

Versuch Nr. 353

Das Relaxationsverhalten eines RC-Kreises

Antonia Joëlle Bock

antoniajoelle.bock@tu-dortmund.de

Rene-Marcel Lehner

rene.lehner@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.01.2020

Abgabe: 21.01.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie	3
1.1 Einleitung	3
1.2 Auf- und Entladen von Kondensatoren	3
2 Durchführung	3
3 Auswertung	3
3.1 Bestimmung der Zeitkonstanten	3
3.2 Frequenzabhängigkeit der Amplitude und der Phasenverschiebung	5
3.3 Der RC-Kreis als Integrator	7
4 Diskussion	8
Anhang: originale Messdaten	8

1 Theorie

1.1 Einleitung

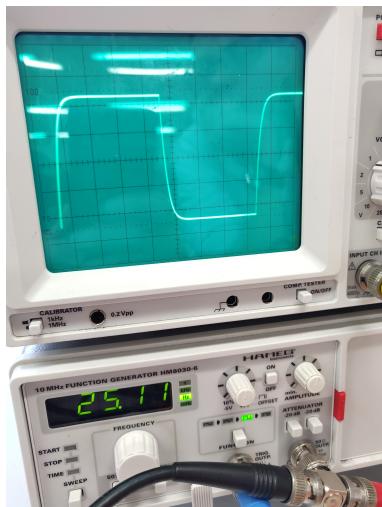
1.2 Auf- und Entladen von Kondensatoren

2 Durchführung

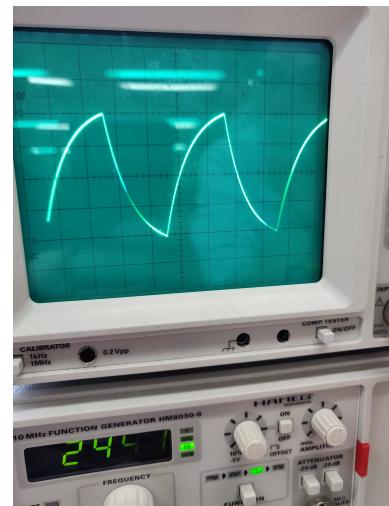
3 Auswertung

3.1 Bestimmung der Zeitkonstanten

Weil das vom Oszilloskop angezeigte Bild teilweise etwas flackerte, sind zur Aufnahme der Messwerte die in 1 gezeigten Fotos aufgenommen worden. Hierbei wird durch Abbildung a die Amplitude der Generatormspannung indirekt angezeigt: Bei niedriger Frequenz – hier 25,11 Hz – wird der Kondensator nahezu vollständig geladen und ebenso wieder entladen. Somit wird eine Generatormspannung von $U_0 = 4,8 \text{ V}$ abgelesen (gemäß der verwendeten Skalierung entspricht ein Kästchen einem Volt).



(a) Asymptotisch genäherte maximale Spannung des Kondensators.



(b) Zeitverlauf beim Auf- und Entladen.

Abbildung 1: Verwendete Fotos zur Aufnahme der Messwerte.

In b beläuft sich eine Periodendauer auf genau vier Kästchen auf der Zeitachse. Mit der Frequenz $f = 244,1 \text{ Hz}$ und $T = 1/f$ kann eine entsprechende Relation zwischen der Anzahl der Kästchen und der Zeit t hergestellt werden.

In Tabelle ?? sind die entsprechenden Messwerte aufgeführt, die für die folgende Ausgleichsrechnung verwendet werden. Wie in 1.2 geschildert, verhält sich die Spannung eines Kondensators beim Entladen gemäß

$$U_C(t) = U_0 \exp\left(-\frac{1}{RC}(t - B)\right). \quad (1)$$

Tabelle 1: Messwerte zur Bestimmung der Zeitkonstanten τ .

