

Technische Universität Berlin
Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik
Institut für Energie- und Automatisierungstechnik
Fachgebiet für Energieversorgungsnetze und Integration Erneuerbarer Energien

ZWEITOR

Protokoll

zum 4. Praktikumstermin

im Laborpraktikum

des Moduls

Elektrische Netzwerke

im Sommersemester 2021

Autor: Juan Nicolas Pardo Martin (389772)
Betreuer: Jeanne Steiner
Labortermin: Samstag, 30. Mai 2021, 16-18 Uhr
Eingereicht am: Montag, den 30. Mai 2021

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die mit meinem Namen gekennzeichneten Teile für das vorliegende *Protokoll*

ZWEITOR

zum 4. *Praktikumstermin* im *Laborpraktikum* des Moduls *Elektrische Netzwerke* selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, 17. Mai 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Nicolas Pardo Martin', written over a horizontal line.

JUAN NICOLAS PARDO MARTIN (389772)

Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsdurchführung	4
1.1	Messung	4
1.2	Simulation	5
2	Versuchsergebnisse	9
2.1	Messdaten: Impedanzmatrix	9
2.2	Simulation: Admittanzmatrix	10
3	Versuchsauswertung	11
4	Zusammenfassung	12
	Tabellenverzeichnis	13
	Abbildungsverzeichnis	14
	Quellenverzeichnis	15
	Anhang A Verwendeter Matlab-Code	16
	Anhang B Verwendeter Python-Code	18

1 Versuchsdurchführung

1.1 Messung

- einen Widerstand ($1\text{k}\Omega$),
- Doppelbanenstecker
- Zweitor,
- BNC-Bananenstecker
- ein BNC-BNC-Kabel
- ein Oszilloskop,
- einen Funktionsgenerator,
- ein Steckbrett,
- Steckbrettkabeln

Zuerst erhalten wir alle Materialien, dann stellen wir sicher, dass wir notieren, welche Pole wir als Tore betrachten. Nachdem wir die Tore ausgewählt haben, zählen wir unsere Pole wie folgt auf: 1,1', 2,2'

Um die Spannung zwischen 2 beliebigen Polen zu messen, schließen wir beim Messen einen Shunt-Widerstand in Reihe an. Dadurch wird sichergestellt, dass wir später herausfinden können, wie hoch der Strom ist.

Um die Spitze-Spitze-Werte anzuzeigen, drückt man „ V_{pp} “. Für den Zeitunterschied: „Timedelay“

Der Versuch besteht aus zwei Teilen.

Im ersten Teil wird der Funktionsgenerator über einen ($1\text{k}\Omega$) Shunt-Widerstand mit dem ersten Gate der Blackbox verbunden. Mit dieser Konstruktion können wir die Impedanzmatrixeinträge Z_{11} und Z_{21} bestimmen. Mit dem Oszilloskop wird die Potentialdifferenz des Funktionsgenerators (U_{Epp}) und der Pole des ersten Tores (U_{1pp}) gemessen. Mit der Differenz dieser beiden Spannungen können wir den Shunt-Widerstand bestimmen. Mit der Zeitdifferenz Δt_{11} zwischen U_{Epp} und U_{1pp} kann die Phase des Stromes berechnet werden, danach wird das zweite Tor angeschlossen um U_{2pp} und Δt_{21} zu bestimmen.

Der zweite Teil ist analog zum ersten Teil, wir wiederholen alle Schritte, die wir für den ersten Teil für das zweite Tor gemacht haben, aber wir ändern U_{1pp} mit U_{2pp} und bestimmen so Z_{12} , Z_{22} und Δt_{12} .

