . . .	1
1.4	Bestimmung des Eingangstroms mit einem Hilfswiderstand . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Mess- und Rechenergebnisse</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Simulationsergebnisse</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Interpretation</b>	<b>7</b>
	<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Theorie

## 1.1 Zweitor

Ein Zweitor ist ein Vierpol, welcher aus zwei Toren besteht. Ein Beispiel für ein Zweitor ist ein Transformator.

## 1.2 Impedanzmatrix

Die Formeln für die Berechnung der Impedanzmatrix sind wie folgt:

- Leerlauf: Eingangsimpedanz

$$Z_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

- Leerlauf: Übertragungsimpedanz vorwärts

$$Z_{21} = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

- Leerlauf: Übertragungsimpedanz rückwärts

$$Z_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

- Leerlauf: Ausgangsimpedanz

$$Z_{22} = \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

## 1.3 Bestimmung einzelner Elemente der Impedanzmatrix

- $Z_{11} = Z_1 + Z_3$
- $Z_{21} = Z_3$
- $Z_{12} = Z_3$
- $Z_{22} = Z_2 + Z_3$

## 1.4 Bestimmung des Eingangstroms mit einem Hilfswiderstand

Zur Berechnung von dem Eingangstrom kann man einen Shuntwiderstand in Reihe schalten und dann das Ohmsche Gesetz benutzen.

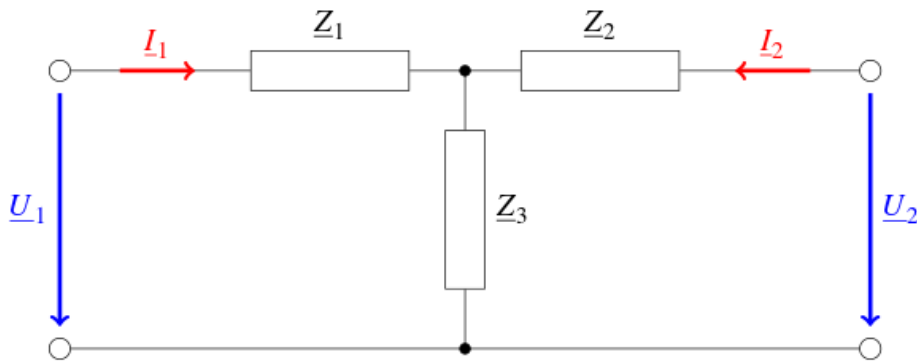


Abbildung 1: Die im Labor gebaute Schaltung [1]

## 2 Durchführung

Die in Abbildung 1 dargestellte Schaltung würde im Labor gebaut. Der Funktionsgenerator würde dann erst an der linken Seite angeschlossen und danach an der rechten Seite. Die Werte für  $U_1$  und  $U_2$  würden für beide Seiten gemessen.

Danach wurde die in Abbildung 2 dargestellte Schaltung in LTSpice simuliert und die Werte für die Eingangsspannung,  $I_1$  und  $I_2$  exportiert.

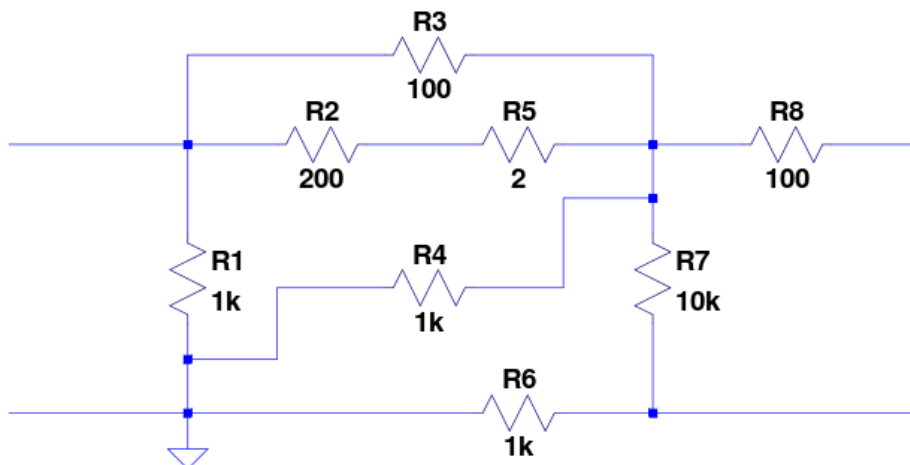


Abbildung 2: Die simulierte Schaltung [1]

