

V353

Das Relaxationsverhalten eines RC-Kreises

Jan Lukas Schubert
jan-lukas.schubert@tu-dortmund.de

Jan Lukas Späh
janlukas.spah@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.11.17

Abgabe: 21.11.17

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	5
4	Fehlerrechnung	7
5	Auswertung	8
5.1	Bestimmung der Zeitkonstante durch die Entladung eines Kondensators .	8
5.2	Bestimmung der Zeitkonstante durch Beachtung von Frequenzabhängigkeiten	9
5.2.1	Analyse der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung . . .	11
5.2.2	Analyse der Frequenzabhängigkeit der Phasenverschiebung	12
5.3	Der RC-Kreis als Integrator	14
6	Diskussion	16
	Literatur	18

1 Ziel

Ziel dieses Versuchs ist die Ermittlung der Zeitkonstante RC eines RC-Glieds. Diese ist zum Einen direkt über den Auf- oder Entladevorgang eines Kondensators, dann über die Frequenzabhängigkeit der Amplitude der Spannung an einem Kondensator und zuletzt durch Beachtung der Phasenverschiebung zwischen anliegender Wechsel- und resultierender Kondensatorspannung zu bestimmen. Die verschiedenen Verfahren sollen verglichen werden. Außerdem ist die Abhängigkeit der Relativamplitude von der Phase des Wechselstroms in einem Polarkoordinatensystem zu veranschaulichen. Auch ist zu zeigen, dass es unter Verwendung eines RC-Glieds möglich ist, Spannungen zu integrieren.

2 Theorie

In diesem Versuch werden Relaxationsvorgänge betrachtet. Bei einer Relaxation kehrt ein zuvor gestörtes System nicht-oszillatorisch in seinen Gleichgewichtszustand zurück. Das System verfügt über eine charakteristische Größe A . Ist es linear, so folgt die Änderungsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt t der Gleichung

$$\frac{dA}{dt}(t) = c[A(t) - A(t \rightarrow \infty)]. \quad (1)$$

Dabei ist $A(t \rightarrow \infty)$ der nur asymptotisch erreichbare Wert der Größe A im Gleichgewichtszustand, c ist eine Konstante größer Null, sodass A beschränkt bleibt. Wird (1) nach der Zeit integriert, ergibt sich für A die exponentielle Zuordnung

$$A(t) = A(t \rightarrow \infty) + [A(0) - A(t \rightarrow \infty)] \exp(ct). \quad (2)$$

Die in diesem Versuch untersuchten Relaxationsvorgänge sind der Auf- und Entladevorgang eines Kondensators über einen Widerstand. Der Schaltplan hierzu ist in 1 zu sehen.

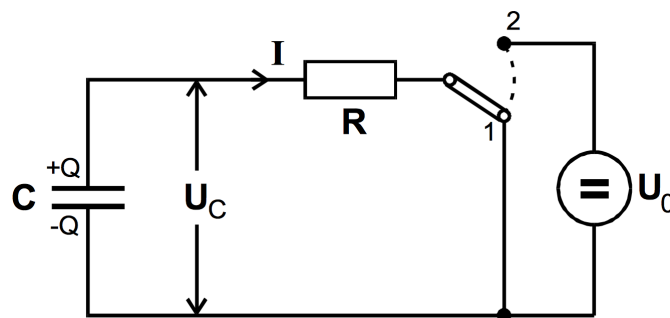


Abbildung 1: Beispielhafte Schaltung zur Auf- und Entladung eines Kondensators über einen Widerstand unter Verwendung von Gleichspannung [1]

Stets liegt auf den Kondensatorplatten zum Zeitpunkt t eine Ladung $Q(t)$. Für die am Kondensator anliegende Spannung U_C gilt dann

$$U_C = Q/C, \quad (3)$$

wobei C die Kapazität des Kondensators ist. Da der Kondensator mit dem Widerstand in Reihe geschaltet ist, bewirkt die am Kondensator abfallende Spannung U_C gemäß dem Ohmschen Gesetz den Strom

$$I = U_C/R. \quad (4)$$

Zusammen mit der Beziehung $\dot{Q} = -I$ lässt sich eine zu (1) analoge Differentialgleichung für $Q(t)$ mit der asymptotischen Randbedingung $Q(t \rightarrow \infty) = 0$, da es sich um einen Entladevorgang handelt, aufstellen. Die Lösung dieser ist

$$Q(t) = Q(0) \exp(-t/\tau) \quad (5)$$

mit der Zeitkonstanten $\tau := RC$ des RC-Glieds. Da bei einem Kondensator die Spannung $U_C(t)$ proportional zur Ladung $Q(t)$ auf den Kondensatorplatten ist, wird analog zu (5) die Kondensatorspannung der Zuordnung

$$U_C(t) = U_C(0) \exp(-t/\tau) \quad (6)$$

folgen.