Juan Nicolas Pardo Martin

1.2 Simulation

Abbildung 1: LTSpice Simulation 1ste Tor

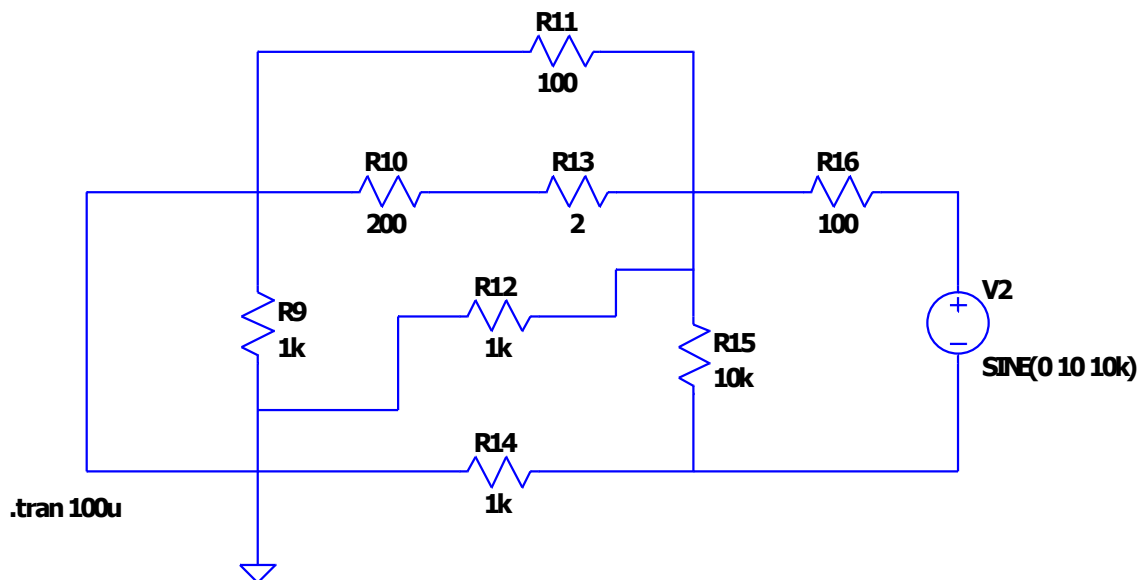
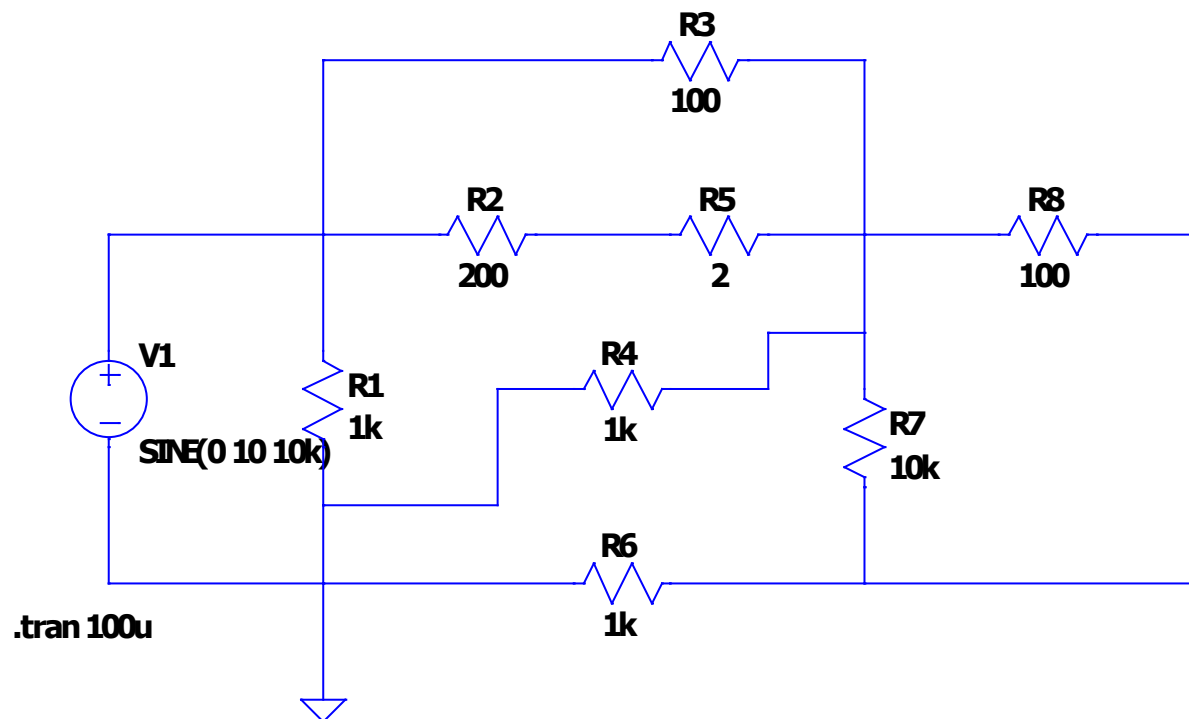