Anzahl Kästchen (Zeit)	$t / 10^{-3} \text{ s}$	U_C / V
-2,4	-2,458	4,35
-2,2	-2,253	3,2
-2,0	-2,048	2,6
-1,8	-1,843	2,0
-1,6	-1,638	1,6
-1,4	-1,434	1,2
-1,2	-1,229	0,9
-1,0	-1,024	0,7
-0,8	-0,819	0,55
-0,6	-0,614	0,48
-0,4	-0,410	0,35

Durch Ausgleichsrechnung mithilfe von *Python 3.7.3* werden die Konstanten A und B von der Gerade

$$(\ln U_C)(t) = \ln U_0 - \frac{1}{RC}(t - B) =: \ln U_0 - A(t - B) \quad (2)$$

bestimmt. B wird hier für die Verschiebung der Gerade benutzt, da bei $t = 0 \text{ s}$ der Kondensator im Experiment keine Spannung von U_0 erreicht.

$$y = a \cdot x + b \quad (3)$$

$$y \hat{=} \ln U_C, \quad x \hat{=} t, \quad (4)$$

$$a \hat{=} -A = -\frac{1}{RC} = -\frac{1}{\tau}, \quad b \hat{=} \ln U_0 + B \cdot A = \ln U_0 + B \cdot \frac{1}{RC} \quad (5)$$

$$\Rightarrow \tau = RC = \frac{1}{A} = (0,82 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ s}, \quad B = (-2,56 \pm 0,05) \cdot 10^{-3} \text{ s} \quad (6)$$

Die Messwerte inklusive der Geraden (2) sind in 2 mit der entsprechenden Achsenkalierung aufgetragen.

Dem aus dem Experiment bestimmten Wert für die Zeitkonstante τ kann der theoretisch zu erwartende Wert gegenüber gestellt werden. Die Referenzbauteile haben die Kenngrößen $R = (15,058 \pm 0,600) \text{ k}\Omega$ und $C = 93,3 \text{ nF}$. Daraus ergibt sich die theoretische Zeitkonstante zu $\tau_{\text{theo}} = (1,405 \pm 0,056) \text{ ms}$.

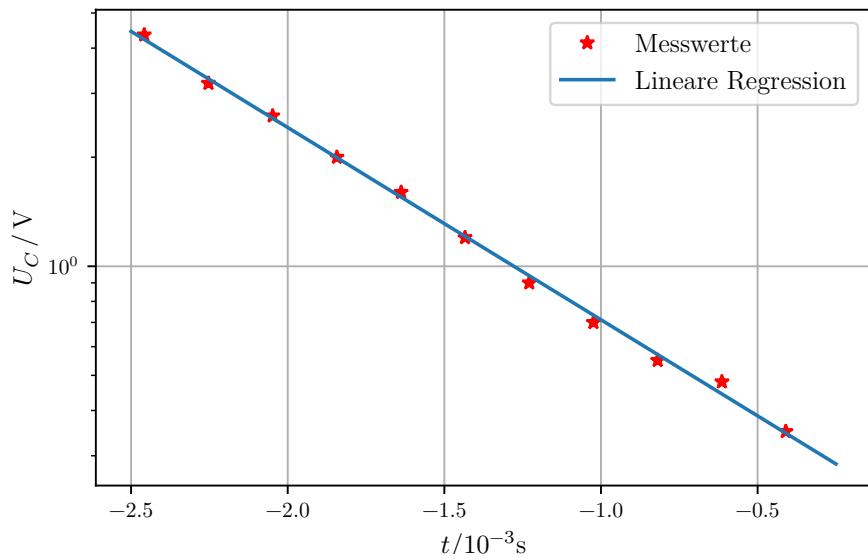


Abbildung 2: Die Messwerte und die zugehörige Ausgleichsgerade der ersten Messung.

3.2 Frequenzabhängigkeit der Amplitude und der Phasenverschiebung

Tabelle 2: Messung in der kleinsten Größenordnung.

f / Hz	U / V	$\Delta\phi$ / π
15,25	2,50	0,035
20,50	2,50	0,037
23,25	2,50	0,050
26,65	2,50	0,047
30,20	2,50	0,051
39,50	2,45	0,067
45,40	2,50	0,077
57,25	2,40	0,092
63,50	2,40	0,098
71,40	2,39	0,112
76,20	2,36	0,120
80,40	2,34	0,127
85,60	2,30	0,132
92,60	2,24	0,143
99,90	2,22	0,151
108,2	2,20	0,157
112,1	2,18	0,169
121,7	2,12	0,179
125,0	2,10	0,187
131,3	2,09	0,193

Tabelle 3: Messungen in den beiden größeren Größenordnungen.

