V353

RC -Kreis

David Venker
david.venker@udo.edu

Nico Guth
nico.guth@udo.edu

Durchführung: 26.11.2019 Abgabe: 03.12.2019

Ein sehr gutes Protokoll!

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Experiments ist die Untersuchung der Eigenschaften eines RC-Kreises, genauer gesagt werden folgende Eigenschaften untersucht:

Grundsätzlich ok, aber die Formulierung ist sehr holprig. „Die Bestimmung wird untersucht", „Die Messung wird untersucht"

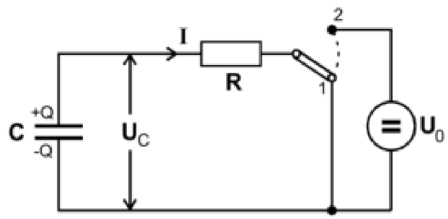
a) Die Bestimmung der schaltungsspezifischen Zeitkonstate RC.

b) Die Messung und der Vergleich der Spannungsamplituden von Kondensatorspannung und Generatorspannung in Abhängigkeit von der Frequenz.

c) Untersuchung der Phasenverschiebung zwischen den Spannungen in Abhängigkeit von der Frequenz.

d) Darstellung der Eigenschaft den RC-Kreis als Integrator verwenden zu können.

2 Theorie



Ich würde sagen es ist besser mit Text anzufangen und die erste Abbildung nach danach zu zeigen.

Abbildung 1: Schaltbild eines RC-Kreises, der in Stellung 1 entladen und in Stellung 2 geladen wird. [1]

[ ] Abb1 zeigt einen Aufbau mit dem man diese Phänomene beobachten kann, nicht die Phänomene selbst.

Wenn ein System durch eine Änderung aus seinem Anfangszustand entfernt wird und daraufhin nicht-oszillatorisch in diesen zurückkehrt, kann man Relaxationseffekte beobachten. [In Abbildung 1 sind zwei dieser Relaxationsphänomene zu beobachten, das Auf- und Entladen eines Kondensators über einen Widerstand.] Befindet sich der Schalter in Abbildung 1 in Stellung eins, (so entlädt sich der Kondensator mit der Kapazität C. Auf seinen beiden Platten liegt die Ladung Gesamtladung Q.) Dadurch liegt zwischen den beiden Kondensatorplatten eine Spannung von

L oder Umgebungsbedingungen (hier: Spannungsversorgung)

() Nach dem Entladen ist die Ladung doch 0C. „Kondensator entlädt sich." „Kondensator hat Gesamtladung Q."

$$U_C = \frac{Q}{C}. \tag{1}$$

Durch das ohmsche Gesetz ist bekannt, dass durch diese Spannung U_C und den Widerstand R ein Strom

$$I = \frac{U_C}{R} \tag{2}$$

() verwendet lieber „getrieben" oder „verursacht"; „erzeugen" ist immer etwas problematisch.

erzeugt wird. Der zeitliche Verlauf der Ladung Q auf dem Kondensator C kann durch eine Exponentialfunktion beschrieben werden, dadurch ergibt sich

, beim Entladen,

$$Q(t) = Q(0) \exp\left(\frac{-t}{RC}\right). \tag{3}$$

Wobei RC eine Zeitkonstante ist, die im nächsten Abschnitt näher erklärt wird. [1] Äquivalent dazu lässt sich der Aufladevorgang eines Kondensators C durch die Spannung U_0 über den Widerstand R beschreiben. Hierbei gelten folgende Randbedingungen für Q

$$Q(0) = 0 \qquad\qquad Q(\infty) = C \cdot U_0. \tag{4}$$

Damit lässt sich der Aufladevorgang durch

$$Q(t) = C \cdot U_0 (1 - \exp\left(\frac{-t}{RC}\right)) \tag{5}$$

beschreiben. [1] Dabei ist RC wieder die Zeitkonstante aus Gleichung 3, mit dieser Konstante kann beschrieben werden, wie schnell sich ein System ~~zu~~ seinem Endzustand ~~begibt~~. RC ist festgeschrieben. Nachdem eine Zeit von

/ annähert

() „Die Zeitkonstante wird durch den Widerstand R und die Kapazität C im RC-Kreis festgelegt."

$$\mathit{\Delta T} = RC \tag{6}$$

verstrichen ist, ändert sich die Kondensatorladung Q um den Faktor

$$\frac{Q(t = RC)}{Q(0)} = \frac{1}{e} \approx 0.386. \tag{7}$$

() um den Wert RC aus experimentellen Daten zu bestimmen, wenn R und C unbekannt sind. Sonst ist R·C = ... einfacher

Um den entsprechenden Wert für RC zu berechnen wird Gleichung 7 in eine andere Form gebracht. In der neuen Form

$$\ln\left(\frac{Q(t)}{Q(0)}\right) = t \cdot \frac{-1}{RC} \tag{8}$$

kann man RC als negative reziproke Steigung einer halblogarithmischen Funktion sehen.[1]

neuer Absatz

Eine periodische Auslenkung aus der Gleichgewichtslage erzeugt ebenfalls Relaxationsphänomene und kann ebenfalls mit einem RC-Kreis beschrieben werden.