Abbildung 2: LTSpice Simulation 2te Tor



Für die Simulation haben wir zwei Schaltungen gebaut, eine für das erste Tor und eine für das zweite Tor, Wir führen eine "Transient Simulation durch, von nur 100µs. Um die Spannungen bzw Strome (beispielweise U_1, I_1) können wir in LTSpice Maschenregel bzw Knotenregel benutzen, exportieren wir diese Werte, mit denen wir die folgenden Diagramme plotten können

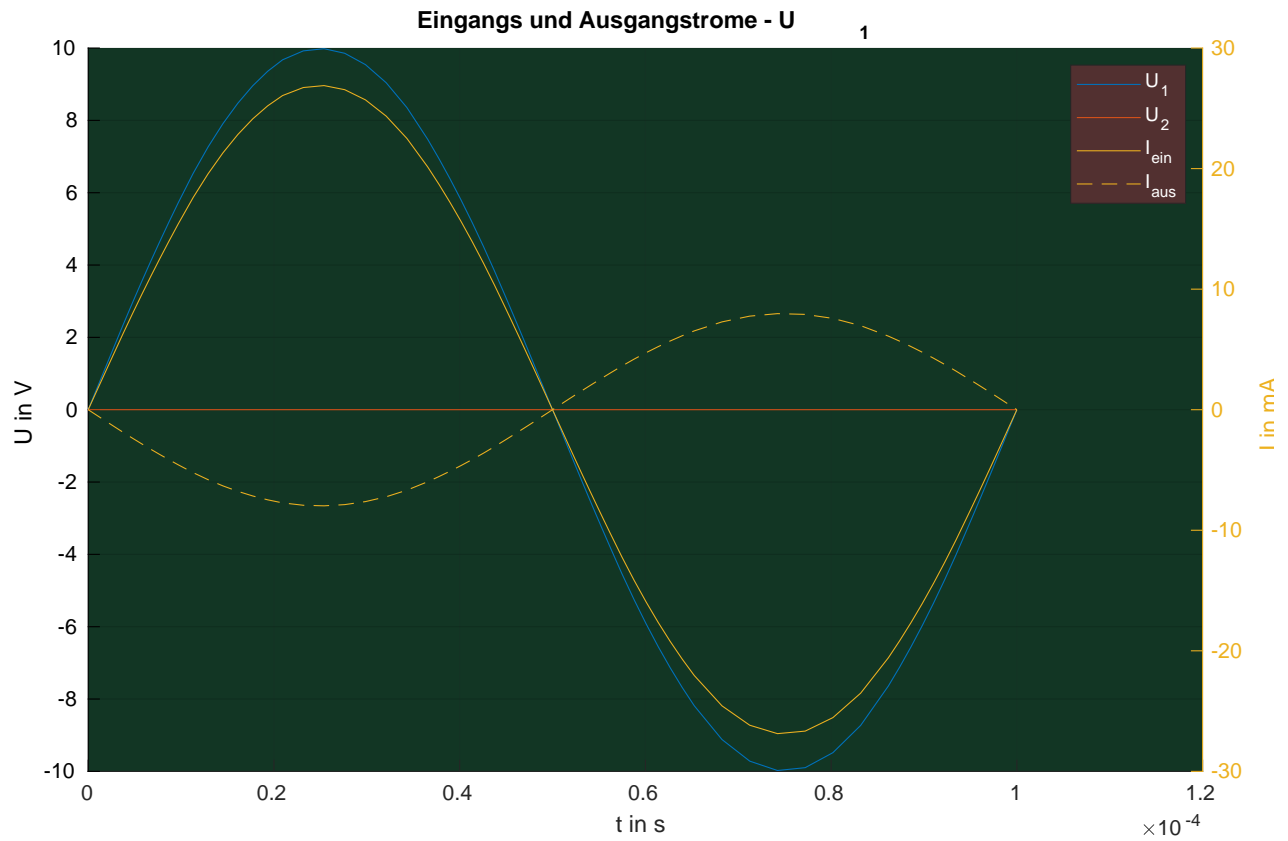
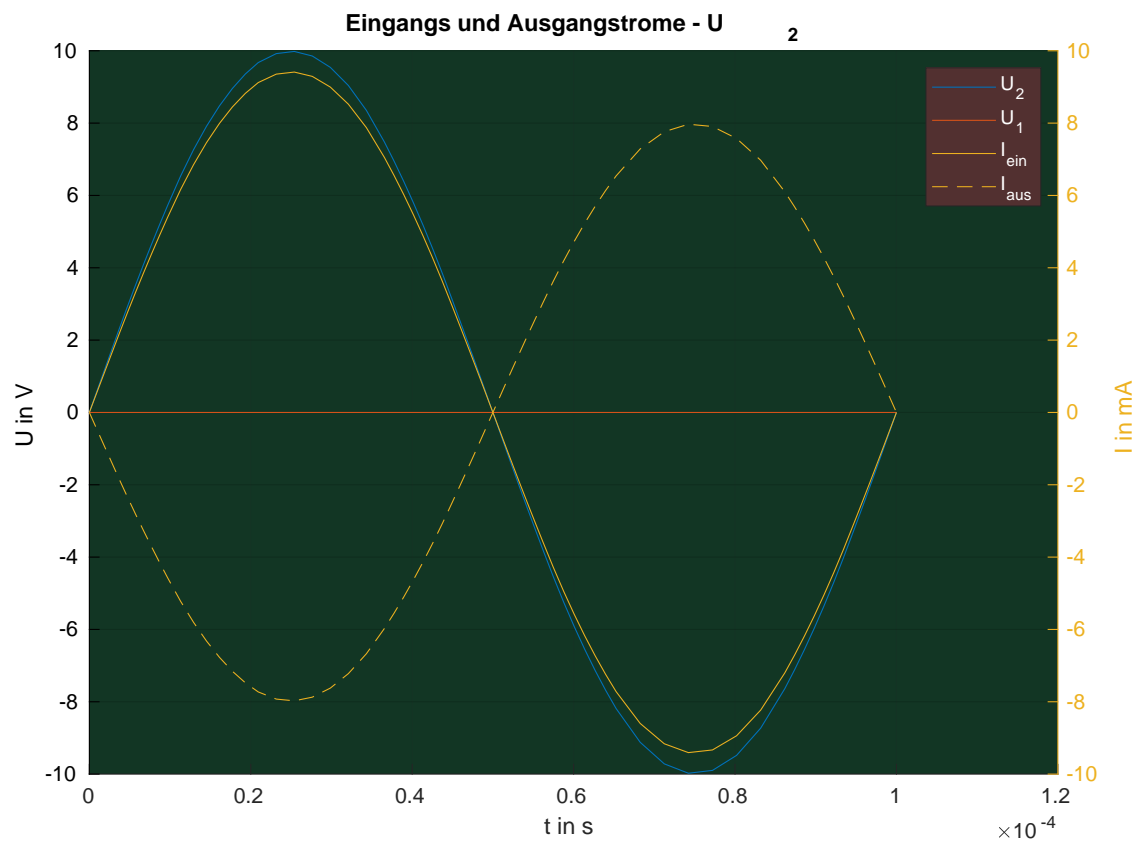


