

Wechselstrom: Oszilloskop, Kondensator,...

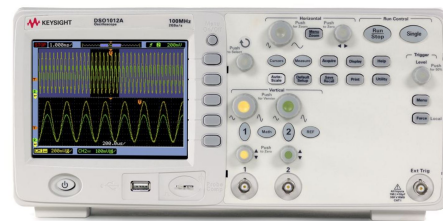
Digitale Speicheroszilloskope dienen zur Erfassung und Darstellung von zeitabhängigen Spannungsverläufen. Im Wechselstromkreisen verhalten sich Kondensatoren und Spulen wie frequenzabhängige Widerstände. Die komplexe Wechselstromrechnung ermöglicht die einfache Berechnung von Strom- und Spannungsverläufen bei sinusförmigem Wechselstrom. Ein einfacher Tiefpassfilter wird aufgebaut. Solche Filter sind unbedingt notwendig um hochfrequente Störsignale zu eliminieren, z. B. bei der EKG-Messung. Der elektrische Schwingkreis ist die Grundschialtung von Antennen und Sendern. In der Nähe der Resonanzfrequenz ist der Spannungsabfall über dem Kondensator / der Spule deutlich höher als die angelegte Spannung.

1 Lernziele

- Digitales Speicheroszilloskop
- Auf- und Entladekurve eines Kondensators
- Kondensator im Wechselstromkreis
- Hochpass und Tiefpass
- Elektrischer Schwingkreis als Anwendungsbeispiel für den harmonischen Oszillator mit Dämpfung und Anregung
- Grundlagen der komplexen Wechselstromrechnung

2 Experimenteller Aufbau

- Digitales zwei-Kanal Speicheroszilloskop. Kurzanleitung vor Ort.
- Steckplatte und elektronische Bauteile: Widerstände, Kondensatoren, Spulen, Taster
- Batterie und Funktionsgenerator Agilent 33210A.



3 | Messung - | Durchführung - | Auswertung

3.1 Kennenlernen Funktionsgenerator und Oszilloskop

Bevor Sie mit den eigentlichen Messungen beginnen, sollen Sie die die grundlegenden Funktionen eines Oszilloskops kennenlernen, insbesondere: horizontale und vertikale Achsen, Probenkopf, AC- versus DC-Kopplung, Trigger. Die Anleitung für die Durchführung liegt vor Ort aus.

3.2 Auf- und Entladekurve eines Kondensators

Erfassen Sie die Auf- und Entladekurve eines Kondensators mit dem Speicheroszilloskop. Bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators aus der Entladekurve des Kondensators mit der ermittelten Zeitkonstante τ_{RC} und dem gegebenen Widerstand R_2 .

Durchführung

- 1) Bauen Sie die Schaltung zur Auf-/Entladung eines Kondensators nach der Abbildung a) in Kapitel Zusatzmaterial auf. Verwenden Sie nur den ersten, linken Kanal am Oszilloskop.
- 2) Da in diesem Experiment nur positive Spannungen auftreten, verschieben Sie den Spannungsnullpunkt der Y-Achse ins untere Drittel um den gesamten Bildschirmbereich auszunutzen. Wenn der Taster gedrückt ist, wird der Kondensator aufgeladen. Der fließende Strom wird den Widerstand R_1 begrenzt. Wenn der Taster geöffnet wird, entlädt sich der Kondensator über den Widerstand R_2 .
- 3) Da kein periodisches Signal vorliegt und die Zeitskalen in Sekundenbereich sind, verwenden wir den Rollmodus Horizontal: Time Base \rightarrow Roll. Die Messung wird gestartet und die aktuellen Messwerte erscheinen kontinuierlich von rechts kommend. Mit Stop können Sie den Vorgang anhalten und das Anzeigebild auswerten und als Bild auf dem USB-Stick abspeichern.
- 4) Wenn Sie einen passend eingestellten Auf-/Entladevorgang aufgezeichnet haben, verwenden Sie die Cursor \rightarrow Mode \rightarrow Track-Funktion um spezielle Messwerte und Zeitdifferenzen aus dem

$U_C(t)$ -Verlauf zu extrahieren. Die Zeitkonstante τ_{RC} entspricht dem Zeitintervall, in welchem die Spannung des aufgeladenen Kondensators auf das $1/e$ -fache abgefallen ist.