() untersucht

() die Abbildung wird nicht angetrieben

Wird Abbildung 2 durch die Wechselspannung $U(t)$ mit der Kreisfrequenz ω angetrieben also

$$U(t) = U_0 \cdot \cos(\omega t), \tag{9}$$

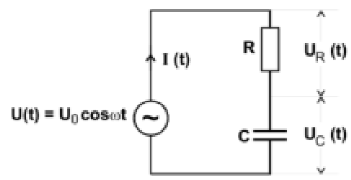


Abbildung 2: Mögliches Schaltbild zur Entstehung eines Relaxationsphänomens durch periodische Anregung. [1]

() so ändert sich das Verhalten des RC-Kreises für unterschiedliche Frequenzbereiche.

ergeben (sich für verschiedene ω andere Effekte) Für $\omega \ll \frac{1}{RC}$ werden die Kondensatorspannung U_C und die Generatorspannung $U(t)$ Gleichung 9 etwa gleich sein, da der Kondensator genug Zeit hat sich vollständig aufzuladen, bevor die Spannung wieder abfällt und ihr Vorzeichen ändert. Bei entsprechend höheren Frequenzen kann der Aufladevorgang nicht mehr vollständig stattfinden und die Amplitude A der Kondensatorspannung wird kleiner werden. Sie ist gegeben durch

in

$$A(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}. \tag{10}$$

Durch die verzögerte Aufladung entsteht eine Phasenverschiebung φ, die sich bei ansteigender Frequenz asymptotisch dem Wert $\varphi = \frac{\pi}{2}$ annähert. Wie an

$$\varphi(\omega) = \arctan(-\omega RC) \tag{11}$$

auch zu erkennen ist. Alternativ lässt sich die Phasenverschiebung auch über die zeitlichen Verläufe von U_C und U_0 berechnen, dafür müssen die Schwingungsdauer T und der zeitliche Abstand der Nulldurchgänge a bekannt sein. Die Schwingungsdauer T ist die Inverse der eingestellten Frequenz f.

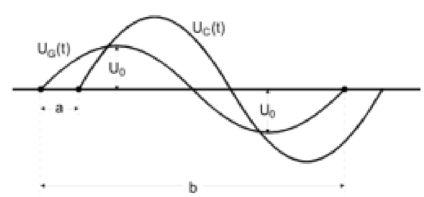


Abbildung 3: Darstellung der Methode zur Berechnung der Phasenverschiebung [1].

Ihr habt die Periodendauer T genannt, erklärt in der Bildunterschrift kurz das b=T ist oder "Photoshop-t" das T in die Abbildung.

Abbildung 3 stellt das Prinzip genauer da. Über den Zusammenhang

$$\varphi = a \cdot f \cdot 2\pi = \frac{a}{T} \cdot 2\pi \tag{12}$$

lässt sich die Phasenverschiebung ~~ebenfalls~~ berechnen. Außerdem lässt sich aus Gleichung 10 und Gleichung 11 der Zusammenhang

$$\frac{A(\varphi)}{U_0} = \cos(\varphi) \tag{13}$$

zeigen, welcher die Spannungsamplitude in Abhängigkeit der Phasenverschiebung aufzeigt.

()?

Aus der Eigenschaft, nur niedrige Frequenzen (kaum unverändert) passiern zu lassen, kann Abbildung 2 als ein Tiefpass verwendet werden. [1] Die Schaltung aus Abbildung 2 besitzt noch eine weitere Eigenschaft, sie kann als ein sogenannter Integrator verwendet werden. Für $\omega \gg \frac{1}{RC}$ gilt die Beziehung

$$U(t) = RC\,\frac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} \qquad\qquad U_C(t) = \frac{1}{RC}\int_0^t U(t')\mathrm{d}t'. \tag{14}$$

Dadurch wird zu der Generatorspannung $U(t)$ eine Kondensatorspannung $U_C(t)$ erzeugt, die sich nur durch einen Faktor ~~zur~~ von der Stammfunktion von $U(t)$ unterscheidet. [1]

Inhaltlich sehr gute Theorie!

3 Durchführung

☐ für Protokolle nicht so wichtig, aber solche „Leerräume" sehen in Abschlussarbeiten blöd aus. Hier würde dann eine Einleitung zu Abschnitt 3 stehen, die auch erläutert, was in den einzelnen Unterabschnitten behandelt wird.