Abbildung 3: Eingangsspannung U_1

Abbildung 4: Eingangsspannung U_2 *Juan Nicolas Pardo Martin*

2 Versuchsergebnisse

2.1 Messdaten: Impedanzmatrix

Wir haben die folgenden Messungen:

Tabelle 1: Messergebnisse

Box	Messung für	$U_{E,pp}$	$U_{1,pp}$	$U_{2,pp}$	Δt_{U1}	Δt_{U2}
Nr. 1	\underline{Z}_{11}	19,84 V	9,44 V	-	0 μ s	-
	\underline{Z}_{21}	19,84 V	-	4,76 V	-	0 μ s
	\underline{Z}_{22}	20,00 V	-	13,76 V	-	3,920 μ s
	\underline{Z}_{12}	20,00 V	4,68 V	-	-5,640 μ s	-

Um die Impedanzmatrix zu berechnen können wir folgenden Formeln anwenden.

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

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

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

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

und

$$\phi_{phase} = 2\pi f \Delta t$$

$$\underline{U}_1 = \frac{1}{2} U_{1,pp} e^{j\omega \Delta t_1} = \frac{1}{2} U_{1,pp} e^{j2\pi f \Delta t_1}$$

$$I_1 = \frac{\underline{U}_E - \underline{U}_1}{R_{Shunt}} = \left(\frac{1}{2} \right) \frac{\underline{U}_{E,pp} - \underline{U}_{1,pp} e^{j\omega \Delta t_1}}{R_{Shunt}}$$