Wird an das RC-Glied eine Spannung $U_G = U_0 \cos(\omega t)$ angelegt, deren Frequenz klein gegen $1/RC$ ist, so folgt der Spannungsverlauf am Kondensator dem der Quelle. Wird die Frequenz jedoch erhöht, so stellt sich eine Phasenverschiebung zwischen Generatorspannung U_G und der Spannung U_C am Kondensator ein, bei der die Generatorspannung der Spannung am Kondensator vorausläuft. Zudem nimmt die Amplitude der Spannung am Kondensator ab, da der Kondensator in einer Periodendauer nicht mehr vollständig geladen werden kann. Ein Schaltplan hierzu findet sich in 2.

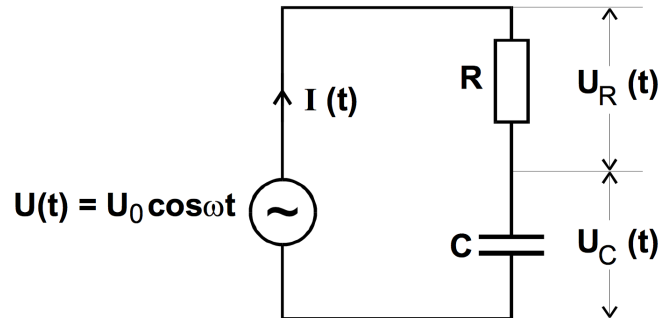


Abbildung 2: Beispielhafte Schaltung zur Auf- und Entladung eines Kondensators über einen Widerstand unter Verwendung von Wechselspannung [1]

Um eine Lösung für die Phasenverschiebung zu erhalten, wird der Ansatz

$$U_C(t) = A(\omega) \cos(\omega t + \phi(\omega)) \quad (7)$$

gewählt. Dieser lässt sich mithilfe der Kirchhoff'schen Regeln und der Beziehung

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU_C}{dt} \quad (8)$$

zur Formel für die Frequenzabhängigkeit der Phase ϕ umformen. Es ergibt sich die Beziehung

$$\phi(\omega) = \arctan(-\omega RC) . \quad (9)$$

Der Wert der Phasenverschiebung entspricht dem Betrag dieses Ausdrucks. Sie geht also für kleine Frequenzen gegen 0 und für große Frequenzen gegen $\pi/2$. Für $\omega = 1/RC$ nimmt sie den Wert $\pi/4$ an. Durch einige weitere Überlegungen lässt sich

$$A(\omega) = -\frac{\sin(\phi)}{\omega RC} U_0 \quad (10)$$

herleiten. Hieraus ergibt sich dann durch weitere Umformung für die Amplitude in Abhängigkeit von der Frequenz

$$A(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} , \quad (11)$$

wobei U_0 die Amplitude der Generatorspannung U_G und A die Amplitude der Spannung U_C am Kondensator ist. Man kann erkennen, dass die Amplitude am Kondensator für kleine ω gegen U_0 geht und mit steigendem ω sinkt. Für $\omega = 1/RC$ nimmt sie den Wert $\frac{U_0}{\sqrt{2}}$ an.

Werden an das RC-Glied Wechselspannungen mit sehr hoher Frequenz angelegt, so kann am Kondensator eine zu $\int U(t) dt$ proportionale Spannung beobachtet werden. Bei hohen Frequenzen gilt $|U_C| \ll |U_R|$ und $|U_C| \ll |U|$. Somit ergibt sich näherungsweise aus den Kirchhoff'schen Gesetzen mit einigen Umformungen

$$U(t) = RC \frac{dU_C}{dt} \quad (12)$$

$$U_C(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t U(t') dt' . \quad (13)$$

3 Durchführung

Zunächst soll die Zeitkonstante eines RC-Gliedes durch die Beobachtung und Auswertung der Spannung am Kondensator bestimmt werden. Dafür wird die in Abbildung 3 gezeigte Schaltung verwendet. An das RC-Glied wird dabei eine Rechteckspannung angelegt. Die Spannung U_C am Kondensator wird abgegriffen und auf dem Oszilloskop so dargestellt, dass eine abfallende Flanke möglichst genau zu erkennen ist. Danach wird ein Bild des Graphen erstellt, aus dem Wertepaare für die Spannung U und die Zeit t abgelesen werden können.

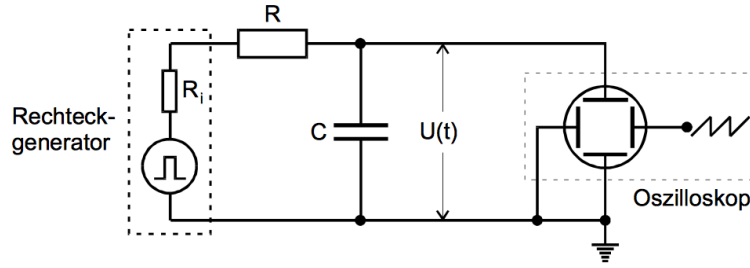


Abbildung 3: Schaltung zur Bestimmung der Zeitkonstante eines RC-Gliedes über die Beobachtung und Auswertung der Kondensatorspannung [1]

Zur Bestimmung der Zeitkonstante des RC-Gliedes über die Messung der Amplitude A in Abhängigkeit von der Frequenz f , wird eine sinusförmige Wechselspannung an das RC-Glied angelegt. Mithilfe eines Multimeters kann dann die Amplitude A der Spannung am Kondensator gemessen werden. Der Aufbau kann in Abbildung 4 näher betrachtet werden. Nun wird die Amplitude von U_C für verschiedene Frequenzen über drei Größenordnungen hinweg gemessen. Zum Schluss sollte noch überprüft werden, ob die angelegte Spannung eine konstante Amplitude hat.