3.1 Bestimmung der Zeitkonstante

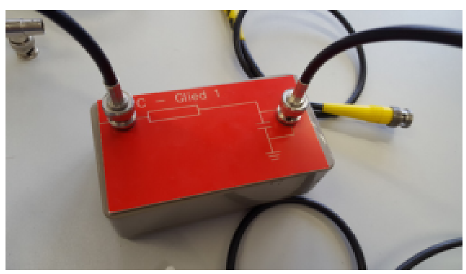


Abbildung 4: Schaltkasten mit dem RC-Glied [1]

Der Schaltkasten aus Abbildung 4 mit dem Widerstand R und der Kapazität C [war wie in Abbildung 5 anzuschließen.]

[] Protokolle beschreiben, was ihr getan habt, nicht was ihr tun sollt

]am Generator
/eine

Schaltet man nur ~~die~~ Rechteckspannung ein, zeigt das Oszilloskop einen Ausschnitt der Auflade- und Entladekurve des RC-Kreises an. Die Frequenz [ist] so anzupassen, dass der Kondensator sich gänzlich aufladen kann, sich also asymptotisch einem Wert nähert. Damit die Zeitkonstante RC bestimmt werden kann, muss die Spannung U_C in Abhängingkeit von der Zeit t deutlich ablesbar sein. Es [ist] ein Bild anzufertigen, das einen gesamten Entladungs- oder Aufladungsvorgang zeigt.

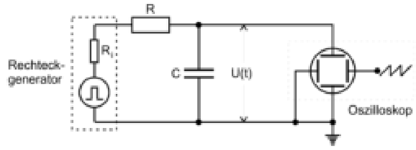


Abbildung 5: Schaltung zur Bestimmung der Zeitkonstante eines RC-Kreises [1]

3.2 Amplitudenmessung der Kondensatorspannung und Messung der Phasenverschiebung zwischen U_C und U_0

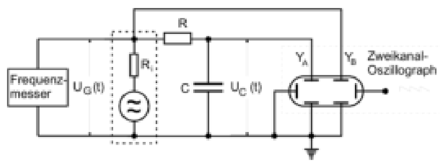


Abbildung 6: Schaltung zur Messung der Amplitude und der Phasenverschiebung [1]

[ ] siehe oben

Die Schaltung ist nach Abbildung 6 aufzubauen. Die Amplitude der Kondensatorspannung und die Phasenverschiebung zwischen U_0 und U_C ist in Abhängigkeit von der Frequenz f zu messen. Die Frequenz ist mehrere Male zu variieren und daraufhin ist die Spannung U_C am Oszilloskop abzulesen. Sicherheitshalber wird die Generatorspannung U_0 ebenfalls bei jeder Frequenz ~~zu~~ messen. Es ist wichtig zu beachten, dass die Frequenzen über mindestens drei Zehnerpotenzen hinweg eingestellt werden. Die Phasenverschiebung zwischen den beiden Spannungen lässt sich ebenfalls am Oszilloskop ablesen, indem die Spannungen gleichzeitig angezeigt werden und die Nulldurchgänge verglichen werden. Nach Gleichung 12 kann dann die Phasenverschiebung berechnet werden.

/ ge-

() Generator- und RC-Kreis-Spannung

3.3 RC-Kreis als Integrator

Damit diese Messung gelingen kann muss eine für den Integrator geeignete Frequenz eingestellt werden, diese findet man bei einem $\omega \gg \frac{1}{RC}$. Um den Effekt des Integrators zu sehen, werden nacheinander eine Sinusspannung, Rechteckspannung und eine Dreieckspannung ein. Auf dem Oszilloskop ergibt der zeitliche Verauf von U_C eine Stammfunktion von U_0 nach Gleichung 14. Von beiden Ozillogrammen ist jeweils für jede Spannung ein Bild anzufertigen.

() am Generator ein-gestellt

gut verständliche Durchführung.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Zeitkonstante bei angelegter Rechteckspannung

Im ersten Teil des Versuchs, wie in Unterabschnitt 3.1 beschrieben, kann nur ein Foto der Entladekurve als Messergebnis dienen, dieses ist in Abbildung 7 dargestellt.

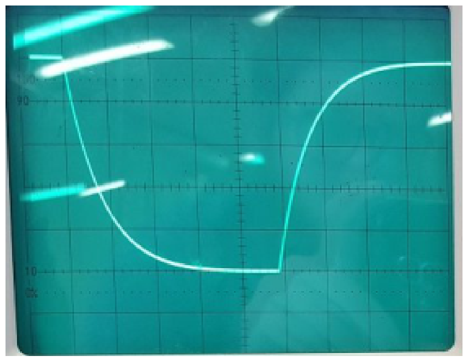


Abbildung 7: Foto der Entladekurve des RC Glieds bei angeschlossener Rechteckspannung mit 100 Hz wobei die x-Achse auf 1 ms und die y-Achse auf 0,2 V geregelt ist

Top!