## 3 Mess- und Rechenergebnisse

Die folgende Werte würden für  $U_1$  und  $U_2$  aufgenommen:

Tabelle 1: Gemessene Werte

Seite des Zweitors	$U_1$ V	$U_2$ V
Links	7.28	3.6
Rechts	3.6	7.28

Zur Berechnung würde die Peak-to-Peak Werte benutzt ( $U_E = 10 \text{ V}$ ). Ein Shuntwiderstand würde benutzt um den Eingangsstrom zu ermitteln:

$$\begin{aligned}
 U_E &= U_{R_{SHUNT}} + U_1 \\
 \Rightarrow U_{R_{SHUNT}} &= U_E - U_1 \\
 U_{R_{SHUNT}} &= 10 \text{ V} - 7,28 \text{ V} \\
 \Rightarrow U_{R_{SHUNT}} &= 2,72 \text{ V} \\
 U_{R_{SHUNT}} &= I_{R_{SHUNT}} R_{SHUNT} \\
 \Rightarrow I_{R_{SHUNT}} &= \frac{U_{R_{SHUNT}}}{R_{SHUNT}} \\
 I_{R_{SHUNT}} &= \frac{2,72 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} \\
 I_{R_{SHUNT}} &= 0,27 \text{ mA}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Da  $U_1$  auf der linken Seite gleich  $U_2$  auf der rechten Seite ist, folgt dass die Eingangströme,  $I_1$  und  $I_2$  auf den jeweiligen Seiten auch gleich sind. Diese Beide Ströme sind gleich  $I_{R_{SHUNT}}$

Berechnung von der Impendanzmatrix:

- $Z_{11}$ :

$$\begin{aligned}
 Z_{11} &= \frac{U_1}{I_1} \\
 Z_{11} &= \frac{7,28 \text{ V}}{0,27 \text{ mA}} \\
 \Rightarrow Z_{11} &= 26,96 \text{ k}\Omega
 \end{aligned} \tag{2}$$

- $Z_{21}$ :

$$\begin{aligned}
 Z_{21} &= \frac{U_2}{I_1} \\
 Z_{21} &= \frac{3,6 \text{ V}}{0,27 \text{ mA}} \\
 \Rightarrow Z_{21} &= 13,33 \text{ k}\Omega
 \end{aligned} \tag{3}$$

- $Z_{12}$ :

$$\begin{aligned}
 Z_{12} &= \frac{U_1}{I_2} \\
 Z_{12} &= \frac{3,6 \text{ V}}{0,27 \text{ mA}} \\
 \Rightarrow Z_{12} &= 13,33 \text{ k}\Omega
 \end{aligned} \tag{4}$$

- $Z_{22}$ :

$$\begin{aligned} Z_{22} &= \frac{U_2}{I_2} \\ Z_{22} &= \frac{7,28 \text{ V}}{0,27 \text{ mA}} \\ \implies Z_{22} &= 26,96 \text{ k}\Omega \end{aligned} \tag{5}$$

Matrix Darstellung:

$$\begin{pmatrix} 26,96 \text{ k}\Omega & 13,33 \text{ k}\Omega \\ 13,33 \text{ k}\Omega & 26,96 \text{ k}\Omega \end{pmatrix}$$

Berechnung der einzelnen Impedanzen:

$$\begin{aligned} Z_{12} &= Z_{21} = Z_3 \\ \implies Z_3 &= 13,33 \text{ k}\Omega \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} Z_{11} &= Z_1 + Z_3 \\ \implies Z_1 &= Z_{11} - Z_3 \\ \implies Z_1 &= 26,96 \text{ k}\Omega - 13,33 \text{ k}\Omega \\ \implies Z_1 &= 13,63 \text{ k}\Omega \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} Z_{22} &= Z_{11} \\ Z_1 &= Z_2 \\ \implies Z_2 &= 13,63 \text{ k}\Omega \end{aligned} \tag{8}$$

## 4 Simulationsergebnisse

Berechnung der Admittanzmatrix:

Die Benutzte Formeln:

- Kurzschluss: Eingangsadmittanz

$$Y_{11} = \left. \frac{I_1}{U_1} \right|_{U_2=0}$$

- Kurzschluss: Übertragungsadmittanz vorwärts

$$Y_{21} = \left. \frac{I_2}{U_1} \right|_{U_2=0}$$

- Kurzschluss: Übertragungsadmittanz rückwärts

$$Y_{12} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{U_1=0}$$

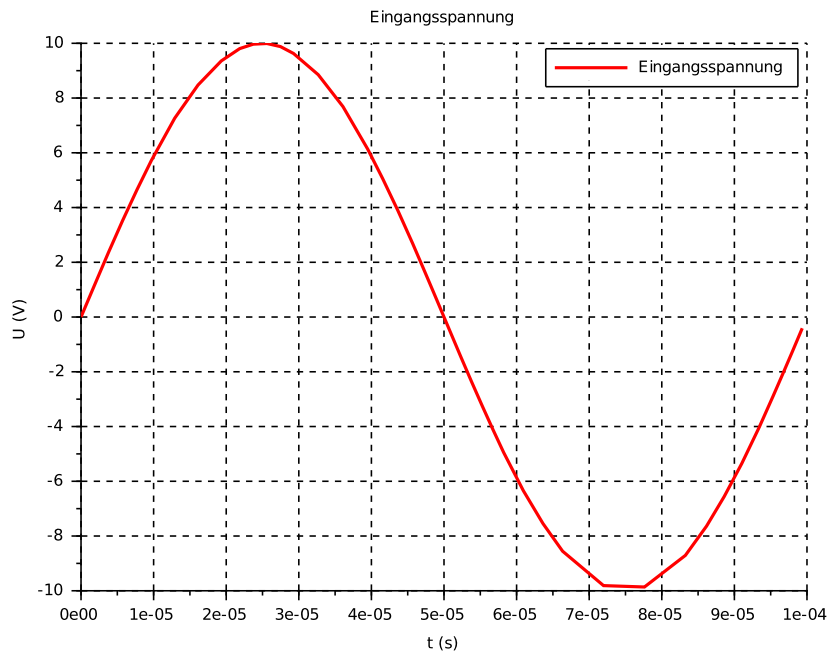


Abbildung 3: Die simulierte Eingangsspannung

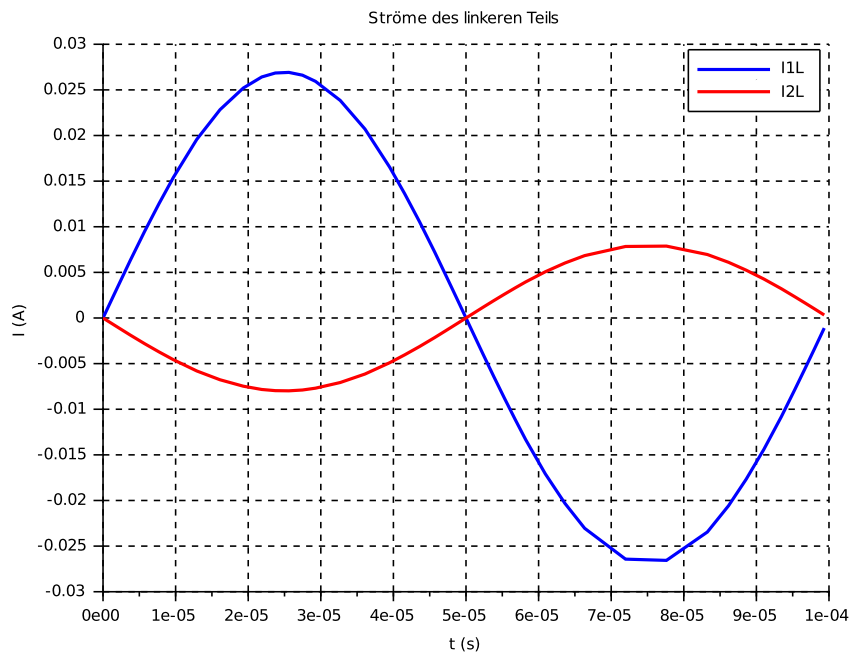


Abbildung 4: Die simulierte Eingangsspannung

- Kurzschluss: Ausgangsadmittanz

$$Y_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{U_1=0}$$



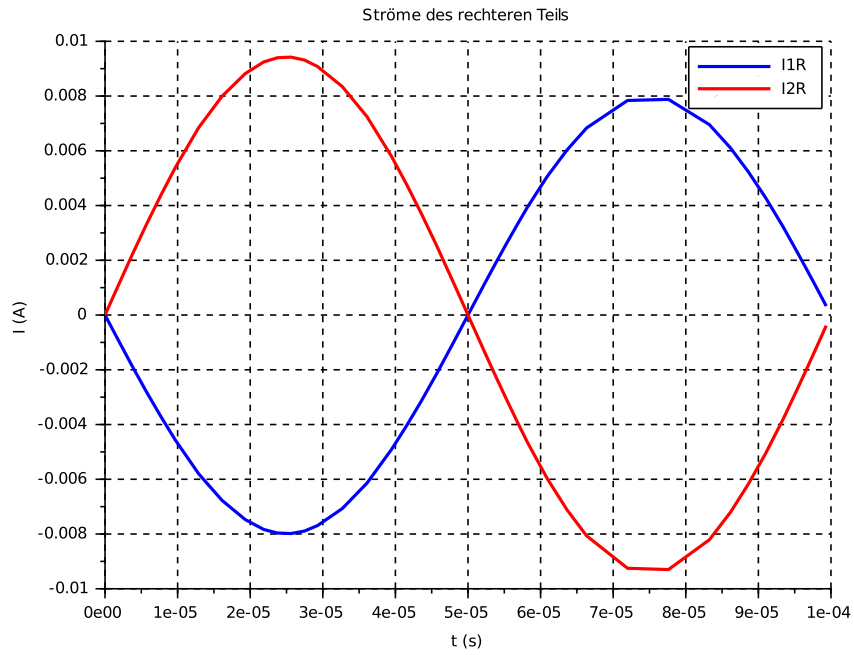


Abbildung 5: Die simulierte Eingangsspannung

•  $Y_{11}$ :

$$\begin{aligned}
 Y_{11} &= \frac{I_1}{U_1} \\
 Y_{11} &= \frac{2,69 \text{ mA}}{10 \text{ V}} \\
 Y_{11} &= 2,69 \text{ mS}
 \end{aligned} \tag{9}$$

•  $Y_{21}$ :

$$\begin{aligned}
 Y_{21} &= \frac{I_2}{U_1} \\
 Y_{21} &= \frac{0,79 \text{ mA}}{10 \text{ V}} \\
 Y_{21} &= 0,79 \text{ mS}
 \end{aligned} \tag{10}$$

•  $Y_{12}$ :

$$\begin{aligned}
 Y_{12} &= \frac{I_1}{U_2} \\
 Y_{12} &= \frac{0,79 \text{ mA}}{10 \text{ V}} \\