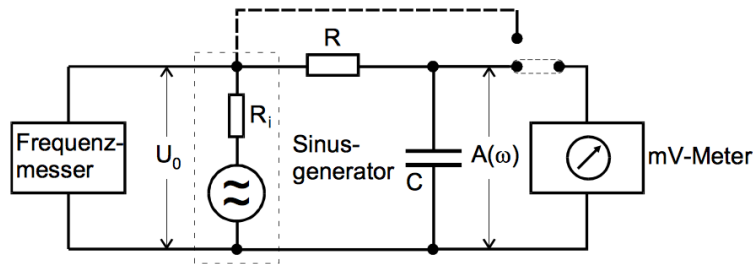


Abbildung 4: Schaltung zur Bestimmung der Zeitkonstante eines RC-Gliedes über die Messung der Amplitude in Abhängigkeit von der Frequenz [1]

Bei der Bestimmung der Zeitkonstanten des RC-Gliedes über die Messung der Phasenverschiebung von der Generatorspannung U_G und der Spannung U_C am Kondensator muss zunächst eine sinusförmige Spannung an das RC-Glied angelegt werden. Auf dem Oszilloskop werden beide Spannungen dargestellt. Dies lässt sich mit der in Abbildung 5 gezeigten Schaltung realisieren. Für die gleichen Frequenzen wie bei der vorherigen Methode wird der zeitliche Unterschied a der Nulldurchgänge der beiden Graphen gemäß Abbildung 6 gemessen. Die Phasenverschiebung entspricht dann

$$\phi = \frac{a}{b} 2\pi. \quad (14)$$

Um zu zeigen, dass das RC-Glied auch als Integrator dienen kann, muss eine Spannung mit einer sehr hohen Frequenz an das RC-Glied angelegt werden. Auf dem Oszilloskop werden die Spannung U_G des Generators und die am Kondensator abgegriffene Spannung U_C

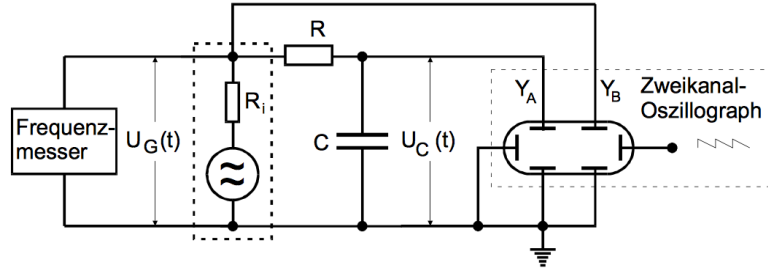


Abbildung 5: Schaltung zur Bestimmung der Zeitkonstante eines RC-Gliedes über die Messung der Phasenverschiebung in Abhängigkeit von der Frequenz [1]

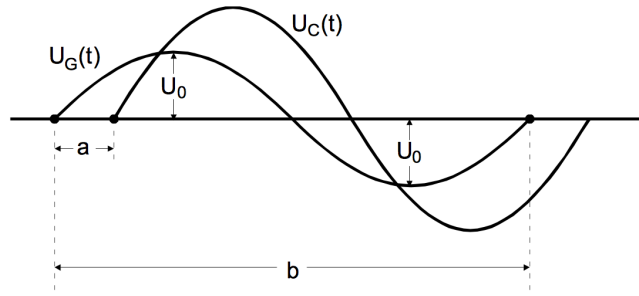


Abbildung 6: Skizze zur Bestimmung der Phasenverschiebung [1]

dargestellt. Es kann erneut die Schaltung aus Abbildung 5 verwendet werden. Es sollen drei verschiedene Spannungsmuster dargestellt werden: Sinusspannung, Sägezahnspannung und Rechteckspannung. Für jede Spannung wird ein Bild der Graphen erstellt.

4 Fehlerrechnung

Der Mittelwert einer Stichprobe von N Werten wird durch

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N x_i \quad (15)$$

berechnet. Die empirische Standardabweichung dieser Stichprobe ist durch

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

gegeben. Ist f eine Funktion, die von unsicheren Variablen x_i mit Standardabweichungen σ_i abhängt, so ist die Unsicherheit von f

$$\sigma_f = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \sigma_i \right)^2}. \quad (17)$$

Diese Formel bezeichnet man als "Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz".