Tabelle 1: Abgelesene Werte aus Abbildung 7 mit y-Achse als Kondensatorspannung U_C und x-Achse als Zeit t

U_C / V	t / ms	U_C / V	t / ms
1.00	0.00	0.28	1.00
0.90	0.10	0.20	1.20
0.80	0.20	0.16	1.40
0.70	0.30	0.12	1.60
0.60	0.40	0.08	1.80
0.50	0.50	0.06	2.00
0.44	0.60	0.04	2.30
0.40	0.70	0.02	2.70
0.36	0.80		

$\ln\left(\frac{U_C}{U_0}\right)$

Wenn die Werte aus Tabelle 1 nun als Graph mit y-Achse $\ln\left(\frac{U_C}{U_0}\right)$ dargestellt werden, entsteht Abbildung 8, wobei $U_0 = 1\,\mathrm{V}$ ist.

() wird theoretisch beschrieben von

Diese Darstellung (entspricht) der Gleichung

$$\ln\left(\frac{U_C}{U_0}\right) = -\frac{t}{RC} \tag{15}$$

die habt ihr schon in der Theorie → verweisen.

Um einen Fit machen zu dürfen müssen Voraussetzungen erfüllt sein und man muss nachvollziehen können, was ihr fittet.
Folgende 4 Punkte sollten für jeden Fit abgearbeitet werden:

1) Angabe der Gleichung aus der die Fitfunktion folgt.

2) Angabe der Fitfunktion. Dabei sollte die Funktion die verwendeten Messwerte und sonst nur Parameter enthalten, damit ist auf einen Blick klar was in den Fit eingeht und was aus dem Fit rauskommt.

3) Angabe der Ergebnisse aller Fitparameter mit Unsicherheit und Einheit.

4) Nutzung der Parameter zur Identifikation mit oder Bestimmung von physikalischen Größen.
Die nicht „gebrauchten" Parameter können in der Diskussion zur Bewertung des Fits verwendet werden.

Aus Gleichung (..) folgt
1) folgende Funktionsgleichung.

Parameter

2) $\underbrace{\ln\left(\frac{U(t)}{U_0}\right)}_{\text{Messwert}} = \tilde{a}\cdot \underbrace{t}_{} + \tilde{b}$

3) $a = \ldots \pm \ldots \; s^{-1}$
$b = \ldots \pm \ldots$

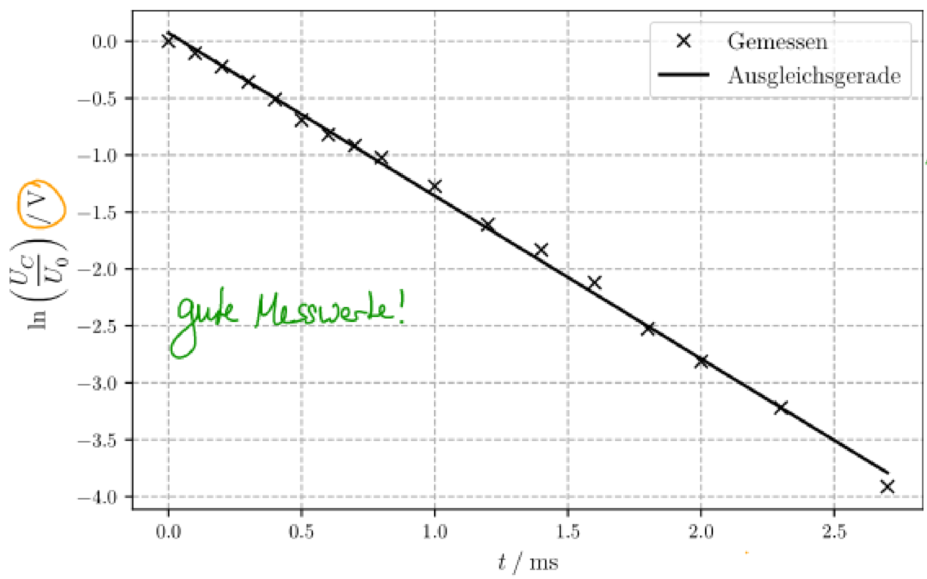
4) Nach Gleichung (...) ist
$RC = a^{-1} = \ldots \pm \ldots s$

Ihr habt:

1) erfüllt
2) nicht erfüllt
3) teilweise erfüllt
4) teilweise erfüllt

(Seite 8,5)

Weder das Argument noch der Logarithmus selbst haben eine Einheit.



Verwendet verschiedene Farben um Fit von Messwerten zu trennen
„x" sind zwar üblich für handgezeichnete Plots, aber spätestens mit Fehlerbalken sieht das seltsam aus, besser Kreise (in Matplotlib mit "o").

Abbildung 8: Graph der Werte aus Tabelle 1 und der passenden Ausgleichsgerade

Besser ist auch hier zu erklären, was das für Werte sind.