 Y_{12} &= 0,79 \text{ mS}
 \end{aligned} \tag{11}$$

- $Y_{22}$ :

$$\begin{aligned} Y_{22} &= \frac{I_2}{U_2} \\ Y_{22} &= \frac{0,94 \text{ mA}}{10 \text{ V}} \\ Y_{22} &= 2,69 \text{ mS} \end{aligned} \tag{12}$$

## 5 Interpretation

In diesem Laborversuch würden sehr hilfreiche Methoden zur Berechnung von Zweitoren vorgestellt. Diese Methoden erleichtern der Bestimmung von den einzelnen Elementen des Zweitores, die oft nicht sichtbar sind. Mit einfacher Arithmetik und Matrizen können alle Impedanzen/Admittanzen in einem Zweitor bestimmt werden.

Zwei verschiedenen Arten von Zweitorberechnung würden untersucht. Im praktischen Teil würden Impedanzen bestimmt und im simulierten Teil Admittanzen. Methoden zur Berechnung von Zweitoren, die sich im Leerlauf oder Kurzschluss befinden, stehen uns jetzt zur Verfügung.

## Literatur

- [1] Abbildung 1: Peter Teske, Christian Gornig, *Laborpraktikum 4: Zweitore*, TU Berlin, 2016.
- [2] Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG) im DIN, *DIN 1338:2011-03, Formelschreibweise und Formelsatz*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2011-03.