Bei einer linearen Regression folgt eine Ausgleichsgerade

$$y(x) = ax + b \quad (18)$$

mit der Steigung a und dem Ordinatenabschnitt b . Liegen Fehler in y-Richtung und nur in y-Richtung vor, dann sind die Parameter a und b selbst unsicher und ergeben sich zu

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}, \quad (19)$$

$$b = \frac{\bar{y} - \bar{x}^2 - \overline{xy} \cdot \bar{x}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}. \quad (20)$$

Wenn im Folgenden Mittelwerte, Standardabweichungen und Fehler von Funktionen unsicherer Größen berechnet werden, so werden stets die obigen Formeln verwendet. Lineare Regressionen werden mit IPython 5.3.0 in Python 3.6.1 durchgeführt.

5 Auswertung

5.1 Bestimmung der Zeitkonstante durch die Entladung eines Kondensators

Es wurde eine Entladekurve des Kondensators durch das Oszilloskop aufgenommen, die in Abbildung 7 zu sehen ist.

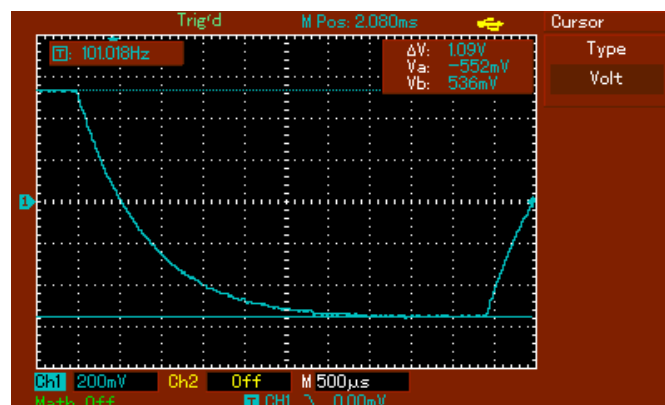


Abbildung 7: Entladekurve des Kondensators

Die daraus entnommenen Wertepaare sind in Tabelle 1 zu finden.

Die anliegende Generatorspannung U_0 ist hierbei näherungsweise der Spannungsabfall am Kondensator $U_C(0)$, da der betrachtete Zeitraum hinreichend lang ist, um von einer

Tabelle 1: Messdaten zur Entladung des Kondensators über den Widerstand

$U_C(t)/\text{mV}$	t/ms
1088	0
560	0.5
304	1
152	1.5
80	2
36	2.5
8	3
4	3.5
2	4

fast vollständigen Entladung auszugehen. Nach Teilen durch $U_C(0)$ und Logarithmieren von (6) folgt¹

$$\ln\left(\frac{U_C(t)}{U_0}\right) = -\frac{t}{\tau}. \quad (21)$$

Die graphische Darstellung der Messwerte und die Ausgleichsgerade ist in Abbildung 8 zu sehen. Die Ausgleichsgerade folgt allgemein (18), sodass die Steigung der Ausgleichsgerade a mit der Zeitkonstanten τ des RC-Gliedes in dem Zusammenhang $a = -1/\tau$ steht. Hier lässt sich a zu

$$a = (-1,62 \pm 0,07) \frac{1}{\text{ms}} \quad (22)$$

berechnen und für die nach dem ersten Messverfahren ermittelte Zeitkonstante ² folgt dann

$$\tau_1 = (0,616 \pm 0,027) \text{ ms}. \quad (23)$$

Dabei beträgt die relative Unsicherheit 4.38%.

5.2 Bestimmung der Zeitkonstante durch Beachtung von Frequenzabhängigkeiten

Die Messdaten für die eingestellte Frequenz f , die Kondensatorspannung U_C und die Differenz a zwischen den Nulldurchgängen von Generatorspannung und Kondensatorspannung können Tabelle 2 entnommen werden. Es wurde auch bereits die Phasenverschiebung ϕ aus a und f mithilfe von (14) berechnet.

¹Entgegen der Versuchsanleitung wird eine lineare Ausgleichsrechnung mit bezüglich $U_C(0)$ normierten Spannungswerten durchgeführt, da es nicht möglich ist, dimensionsbehaftete Größen zu logarithmieren.

²Es gilt hierbei die Konvention, dass in allgemeinen Formeln ohne Index notiert wird. Wird die Ausgleichsrechnung durchgeführt und der Parameter konkret ermittelt, wird er durchnummeriert.