[ ] $\ln\left(\frac{U(t)}{U_0}\right) = a \cdot t + b$

wie aus Gleichung 3 zu sehen ist. Die entsprechende Ausgleichsgerade wurde in Python mit der Bibliothek SciPy[2] mit

$$f(x) = ax + b \tag{16}$$

berechnet. Wobei sich hier eine Steigung von $a = (-1431 \pm 19)\,\mathrm{s}^{-1}$ ergibt. Damit lässt sich die Zeitkonstante als

$$RC = (0{,}6988 \pm 0{,}0092)\,\mathrm{ms} \tag{17}$$

bestimmen.

4.2 Bestimmung der Zeitkonstante bei angelegter Sinusspannung

Die Ergebnisse der im Unterabschnitt 3.2 beschriebenen Durchführung sind in Tabelle 2 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Werte a_{gemessen} bei einer invertierten Generatorspannung abgelesen wurden. Also entspricht der zeitliche Abstand a_{gemessen} der Zeit zwischen steigendem Nulldurchgang der Kondensatorspannung und abfallendem Nulldurchgang der Generatorspannung. Somit ergeben sich die für Gleichung 12 gesuchten a durch

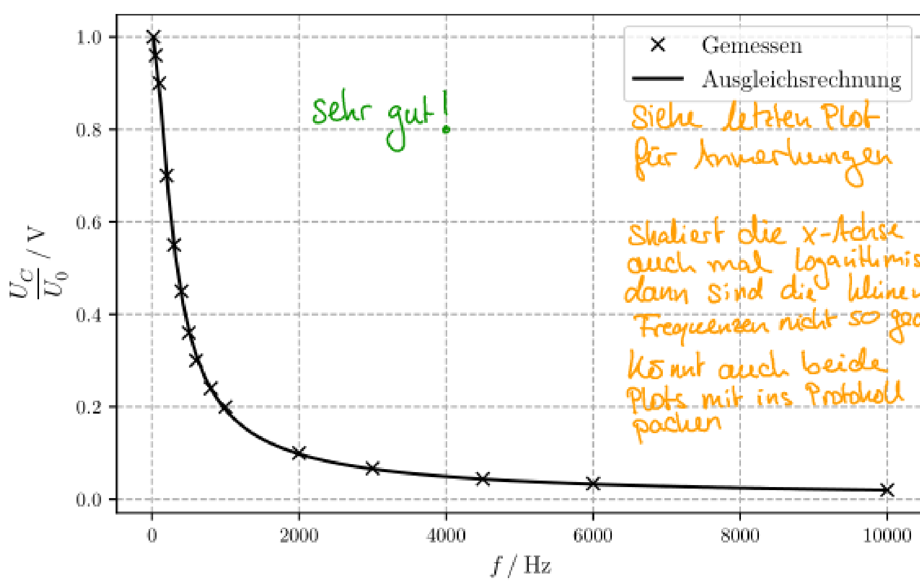
$$a = \frac{1}{2f} - a_{\text{gemessen}}. \tag{18}$$

Sehr gut!

Tabelle 2: Messergebnisse zu Unterabschnitt 3.2 mit Generatorfrequenz f, Kondensatorspannung U_C, zeitlichen Abständen a_{gemessen} und a

f / Hz	U_C / V	a_{gemessen} / ms	a / ms
20	1.000	25.000	0.000
50	0.960	9.200	0.800
100	0.900	4.200	0.800
200	0.700	1.850	0.650
300	0.550	1.150	0.517
400	0.450	0.800	0.450
500	0.360	0.620	0.380
600	0.300	0.500	0.333
800	0.240	0.360	0.265
1000	0.200	0.280	0.220
2000	0.100	0.130	0.120
3000	0.067	0.085	0.082
4500	0.044	0.056	0.055
6000	0.034	0.042	0.041
10000	0.020	0.025	0.025

Ausrichtung nach dem Komma/Punkt



sehr gut!

Siehe letzten Plot für Anmerkungen

Skaliert die x-Achse auch mal logarithmisch, dann sind die kleinen Frequenzen nicht so gedrungen.

Könnt auch beide Plots mit ins Protokoll packen

Abbildung 9: Graph des Spannungsverhältnises U_C/U_0 in Abhängigkeit zur Generatorfrequenz f aus der Tabelle 2 wobei die Generatorspannung konstant auf 1 V bleibt

Durch die Gleichung

$$\frac{U_C}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f)^2 R^2 C^2}} \tag{19}$$

Beachtet 1) - 4) für Fits auf Seite 8,5.

lässt sich nun die Zeitkonstante RC bestimmen indem eine Ausgleichsrechnung wie in Abbildung 9 mit

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi x)^2 a^2}} \tag{20}$$

Hier sollte der Parameter einfach „a" sein, die Wurzel könnt ihr hinterher ziehen. Das Quadrat macht's dem Fitter nur "schwer".

ausgeführt wird. Diese Ausgleichsrechnung wurde mit der Python Bibliothek SciPy[2] ausgeführt und ergibt die Zeitkonstante

$$RC = (0{,}8078 \pm 0{,}0056)\,\mathrm{ms}. \tag{21}$$

Eine weitere Möglichkeit die Zeitkonstante zu berechnen ist mithilfe der frequenzabhängigen Phase φ zwischen Generator- und Kondensatorspannung. Diese lässt sich über Gleichung 12 berechnen. Die so berechneten φ sind in Tabelle 3 gelistet.

