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

Laborversuch Ausgleichsvorgang
2. Labortermin

Protokoll zum Praktikum "elektrische Netzwerke"

vorgelegt von:	Robert Focke
Matrikelnummer:	369264
Betreuer:	Michael Smirnov
Labortermin:	Mittwoch 14:00-16:00
eingereicht am:	5. Juni 2016

Eidesstattliche Erklärung

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

Laborversuch Ausgleichsvorgang - *2. Labortermin*

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

Berlin, den 5. Juni 2016

Robert Focke

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

1.1 Ausgleichsvorgänge

Ausgleichsvorgänge sind Übergänge eines Systems von einem stationären Zustand in einem anderen.

1.2 Ordnung eines Ausgleichvorgangs

Die Ordnung eines Ausgleichvorgangs beschreibt die Anzahl der vorhandenen unabhängigen Energiespeicher.

1.3 Oszilloskop

Die Strom kann nicht von einem Oszilloskop gemessen werden. Die Strom an einem Widerstand kann aber indirekt bestimmt werden, durch Messung der Spannung und einsetzen im Formel: $I = \frac{U}{R}$.

1.4 Idealer Verlauf der Spannung am Kondesator

Wir möchten Gleichungen zur Beschreibung von dem idealen Verlauf der Spannung am Kondesator haben. Von dem Kirchhoffschen Maschenregel wissen wir:

$$u_E = u_R + u_C(t) \tag{1}$$

wobei u_E die Eingangsspannung ist, u_R die Spannung am Widerstand und $u_C(t)$ die zeitlich veränderliche Spannung am Kondesator ist.

Wir wissen auch:

- $u_R = i_C R$
- $i_C = C\frac{\delta u_C(t)}{\delta t}$

$\implies u_E = CR\frac{\delta u_C(t)}{\delta t} + u_C(t)$

Diese Gleichung müss nun in Normalform gebracht werden:

$$\begin{aligned} 0 &= CR\frac{\delta u_C(t)}{\delta t} + u_C(t) \\ 0 &= \frac{\delta u_C(t)}{\delta t} + \frac{u_C(t)}{CR} \end{aligned} \tag{2}$$

Wir setzten nun $u_C(t) = ke^{p(t-t0)}$ und bekommen:

$$\begin{aligned} 0 &= kpe^{p(t-t_0)} + \frac{1}{CR}ke^{p(t-t_0)} \\ \implies 0 &= p + \frac{1}{CR} \\ \implies p &= -\frac{1}{CR} \end{aligned} \tag{3}$$

Wir haben jetz die homogene Lösung für $u_C(t)$:

$$u_C(t) = u_{C,h} = ke^{-\frac{1}{CR}(t-t_0)} \tag{4}$$

Wir wissen aber, dass es auch partikuläre Teile von $u_C(t)$ gibt. Die folgende Gleichung gilt:

$$u_C(t) = u_{C,h} + u_{C,p} \tag{5}$$

Wir müssen also $u_{C,p}$ untersuchen für zwei verschiedene Fälle:

1. Einschaltvorgang ($0\,\mathrm{ns} \leqslant t \leqslant 0{,}5\,\mathrm{ms}$)
   - $u_C(t = 0) = 0\,\mathrm{V}$
   - $u_C(t{\to}\infty) = u_{C,p} = 5\,\mathrm{V}$

   $$\begin{aligned} u_C(t)_{(t=0)} &= u_{C,h} + u_{C,p} \\ 0 &= ke^{-\frac{1}{CR}(t-t_0)} + u_{C,p} \\ 0 &= k + u_{C,p} \\ \implies k &= -u_{C,p} = -5\,\mathrm{V} \end{aligned} \tag{6}$$

   Also folgt:

   $$\begin{aligned} u_C(t) &= -5\,\mathrm{V}(e^{-\frac{1}{CR}(t-0)}) + 5\,\mathrm{V} \\ &= -5\,\mathrm{V}(e^{-\frac{1}{10^{-7}}(t)}) + 5\,\mathrm{V} \end{aligned} \tag{7}$$

2. Ausschaltvorgang ($0{,}5\,\mathrm{ms} \leqslant t \leqslant 1\,\mathrm{ms}$)
   - $u_C(t = 0) = 5\,\mathrm{V}$
   - $u_C(t{\to}\infty) = u_{C,p} = 0\,\mathrm{V}$

   $$\begin{aligned} u_C(t)_{(t=0)} &= u_{C,h} + u_{C,p} \\ 5\,\mathrm{V} &= ke^{-\frac{1}{CR}(t-t_0)} + u_{C,p} \\ 5\,\mathrm{V} &= k \end{aligned} \tag{8}$$