Tabelle 2: Messdaten zur Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung und der Phasenverschiebung

f/Hz	$U_C(f)/mV$	a/ms	$\phi/grad$
20	492.30	1.12	8.06
30	490.85	1.00	10.80
40	487.05	0.92	13.25
50	482.15	0.80	14.40
60	475.17	0.78	16.85
70	469.05	0.78	19.56
80	461.20	0.76	21.89
90	452.80	0.75	24.36
100	442.15	0.74	26.78
150	393.80	0.68	36.72
200	347.30	0.62	44.93
300	273.00	0.54	57.89
400	220.20	0.46	65.66
500	183.00	0.38	68.40
600	155.70	0.33	71.71
700	135.60	0.3	74.59
800	119.80	0.27	77.18
900	107.30	0.24	77.76
1000	97.00	0.22	79.20
1500	65.50	0.15	83.16
2000	49.35	0.12	84.96
3000	33.06	0.08	86.40
4000	24.88	0.06	86.40
5000	19.96	0.05	89.28

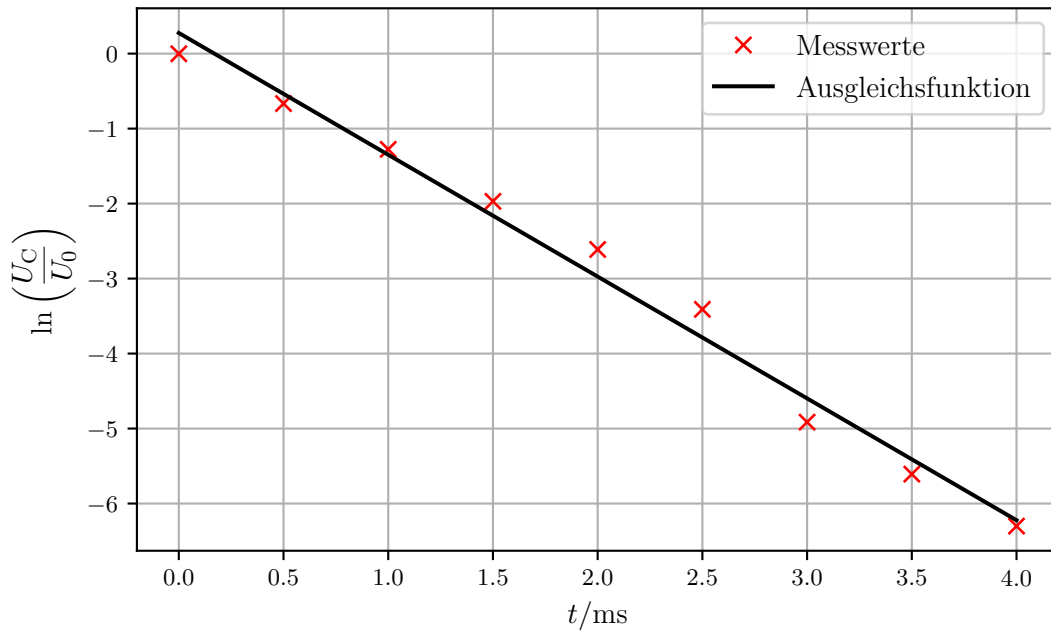


Abbildung 8: Auftragung von $\ln\left(\frac{U_C}{U_0}\right)$ gegen t und Graph der Ausgleichsfunktion

5.2.1 Analyse der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung

Nach (11) ist die Amplitude der Kondensatorspannung $A(f)$ frequenzabhängig. Es wird eine nicht lineare Ausgleichsrechnung einer normierten Amplitude $A(f)/U_0$ mit der frequenzunabhängigen Generatorspannung U_0 durchgeführt. Stets ist für die Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ zu beachten. Dabei gilt für die Ausgleichsfunktion

$$\frac{A(f)}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi d f)^2}}, \quad (24)$$

wobei für den Parameter $d = \tau$ gilt. Die Auftragung der Messwerte aus Tabelle 2 und der Graph der Ausgleichsfunktion ist in Abbildung 9 zu sehen. Die f-Achse ist logarithmisch skaliert.

Für die konkrete zu den Messwerten gehörige Ausgleichsfunktion ergibt sich für den Wert der Zeitkonstanten mit dem zweiten Verfahren

$$d = \tau_2 = (0,829 \pm 0,006) \text{ ms} \quad (25)$$

mit einer relativen Unsicherheit von 0.72%.