Tabelle 3: Generatorfrequenz f, Kondensatorspannung U_C und die mit a berechnete Phasenverschiebung φ

f / Hz	U_C / V	φ / rad
20	1.000	0.000
50	0.960	0.251
100	0.900	0.503
200	0.700	0.817
300	0.550	0.975
400	0.450	1.131
500	0.360	1.194
600	0.300	1.255
800	0.240	1.332
1000	0.200	1.382
2000	0.100	1.508
3000	0.067	1.546
4500	0.044	1.555
6000	0.034	1.546
10000	0.020	1.571

Schreibt die Spalte "φ/rad" direkt in Tabelle 2, denn die a/s Spalte braucht ihr für die Phase auch erst hier.

Die mithilfe von SciPy[2] und

Schritte: 1) - 4)

$$f(x) = -\underline{arctan}(-2\pi f a) \tag{22}$$

Funktionen nicht kursiv: → \arctan

erstellte Ausgleichsrechnung ergibt nach Gleichung 11 eine Zeitkonstante

$$RC = (0{,}8258 \pm 0{,}0261)\,\mathrm{ms}. \tag{23}$$

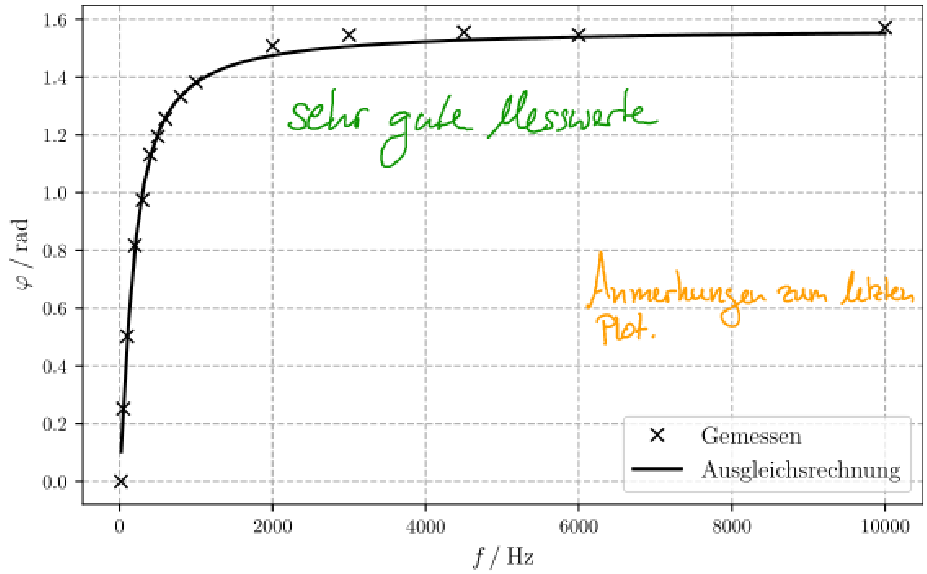


Abbildung 10: Die Phasenverschiebung φ zur Generatorfrequenz f aus Tabelle 3 abgebildet

Die Kondensatorspannung U_C wird nun in einem Polarkoordinatensystem in Abhängigkeit der Phase φ dargestellt. Die gemessenen Werte sind aus Tabelle 3 abzulesen und die erwartete Kurve wird nach Gleichung 13 berechnet.

Abbildung 11 sollte noch hier hin. \FloatBarrier verhindert, das LaTeX die Abbildungen verschiebt.

4.3 Betrachtung des RC-Glieds als Integrator

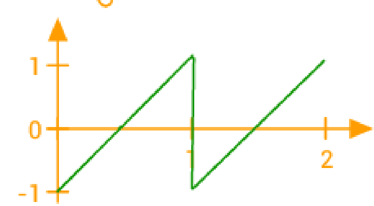
Im letzten Teil des Versuchs wie in Unterabschnitt 3.3 beschrieben sind die Ergebnisse nur in Form von Fotos darzustellen. Diese sind in Abbildung 12 zu sehen. Hierbei wurde jeweils die Generatorfrequenz von 5 kHz gewählt und sowohl die Generatorspannung als auch die Kondensatorspannung abgebildet.