$$\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2=0} & \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \\ \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2=0} & \left. \frac{U_2}{I_2} \right|_{I_1=0} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\frac{1}{2} U_{1,pp1} e^{j2\pi f \Delta t_{11}}}{\frac{1}{2} \frac{\underline{U}_{E,pp1} - \underline{U}_{1,pp1} e^{j\omega \Delta t_{11}}}{R_{Shunt}}} & \frac{\frac{1}{2} U_{1,pp2} e^{j2\pi f \Delta t_{12}}}{\frac{1}{2} \frac{\underline{U}_{E,pp2} - \underline{U}_{2,pp2} e^{j\omega \Delta t_{22}}}{R_{Shunt}}} \\ \frac{\frac{1}{2} U_{2,pp1} e^{j2\pi f \Delta t_{21}}}{\frac{1}{2} \frac{\underline{U}_{E,pp1} - \underline{U}_{1,pp1} e^{j\omega \Delta t_{11}}}{R_{Shunt}}} & \frac{\frac{1}{2} U_{2,pp2} e^{j2\pi f \Delta t_{22}}}{\frac{1}{2} \frac{\underline{U}_{E,pp2} - \underline{U}_{2,pp2} e^{j\omega \Delta t_{22}}}{R_{Shunt}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{U_{1,pp1} e^{j2\pi f \Delta t_{11}}}{\frac{U_{E,pp1} - U_{1,pp1} e^{j\omega \Delta t_{11}}}{R_{Shunt}}} & \frac{U_{1,pp2} e^{j2\pi f \Delta t_{12}}}{\frac{U_{E,pp2} - U_{2,pp2} e^{j\omega \Delta t_{22}}}{R_{Shunt}}} \\ \frac{U_{2,pp1} e^{j2\pi f \Delta t_{21}}}{\frac{U_{E,pp1} - U_{1,pp1} e^{j\omega \Delta t_{11}}}{R_{Shunt}}} & \frac{U_{2,pp2} e^{j2\pi f \Delta t_{22}}}{\frac{U_{E,pp2} - U_{2,pp2} e^{j\omega \Delta t_{22}}}{R_{Shunt}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = R_{Shunt} \begin{pmatrix} \frac{U_{1,pp1} e^{j2\pi f \Delta t_{11}}}{\frac{U_{E,pp1} - U_{1,pp1} e^{j\omega \Delta t_{11}}}{R_{Shunt}}} & \frac{U_{1,pp2} e^{j2\pi f \Delta t_{12}}}{\frac{U_{E,pp2} - U_{2,pp2} e^{j\omega \Delta t_{22}}}{R_{Shunt}}} \\ \frac{U_{2,pp1} e^{j2\pi f \Delta t_{21}}}{\frac{U_{E,pp1} - U_{1,pp1} e^{j\omega \Delta t_{11}}}{R_{Shunt}}} & \frac{U_{2,pp2} e^{j2\pi f \Delta t_{22}}}{\frac{U_{E,pp2} - U_{2,pp2} e^{j\omega \Delta t_{22}}}{R_{Shunt}}} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -\frac{1000 U_{1pp1}}{U_{1pp1} - U_{epp1}} & -\frac{1000 U_{1pp2}}{U_{2pp2} - U_{epp2}} \\ -\frac{1000 U_{1pp2}}{U_{1pp1} - U_{epp1}} & -\frac{1000 U_{2pp2}}{U_{2pp2} - U_{epp2}} \end{pmatrix}$$

Juan Nicolas Pardo Martin

2.2 Simulation: Admittanzmatrix

Wir wählen eine beliebige Zeitpunkt, womit wir die Admittanzmatrix bestimmen können. Dafür wählen wir eine beliebige index, mit eine Beliebige simulierte Zeitpunkt, wie z.B $t = 42,577$. Dann füllen wir so eine Tabelle

Messung	t in μs	$u_1(t)$ in V	$u_2(t)$ in V	$i_1(t)$ in mA	$i_2(t)$ in mA
Kurzschluss am Ausgang	42,5527	4,5193	0	12,1730	25.120080
Kurzschluss am Eingang	42,5527	0	4,5193	-3,6102	4,2601

$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{I_{1,1}}{U_1} & \frac{I_{1,2}}{U_2} \\ \frac{I_{2,1}}{U_1} & \frac{I_{2,2}}{U_2} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 2,69356 & -0,798841 \\ -0,798841 & 0,942845 \end{pmatrix} mS$$