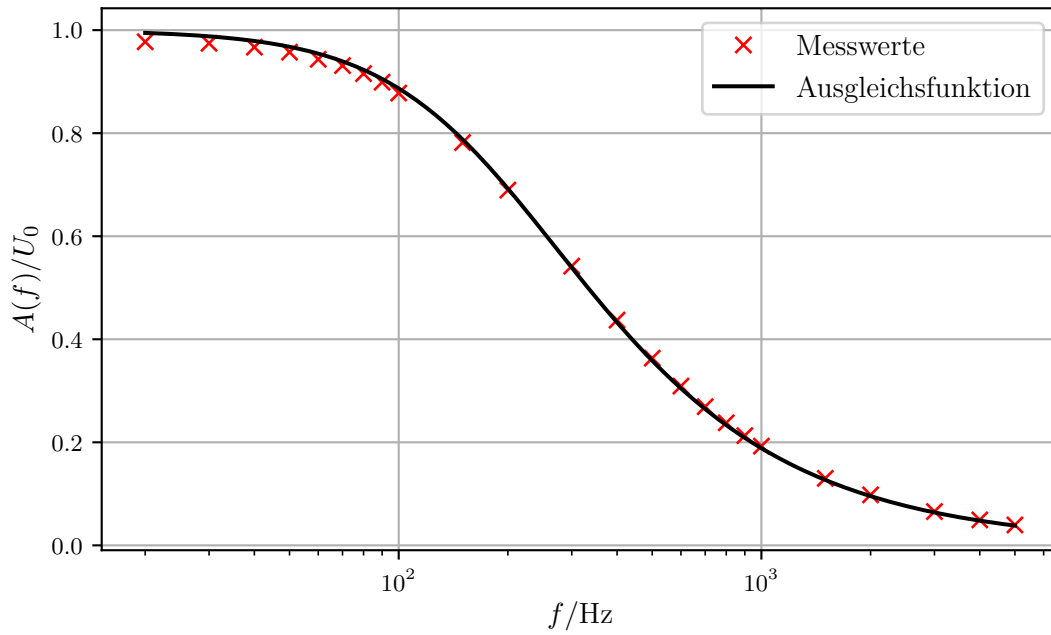


Abbildung 9: Auftragung von $A(f)/U_0$ gegen f und Graph der Ausgleichsfunktion

5.2.2 Analyse der Frequenzabhängigkeit der Phasenverschiebung

Auch die Phasenverschiebung zwischen Kondensatorsspannung und Generatorspannung ϕ ist frequenzabhängig, wie an (9) ersichtlich ist. Erneut wird eine Ausgleichsrechnung für die Messwerte aus Tabelle 2 durchgeführt. Die Ausgleichsfunktion ist hierbei

$$\phi(f) = \arctan(2\pi e f). \quad (26)$$

Dabei ist der Parameter $e = \tau$. Die Messwerte und der Graph der Ausgleichsfunktion finden sich in Abbildung 10.

Der Parameter der Ausgleichsfunktion und damit auch der Wert für die Zeitkonstante gemäß des dritten Verfahrens ergibt sich hier zu

$$e = \tau_3 = (0,822 \pm 0,010) \text{ ms} \quad (27)$$

mit einer relativen Unsicherheit von 1,22%.

Nun wird der Zusammenhang zwischen der Amplitude der Kondensatorspannung und der Phasenverschiebung betrachtet. Es kann (9) umgestellt werden zu zu

$$\frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi)} = -\omega\tau. \quad (28)$$

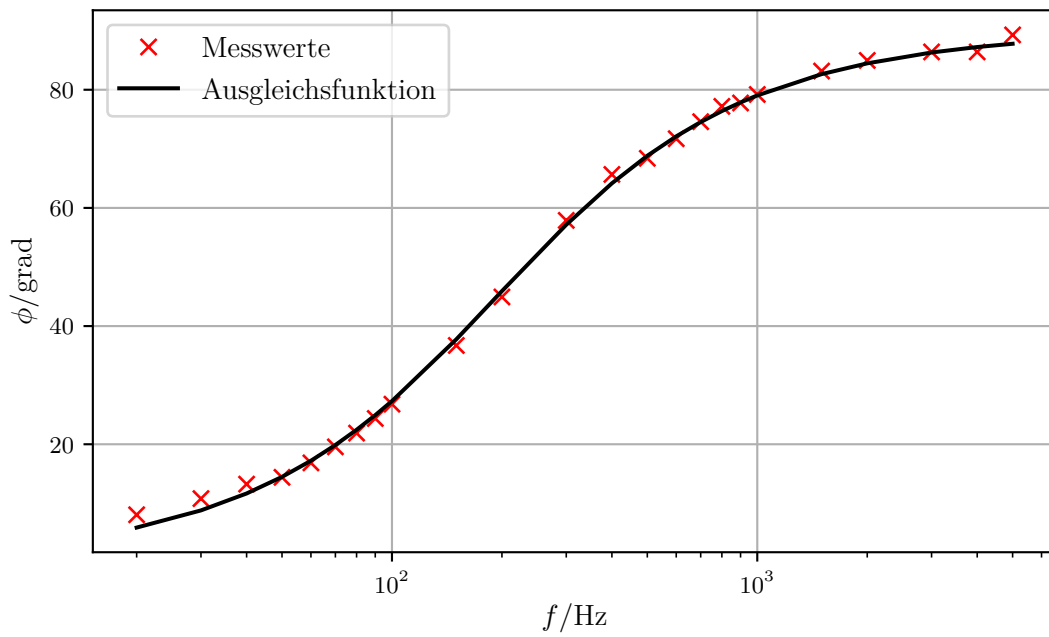


Abbildung 10: Auftragung von $\phi(f)$ gegen f und Graph der Ausgleichsfunktion

Wird dieses Ergebnis in (10) eingesetzt, so ergibt sich für die Abhängigkeit der normierten Amplitude $A(\phi)/U_0$ von der Phasenverschiebung ϕ der Zusammenhang

$$\frac{A(\phi)}{U_0} = \cos(\phi) . \quad (29)$$

Dieser wird hier für die vorliegenden Messwerte in Abbildung 11 in einem Polarkoordinatensystem veranschaulicht. Die Theoriekurve ist ebenso eingezeichnet.