   Also folgt:

   $$\begin{aligned} u_C(t) &= 5\,\mathrm{V}(e^{-\frac{1}{CR}(t-0{,}5\,\mathrm{ms})}) + 0\,\mathrm{V} \\ &= 5\,\mathrm{V}(e^{-\frac{1}{10^{-7}}(t-0{,}5\,\mathrm{ms})}) \end{aligned} \tag{9}$$

2 Durchführung

Die folgende Schaltung würde im Labor gebaut:

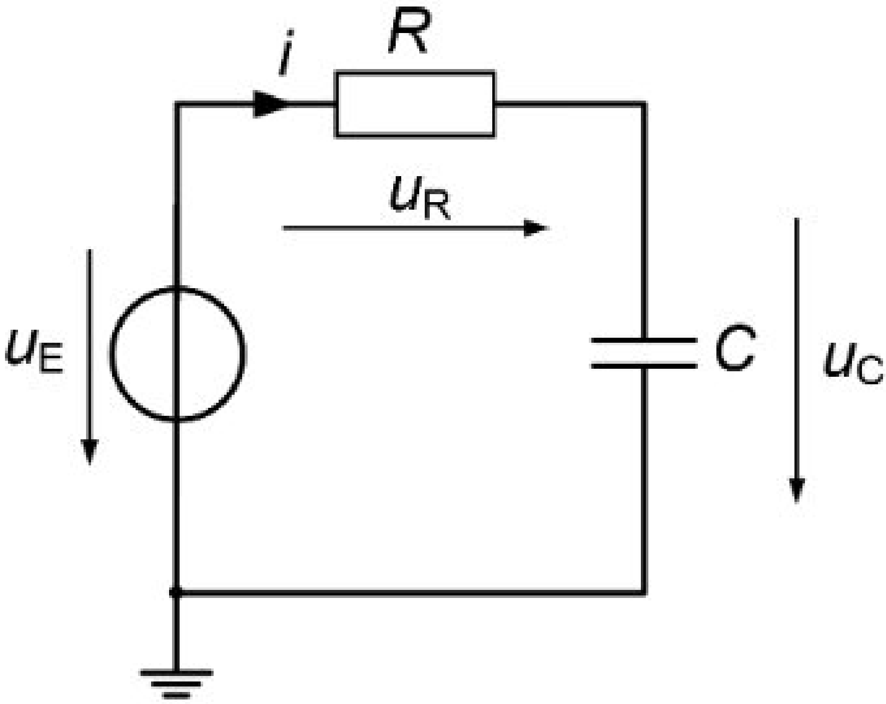

Abbildung 1: Die im Labor gebaute Schaltung [1]

- $R = 1\,\mathrm{k\Omega}$
- $C = 100\,\mathrm{nF}$
- $u_E \leftrightarrow Funktionsgenerator$

Der Funktionsgenerator würde auf Rechtecksspannung eingestellt mit Frequenz 1 kHz, Amplitude 5 V und Offset 2,5 V

Danach würde die Spannung am Kondensator (u_C) und die Eingangsspannung (u_E) zu bestimmten Zeitpunkten gemessen.

Als letztes würde die folgende Schaltung (Abbildung 2) in LTSpice simuliert und die simulierte Ergebnisse gespeichert.

3 Mess- und Rechenergebnisse

Die Messergebnisse vom Labor sind in der Tabelle (1) dargestellt. Die berechnete Werte sind in der zweiten Tabelle (2) zu finden.