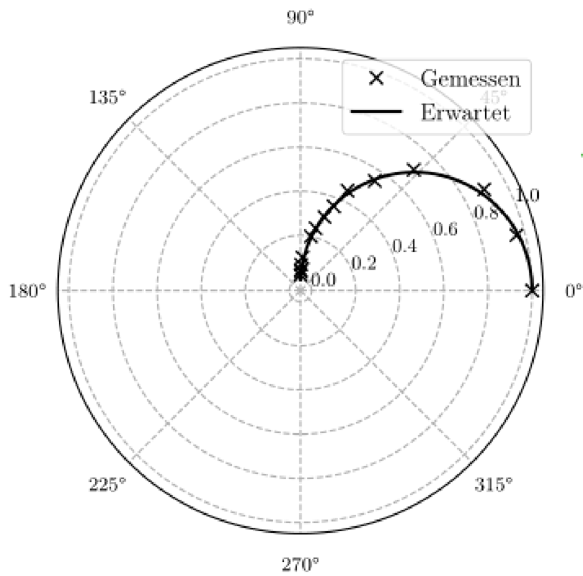
() AKA: Cosinus

Hier ist zu sehen, dass die angelegte Spannung integriert wird. Eine Sinusspannung wird zu einer (Sinusspannung um $\pi/2$ verschoben), eine [Sägezahnspannung] wird zu einer parabolischen Spannung und eine Rechteckspannung wird zu einer [Sägezahnspannung.]

[ ] Dreiecksspannung

Sägezahn:

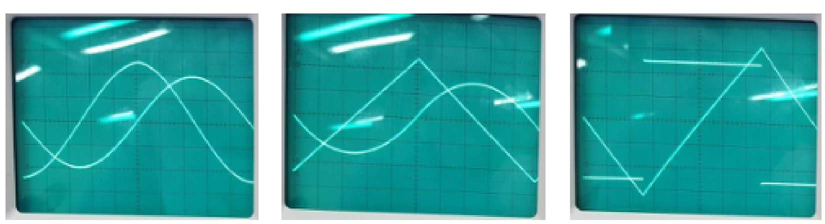




Top!

Abbildung 11: Kondensatorspannung U_C in Abhängigkeit von der Phase φ entnommen aus Tabelle 3

Γ (radial) L (lateral)



(a) Sinusspannung
und Cosinus

(b) Sägezahnspannung
und Paraboloidiale

(c) Rechteckspannung
und Dreieck

Abbildung 12: Fotos der Integratorschaltung für eine Generatorfrequenz von 5 kHz und verschiedene Generatorspannungstypen

5 Diskussion

Aus den drei verschiedenen Bestimmungsmethoden für die Zeitkonstante ergeben sich folgende Werte:

Gebt denen irgendeinen Index und wenn es nur Zahlen sind.

$$RC_1 = (0{,}6988 \pm 0{,}0092)\,\mathrm{ms} \tag{24}$$
$$RC_2 = (0{,}8078 \pm 0{,}0056)\,\mathrm{ms} \tag{25}$$
$$RC_3 = (0{,}8258 \pm 0{,}0261)\,\mathrm{ms} \tag{26}$$

Bestimmt jeweils die prozentuale Abweichung von der Theorie.

Die angegebenen Werte für den Widerstand $R = (15{,}058 \pm 0{,}600)\,\mathrm{k\Omega}$ und den Kondensator $C = 93{,}2\,\mathrm{nF}$ ergeben allerdings eine Zeitkonstante

$$RC = (1{,}4034 \pm 0{,}0560)\,\mathrm{ms}. \tag{27}$$

Die Abweichungen der einzelnen Ergebnisse müssen im Folgenden erklärt werden.

An den Ergebnissen ist zu sehen, dass die verwendeten Messmethoden auf ähnliche Ergebnisse kommen. Allerdings sind die vorhandenen Abweichungen auf Ungenauigkeiten der Messmethoden zurückzuführen. So lässt sich beispielsweise am Oszilloskop die Spannung zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht sehr genau ablesen.

Nun ist allerdings auch zu sehen, dass die bestimmten Zeitkonstanten um etwa 50% von dem erwarteten Wert abweichen. Dies lässt sich vermutlich auf einen systematischen Fehler zurückführen, da die berechneten Ergebnisse Γ nur eine kleine Abweichung aufzeigen. Γ untereinander
Eine genaue Ursache lässt sich jedoch nicht finden. (1)

Auch wurde gezeigt, dass eine Schaltung bestehend aus einem Kondensator und einem Widerstand als Integrator dienen kann. Bei angeschlossener Sinusspannung wurde auch gezeigt, dass die Spannung am Kondensator in Abhängigkeit des Phasenunterschieds zwischen Generator- und Kondensatorspannung den erwarteten Zusammenhang aus Gleichung 13 abbildet.

Literatur

[1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 353 Das Relaxationsverhalten eines RC-Kreises.* 2019.