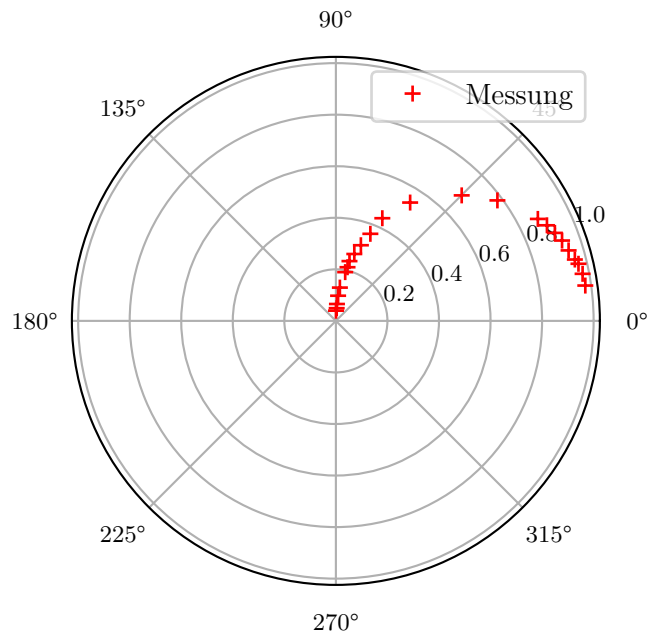


Abbildung 11: Veranschaulichung der Abhängigkeit der normierten Amplitude $A(\phi)/U_0$ von der gemessenen Phasenverschiebung

5.3 Der RC-Kreis als Integrator

Für hohe angelegte Frequenzen sollte der RC-Kreis die angelegte Spannung integrieren. Das bedeutet, dass der Graph der am Kondensator gemessenen Spannung dem Graphen der Stammfunktion der angelegten Generatorspannung entsprechen sollte. In diesem Versuchsteil wurde für alle angelegten Spannungen die Frequenz $f = 191.8 \text{ kHz}$ gewählt. Die erste an den RC-Kreis angelegte Spannung ist eine Rechteckspannung. Die Stammfunktion zu dieser sollte gleichmäßig ansteigende Flanken dort haben, wo die Rechteckspannung positiv ist und gleichmäßig abfallende Flanken dort, wo die Rechteckspannung negativ ist. Es gilt der Zusammenhang

$$f(x) = \begin{cases} c & 0 < x \leq a \\ -c & a < x \leq 2a \end{cases} \quad F(x) = \begin{cases} cx & 0 < x \leq a \\ -cx & a < x \leq 2a \end{cases} \quad (30)$$

Dabei beschreibt c eine beliebige Konstante und der Parameter a legt den Gültigkeitsbereich der Funktionen fest. a ist dabei so gewählt, dass genau nach der Zeitspanne a die Spannung gewechselt wird. Genau dieses Verhalten ist in 12 zu sehen. Der blaue Graph beschreibt dabei die an das RC-Glied angelegte Spannung und der gelbe Graph die am Kondensator abgegriffene Spannung.

Wird an das RC-Glied eine Sägezahnspannung angelegt, so sollte die am Kondensator abgegriffene Spannung eine sich periodisch wiederholende Funktion beschreiben, die

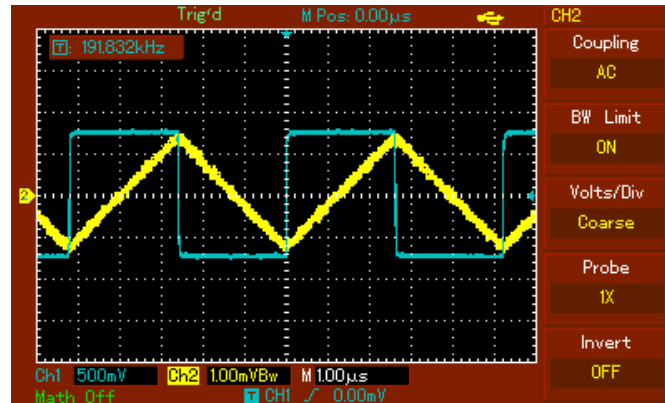


Abbildung 12: Graphen der Generatorspannung und der Spannung am Kondensator bei angelegter Rechteckspannung

Extrema an den Nullstellen sowie Wendepunkten an den Extrema des Graphen der Generatorspannung besitzt. Es gilt

$$f(x) = \begin{cases} cx & -a < x \leq a \\ -cx & a < x \leq 3a \end{cases} \quad F(x) = \begin{cases} \frac{c}{2}x^2 & -a < x \leq a \\ -\frac{c}{2}x^2 & a < x \leq 3a \end{cases} \quad (31)$$

Dabei ist c erneut eine beliebige Konstante und a legt den Gültigkeitsbereich der Funktionen fest. a ist dabei so gewählt, dass eine Flanke genau über die Zeitspanne $2a$ ansteigt bzw. abfällt. Die Graphen der Messung 13 erfüllen diesen Zusammenhang. Der blaue Graph beschreibt erneut den Verlauf der angelegten Generatorspannung und der gelbe Graph den Verlauf der am Kondensator abgegriffenen Spannung.