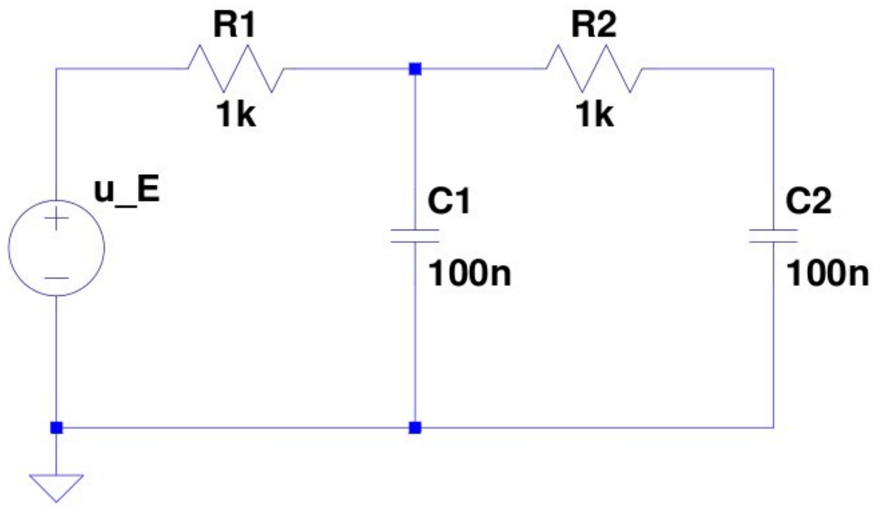

Abbildung 2: Die simulierte Schaltung [1]

Tabelle 1: Messergebnisse

Zeit s_{mess}	Zeit s_{tat}	Spannung U_{E}	Spannung. U_{C}
0,00 ms	0,00 ms	0,00 V	0,00 V
0,04 ms	0,04 ms	4,84 V	1,56 V
0,08 ms	0,08 ms	4,92 V	2,68 V
0,12 ms	0,12 ms	4,96 V	3,44 V
0,16 ms	0,16 ms	5,00 V	3,88 V
0,20 ms	0,20 ms	5,00 V	4,24 V
0,24 ms	0,24 ms	5,00 V	4,48 V
0,28 ms	0,28 ms	5,04 V	4,64 V
0,32 ms	0,32 ms	5,00 V	4,80 V
0,36 ms	0,36 ms	5,00 V	4,88 V
0,40 ms	0,40 ms	5,04 V	4,92 V
0,44 ms	0,44 ms	5,04 V	4,96 V
0,48 ms	0,48 ms	5,04 V	5,00 V
0,00 ms	0,50 ms	5,00 V	5,00 V
0,04 ms	0,54 ms	0,12 V	3,52 V
0,08 ms	0,58 ms	0,08 V	2,40 V
0,12 ms	0,62 ms	0,04 V	1,64 V
0,16 ms	0,66 ms	0,00 V	1,04 V
0,20 ms	0,70 ms	0,00 V	0,76 V
0,24 ms	0,74 ms	0,00 V	0,52 V
0,28 ms	0,78 ms	0,00 V	0,32 V
0,32 ms	0,82 ms	0,00 V	0,20 V
0,36 ms	0,86 ms	0,00 V	0,16 V
0,40 ms	0,90 ms	0,00 V	0,12 V
0,44 ms	0,94 ms	0,00 V	0,04 V
0,48 ms	0,98 ms	0,00 V	0,04 V

Tabelle 2: Berechnete Werte

Zeit s_{tat}	Spannung U_r	Strom I
0,00 ms	0,00 V	0,00 mA
0,04 ms	3,28 V	3,28 mA
0,08 ms	2,24 V	2,24 mA
0,12 ms	1,52 V	1,52 mA
0,16 ms	1,12 V	1,12 mA
0,20 ms	0,76 V	0,76 mA
0,24 ms	0,52 V	0,52 mA
0,28 ms	0,40 V	0,40 mA
0,32 ms	0,20 V	0,20 mA
0,36 ms	0,12 V	0,12 mA
0,40 ms	0,12 V	0,12 mA
0,44 ms	0,08 V	0,08 mA
0,48 ms	0,04 V	0,04 mA
0,50 ms	0,00 V	0,00 mA
0,54 ms	−3,40 V	−3,40 mA
0,58 ms	−2,32 V	−2,32 mA
0,62 ms	−1,60 V	−1,60 mA
0,66 ms	−1,04 V	−1,04 mA
0,70 ms	−0,76 V	−0,76 mA
0,74 ms	−0,52 V	−0,52 mA
0,78 ms	−0,32 V	−0,32 mA
0,82 ms	−0,20 V	−0,20 mA
0,86 ms	−0,16 V	−0,16 mA
0,90 ms	−0,12 V	−0,12 mA
0,94 ms	−0,04 V	−0,04 mA
0,98 ms	−0,04 V	−0,04 mA

4 Simulationsergebnisse

Die folgende Graphen (Abbildungen 3 und 4) stellen die simulierte Ergebnisse dar.

5 Interpretation

In Abbildung 5 sehen wir den Verlauf von den Spannungen am Kondensator und Widerstand in der im Labor gebauten Schaltung. Zwischen 0 ms und 0,5 ms beginnt der Kondensator sich aufzuladen. Da die Summe aus u_C und u_R, u_E ergeben müss, beginnt die Spannung am Widerstand zur gleichen Zeit zu fallen. Zum Zeitpunk 0,5 ms ist der Kondensator nun aufgeladen und dann verhält sich der Kondensator als Quelle und beginnt sich zu entladen.