Juan Nicolas Pardo Martin

3 Versuchsauswertung

4 Zusammenfassung

Juan Nicolas Pardo Martin

Tabellenverzeichnis

1	Messergebnisse	9
---	--------------------------	---

Abbildungsverzeichnis

1	LTSpice Simulation 1ste Tor	5
2	LTSpice Simulation 2te Tor	6
3	Eingangsspannung U_1	7
4	Eingangsspannung U_2	8

Quellenverzeichnis

- [Laborskript] Teske, P., Gornig, C.: „Einführung in das Praktikum Elektrische Netzwerke“, Skript zum 0. Versuch im Laborpraktikum des Moduls Elektrische Netzwerke, SoSe 2018, TU Berlin
https://isis.tu-berlin.de/pluginfile.php/900997/mod_resource/content/1/PR00_Einf%C3%BChrung.pdf
Stand: 19.04.2018
- [LTspice] ©1995 - 2021 Analog Devices, Inc. All Rights Reserved
<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
Stand: 11.05.2021
- [readLTspice] readLTspice.m, SoSe 2021, TU Berlin
<https://isis.tu-berlin.de/mod/folder/view.php?id=1095222>
Stand: 11.05.2021
- [Matlab] MATLAB. (2021). version 7.10.0 (R2021a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://matlab.mathworks.com/>
Stand: 11.05.2021

Anhang A Verwendeter Matlab-Code

```

1 t=readLTspice("./labor2.txt","Nyquist")
2 figure(1)
3 clf
4 subplot(2,1,1);
5 plot(t(:,1)*1e3,t(:,2))
6 hold on
7 plot(t(:,1)*1e3,t(:,3))
8 plot(t(:,1)*1e3,t(:,4))
9 grid on
10 xlabel("t in ms")
11 ylabel("U in V")
12 title("Spannungen der RC-Parallelschaltung" )
13 legend('U_E','U_{C_1}','U_{C_2}')
14 hold off
15 subplot(2,1,2);
16 plot(t(:,1)*1e3,t(:,5)*1e3)
17 hold on
18 plot(t(:,1)*1e3,t(:,6)*1e3)
19 plot(t(:,1)*1e3,t(:,7)*1e3)
20 xlabel("t in ms")
21 ylabel("I in mA")
22 title("Strömungen der RC-Parallelschaltung" )
23 legend('I_{U_E}','I_{C_1}','I_{C_2}')
24 grid on
25 messwerte=load('ELNW_PR_02_Vorgabe_Messwerte.mat')
26 messwerte.I_ges=(messwerte.u_E-messwerte.u_C)
27 R = 1e3;
28 C = 100e-9;
29 %für Idealität
30 t_ideal = [-0.1 0 0 0.5 0.5 1]
31 uE_ideal = [0 0 10 10 0 0];
32
33 % die ideale Aufladevorgang
34 t1 = (0:0.01:0.5)*1e-3;
35 U_E1 = 10;
36

```



```
37 uC_ideal_EIN = U_E1 * (1-exp(-1/(R*C) * t1));
38
39 % Entladevorgang
40 t2 = (0.5:0.01:1) *1e-3;
41 t0 = 0.5e-3;
42 U_E2 = 10;
43
44 uC_ideal_AUS = U_E2 * exp(-1/(R*C) * (t2-t0));
45
46
47 tC_ideal = [t1 t2]*1e3;
48 uC_ideal = [uC_ideal_EIN uC_ideal_AUS];
49
50
51 uR_ideal_AUS = 0 - uC_ideal_AUS;
52 uR_ideal_EIN = 10 - uC_ideal_EIN;
53 uR_ideal = [uR_ideal_EIN uR_ideal_AUS];
54 i_ideal = uR_ideal;
55
56
57 figure(2)
58 clf
59 %plot(messwerte.t_mess,'DisplayName','t_mess');
60 hold on;
61 plot(messwerte.t_mess,messwerte.u_C,'bx','DisplayName','u_C');
62 plot(tC_ideal,uC_ideal,'b-','DisplayName','u_C Ideal');
63
64 plot(messwerte.t_mess,messwerte.u_E,'rx','DisplayName','u_E');
65 plot(t_ideal,uE_ideal,'r-','DisplayName','u_E Ideal');
66 ylabel("U in V")
67 yyaxis right
68 plot(messwerte.t_mess,messwerte.I_ges,'yx','DisplayName','I_{ges} U_R');
69 plot(tC_ideal,uR_ideal,'y-','DisplayName','I_{ges} U_R Ideal');
70 ylabel("I in mA")
71 legend()
72 %legend("u_C","u_E","I_{ges}, U_R")
73 xlabel("t in ms")
74 title("Messwerte für RC-Schaltung")
75 hold off;
```

Anhang B Verwendeter Python-Code

Juan Nicolas Pardo Martin