f / Hz	U / V	$\Delta\phi$ / π	f / Hz	U / V	$\Delta\phi$ / π
184,8	1,82	0,243	699	0,68	0,400
216,8	1,68	0,265	791	0,60	0,413
250,0	1,58	0,256	892	0,55	0,415
284,0	1,42	0,296	1020	0,48	0,422
310,8	1,35	0,300	1111	0,43	0,423
347,5	1,23	0,337	1222	0,40	0,421
378,6	1,16	0,340	1333	0,38	0,429
414,1	1,08	0,365	1444	0,35	0,426
442,7	1,01	0,353	1555	0,32	0,436
476,2	0,97	0,354	1666	0,29	0,432
507,7	0,92	0,362	1777	0,25	0,446
531,5	0,88	0,366	1888	0,23	0,436
556,6	0,85	0,369	1999	0,22	0,424
599,0	0,80	0,385	2112	0,21	0,432
			5701	0,07	0,438

3.3 Der RC-Kreis als Integrator

Dieser Part ist wie in 2 beschrieben durchgeführt worden. Dafür wird wegen der in 1 erläuterten analytischen Zusammenhänge eine möglichst hohe Frequenz eingestellt, damit der RC-Kreis die Generatorenspannung um $\pi/2$ versetzt auf dem Oszilloskop ausgeben kann. Das Ergebnis auf dem Oszilloskop ist erneut mit der Kamera festgehalten, wie aus den Abbildungen 3 und 4 a, b ersichtlich ist.

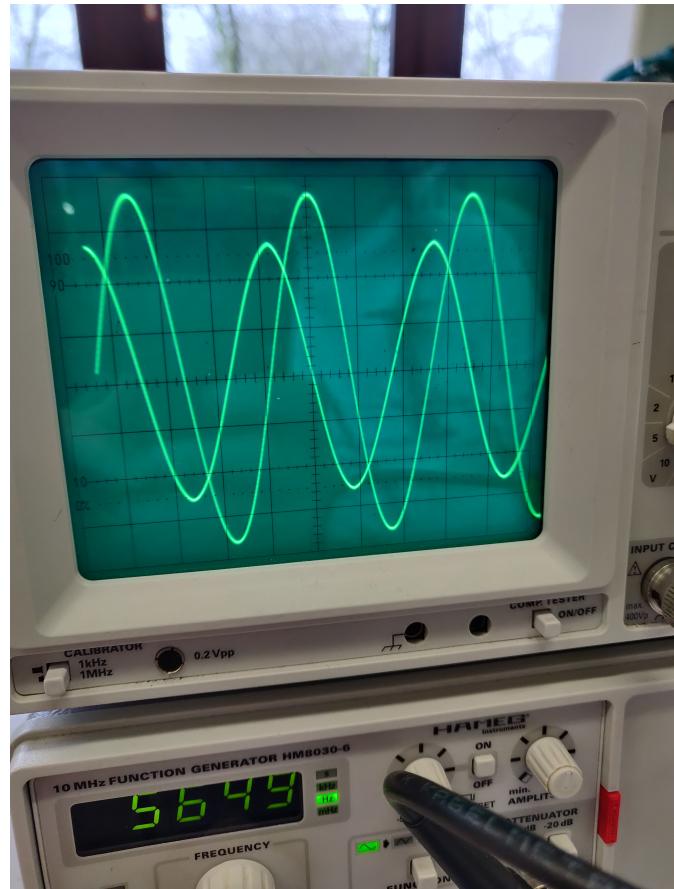
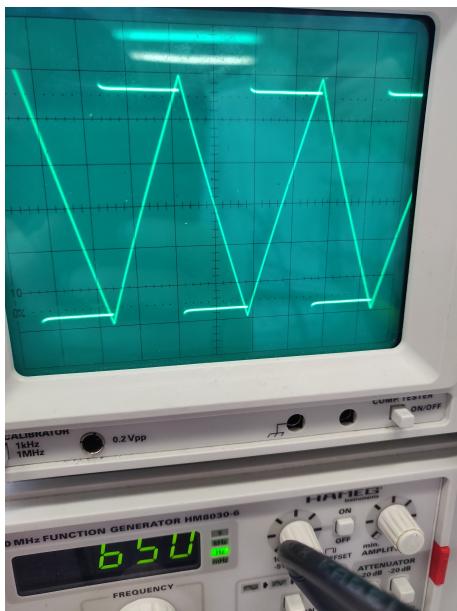
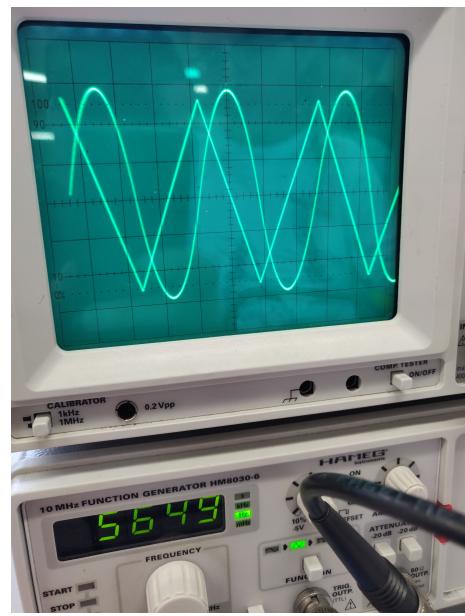