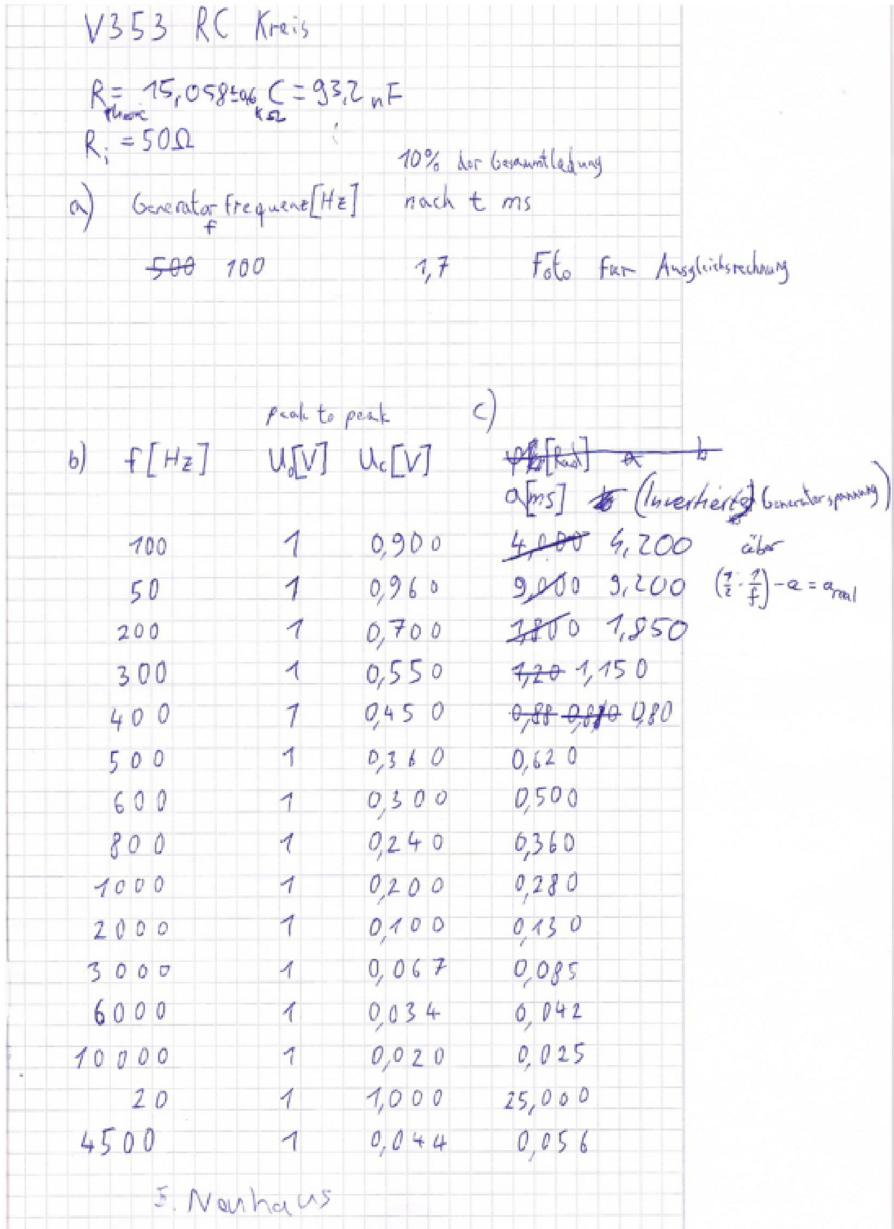
[2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python.* Version 0.16.0. URL: `http://www.scipy.org/`.

6 Anhang

neue Seite

(1) Diskutiert auch die Qualität des Fits
1) Qualitativ: „Folgen die Werte der Theorie?"
2) Quantitativ: „Wie sehen die Unsicherheiten der Fits aus?"

Ich würde soweit gehen und vermuten, dass euer Theoriewert nicht stimmt, die Messwerte sehen zu gut aus für solche Abweichungen von der Theorie.



V353 RC Kreis

$R_{theorie} = 15{,}058 \pm 0{,}06\ k\Omega$ $C = 93{,}2\ nF$

$R_i = 50\Omega$

10% der Gesamtladung

a) Generator frequenz [Hz] (f) nach t ms

~~500~~ 100 1,7 Foto für Ausgleichsrechnung

peak to peak c)

b) f [Hz]	U_0[V]	U_c[V]	~~φ [rad] a b~~ a[ms] (Invertierte Generatorspannung)
100	1	0,900	~~4,000~~ 4,200 über
50	1	0,960	~~9,000~~ 9,200 $\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{f}\right) - a = a_{real}$
200	1	0,700	~~1,800~~ 1,850
300	1	0,550	~~1,20~~ 1,150
400	1	0,450	~~0,88~~ ~~0,810~~ 0,80
500	1	0,360	0,620
600	1	0,300	0,500
800	1	0,240	0,360
1000	1	0,200	0,280
2000	1	0,100	0,130
3000	1	0,067	0,085
6000	1	0,034	0,042
10000	1	0,020	0,025
20	1	1,000	25,000
4500	1	0,044	0,056

F. Neuhaus

Abbildung 13: Kopie der Originalmessdaten