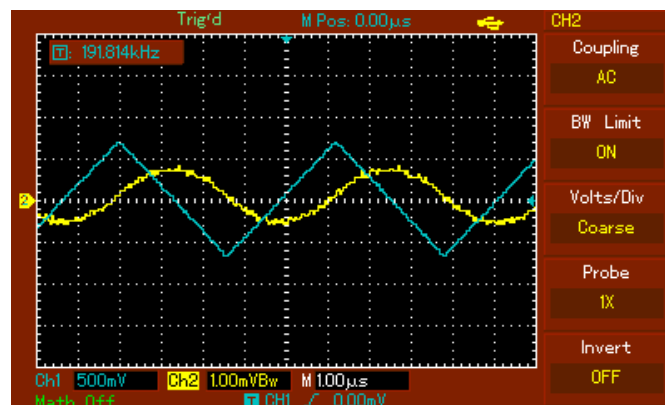


Abbildung 13: Graphen der Generatorspannung und der Spannung am Kondensator bei angelegter Sägezahnspannung

Wird an den RC-Kreis eine sinusförmige Spannung angelegt, so sollte sich nach bei der

Integration gemäß

$$\int c \sin(t) dt = -c \cos(t) + D \quad (32)$$

eine Spannung ergeben, die dem Graphen von $-c \cos(t)$ entspricht. Der Verlauf der im Versuch aufgenommenen Graphen 14 folgt dieser Beziehung mit $D = 0$. Hier beschreibt der blaue Graph wieder den Verlauf der angelegten Generatorspannung und der gelbe Graph den Verlauf der am Kondensator abgegriffenen Spannung.

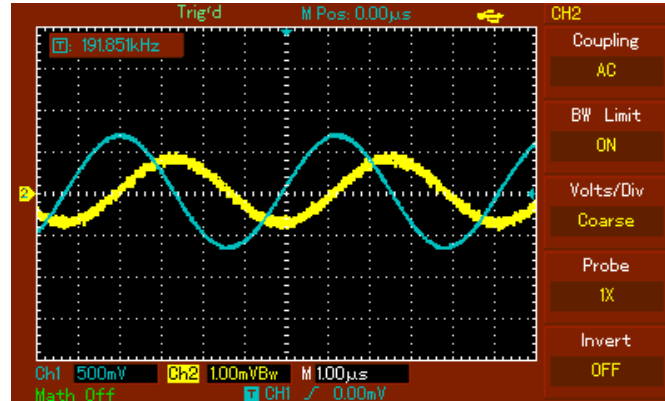


Abbildung 14: Graphen der Generatorspannung und der Spannung am Kondensator bei angelegter Sinusspannung

6 Diskussion

Zuallererst sei die gute Übereinstimmung der Messwerte mit den Ausgleichsfunktionen und der Theorikurve zu bemerken. Deswegen lassen sich grobe Fehler ausschließen, statistische Fehler konnten gering gehalten werden. Die ermittelten Werte für die Zeitkonstante sind zusammengefasst in Tabelle dargestellt.

τ_1/ms	τ_2/ms	τ_3/ms
$0,616 \pm 0,027$	$0,829 \pm 0,006$	$0,822 \pm 0,010$

Tabelle 3: Zusammenfassung der ermittelten Werte für die Zeitkonstante

Auffällig ist, dass die letzten beiden Werte konsistent sind und signifikant vom ersten Wert abweichen. Desweiteren ist die relative Unsicherheit der ersten Messung mit 4,38% deutlich höher als die der zweiten und dritten Messung mit 0,72% und 1,22%. Dementsprechend lässt sich annehmen, dass die Zeitkonstante des hier untersuchten RC-Gliedes nah an τ_2 und τ_3 liegt. Eine mögliche Erklärung für die große Abweichung bei der direkten Messung liegt in der Nichtbeachtung des Innenwiderstands des Generators. Es ist außerdem zu bemerken, dass nur recht wenige Messwerte für die direkte Messung verwendet wurden.

Die Messwerte wurden anhand des Ausdrucks abgelesen und nicht die Cursor-Funktion des Oszilloskops verwendet. Dieses Verfahren erscheint aufgrund der nicht unwesentlichen Streuung der Messwerte um die Ausgleichsgerade als zu ungenau, es sollten die Messwerte stattdessen direkt bei der Versuchsdurchführung mit den Funktionen des Oszilloskops abgelesen werden. Außerdem treten Fehler bei der direkten Methode auf, da die Auf- und Entladung nur näherungsweise vollständig geschehen kann. Dadurch beträgt der Ordinatenabschnitt nicht, wie theoretisch erwartet, null. Bei der Verwendung des RC-Gliedes als Integrator wurde das aus der Theorie zu erwartende Ergebnis in guter Näherung erzielt.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 353: Das Relaxationsverhalten eines RC-Kreises*. [Online; aufgerufen am 14.11.2017]. 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V353.pdf>.