Die simulierte und gemessene bzw. berechnete Ergebnisse weichen von einander ab. Das lässt sich ganz einfach erklären: die simulierte Schaltung hat zwei Kondensatoren in par-

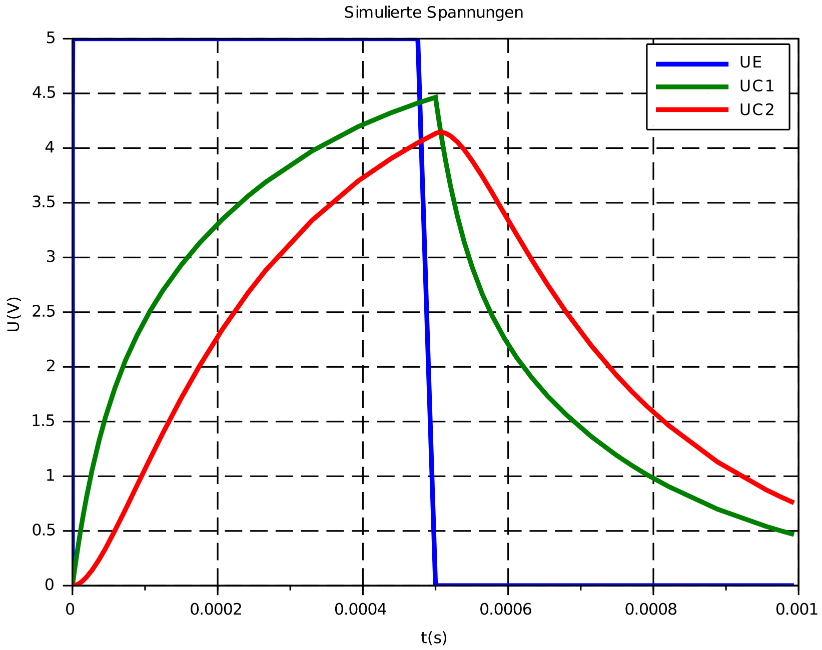

Abbildung 3: Die simulierte Spannungen

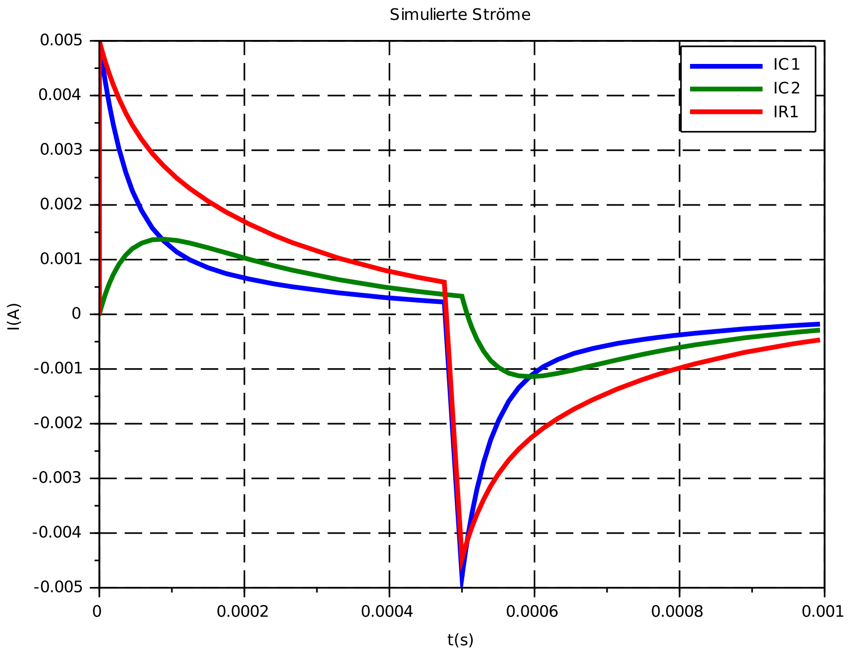

Abbildung 4: Die simulierte Ströme

allel geschaltet und die im Labor gebaute Schaltung nur einen. Also gilt:

$$\begin{aligned} c_{SIM} &= c_1 + c_2 \\ &= 200\,\mathrm{nF} \\ c_{LAB} &= c \\ &= 100\,\mathrm{nF} \end{aligned} \tag{10}$$

Die simulierte Schaltung hat also eine höhere Kapazität und braucht deshalb ein bisschen länger um aufzuladen (beide Kondensatoren müssen aufladen und das braucht länger als nur einen Kondensator aufzuladen). Das kann man sehe wenn man die Graphen Abbildung 3 und Abbildung 5 vergleicht. In Abbildung 5 beginnt die Spannung am Kondensator sofort nach die Änderung der Eingangsspannung zu fallen, aber in Abbildung 3 verzögert sich die Abnahme von den Spannungen.