Abbildung 3: Die integrierte Spannung einer Sinusspannung.



- (a) Die integrierte Spannung einer Rechtecksspannung.



- (b) Die integrierte Spannung einer Dreiecksspannung.

Abbildung 4: Die Rechtecks- und Dreicksspannung.

4 Diskussion

Anhang: originale Messdaten

14.01.20

(353) RC-Kreis

a) $f \sim 13 \text{ MHz}$ zum Ground
 $\frac{f}{f_0} = 57,4 \text{ Hz} \rightarrow$ Ablesen der Skala anhand des Fotos

b,c) 1 Kästchen auf dem Oszilloskop $\hat{\equiv} 1.9$

$n \hat{\equiv} \# \text{ Kästchen}$

$f \text{ in Hz}$	n Kondensator	n Generator	Phasenunterschied $\Delta\phi$
45,4	2,5	2,7	$3/3 \pi$
39,5	2,45	2,7	$2/5 \pi$
30,2	2,15	2,7	$3/5 \pi$
15,25	2,5	2,7	$3/5 \pi$
20,5	2,5	2,7	$5/13 \pi$
23,25	2,5	2,7	$1/20 \pi$
26,65	2,5	2,7	$5/106 \pi$
57,25	2,4	2,7	$23/305 \pi$
63,5	2,4	2,7	$2/275 \pi$
71,4	2,39	2,7	$13/98 \pi$
76,2	2,36	2,7	$55/458 \pi$
80,4	2,34	2,7	$20/157 \pi$
85,6	2,3	2,7	$39/285 \pi$
92,6	2,24	2,7	$31/272 \pi$
99,9	2,22	2,7	$38/251 \pi$
108,2	2,2	2,7	$9/121 \pi$
112,1	2,18	2,7	$61/1242 \pi$
121,7	2,12	2,7	$23/51 \pi$
125,0	2,1	2,7	$55/294 \pi$
131,3	2,09	2,7	$29/150 \pi$
134,8	2,02	2,7	$24/103 \pi$
146,8	1,68	2,7	$39/463 \pi$
150,0	1,58	2,7	$4/39 \pi$
284,5	1,42	2,7	$9/62 \pi$
340,8	1,35	2,7	$3/10 \pi$
347,5	1,23	2,7	$39/188 \pi$
378,6	1,16	2,7	$55/162 \pi$
414,1	1,08	2,7	$27/14 \pi$
442,7	1,01	2,7	$49/39 \pi$
476,2	0,97	2,7	$23/65 \pi$
507,2	0,92	2,7	$89/243 \pi$
538,5	0,88	2,7	$83/132 \pi$
556,6	0,85	2,7	$41/144 \pi$
579	0,8	2,7	$27/105 \pi$
679	0,68	2,5	$2/5 \pi$
711	0,6	2,5	$64/155 \pi$
871	0,35	2,5	$27/15 \pi$
1010	0,48	2,5	$11/45 \pi$
1111	0,43	2,5	$-1/24 \pi$
1122	0,4	2,5	$8/19 \pi$
1588	0,38	2,5	$3/7 \pi$
1644	0,35	2,5	$23/54 \pi$
1555	0,32	2,5	$65/149 \pi$
1666	0,29	2,5	$65/149 \pi$
1777	0,25	2,5	$29/65 \pi$
1888	0,23	2,5	$75/162 \pi$
1999	0,22	2,5	$24/133 \pi$
2442	0,21	2,5	$63/185 \pi$

S. Neuhaus

Abbildung 5: Die originalen Messdaten.