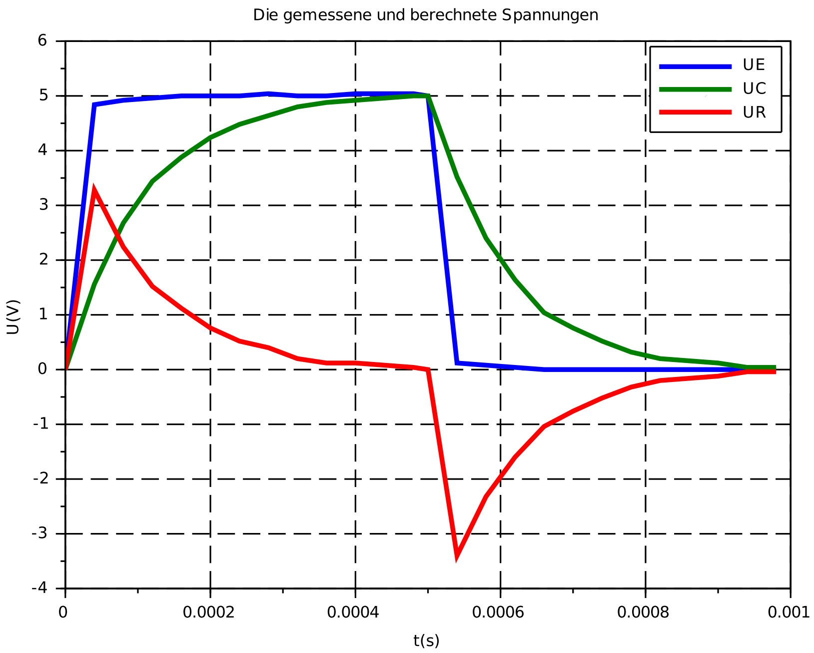

Abbildung 5: Die gemessene und berechnete Spannungen

Literatur

[1] Abbildung 1: Peter Teske, Christian Gornig, *Laborpraktikum 2: Ausgleichsvorgang 1. Ordnung,* 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.

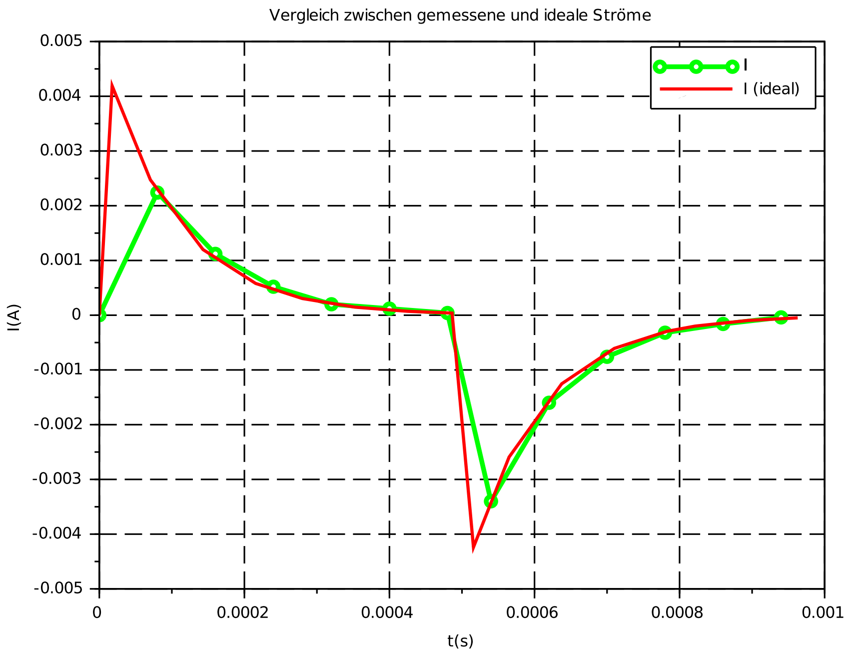

Abbildung 6: Vergleich zwischen Ströme (gemessen und ideal)