- 5) Nutzen Sie abschließend die Funktion `Print` \rightarrow `Print` zur Speicherung des aktuellen Displaybildes auf einem USB-Stick um dieses anschließend auszudrucken.

Auswertung

Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators aus der ermittelten Zeitkonstante τ_{RC} und dem verwendeten Widerstand.

3.3 RC-Tiefpass als Reihen-Schaltung

Ermitteln Sie den frequenzabhängigen Spannungsabfall $U_C(f)$ am Kondensator und dessen Phasenverschiebung $\varphi(f)$ gegenüber der eingespeisten Spannung U bei einer seriellen RC -Tiefpass-Schaltung.

Durchführung

- 1) Bauen Sie die RC -Tiefpass-Schaltung nach der Abbildung b) in Kapitel Zusatzmaterial auf. Nutzen Sie am Oszilloskop beide Kanäle, aber nur *eine* Masseleitung. Setzen Sie das Oszilloskop in den Ausgangszustand zurück und verwenden Sie nun die Triggerung.
- 2) Stellen Sie am Funktionsgenerator eine Amplitude von $2V_{pp}$ ein und messen Sie von 200 Hz bis 20 kHz am Kondensator mit der Funktion `Measure` die peak-peak-Spannungen beider Kanäle und die Phasenverschiebung φ zur Eingangsspannung U_0 als Funktion der Frequenz. Speichern Sie für $f = 5$ kHz die Displaydarstellung auf dem USB-Stick und drucken Sie diese aus.

Auswertung

- a) Stellen Sie die gemessenen Ausgangsspannungen am Kondensator $U_C(f)$ und die Phasenverschiebung $\varphi(f)$ als Funktion der Frequenz f als Scatter-Plot dar.
- b) Tragen Sie zusätzlich die berechneten Kurvenverläufe mit den Gleichungen aus Ihrer Vorbereitung mit ein.
- c) Welche Spannungen und Phasenverschiebungen erwarten Sie bei der Extrapolation $f \rightarrow 0$ und $f \rightarrow \infty$?

3.4 RLC-Schwingkreis

Messen Sie die Spannungsüberhöhung am Kondensator in einem seriellen RLC -Schwingkreis als Funktion der Frequenz.

Durchführung

- 1) Bauen Sie den Reihenschwingkreis nach der Abbildung c) in Kapitel 6 Zusatzmaterial auf.
- 2) Messen Sie die Anregungsspannung mit dem ersten Kanal (zur Kontrolle), die Spannung über dem Kondensator U_C mit dem 2. Kanal des Oszilloskops und die Phasenverschiebung zwischen Anregung und Antwort für den Frequenzbereich von 1 kHz bis 20 kHz. Erfassen Sie Datenpunkte in der Umgebung der Resonanzfrequenz in engeren Frequenzintervallen. Beachten Sie, dass im Bereich der Resonanz die Anregungsamplitude von $U_0 = 1V_{pp}$ eventuell leicht nachkorrigiert werden muss, da der Funktionsgenerator nicht auf die Rückspeisung durch den Schwingkreis reagieren kann.

Auswertung – Resonanz

- a) Tragen Sie den gemessenen Spannungsabfall am Kondensator $U_C(f)$ als Funktion der Anregungsfrequenz f auf. Ermitteln Sie aus Ihren Daten durch nichtlineare Regression die Resonanzfrequenz f_0 , und die Dämpfung δ . Ermitteln Sie daraus den Innenwiderstand der Spule.
- b) Lesen Sie aus der Abbildung Ihres Fits die maximale Spannungsüberhöhung $\max(U_C)/U_0$ ab und vergleichen Sie diese mit Ihren berechneten Werten aus der Vorbereitung.

3.5 Lissajous-Figuren

Stellen Sie für den Tiefpass und den RLC -Schwingkreis die zeitabhängigen Spannungsabfälle über dem Kondensator gegenüber der angelegten Spannung als Lissajous-Figur ($X - Y$ -Diagramm) für einige markante Frequenzen auf dem Oszilloskop dar.

Durchführung

- 1) Bauen Sie die RC -Tiefpass-Schaltung erneut auf und stellen Sie die Spannungsabfall am Kondensator (Y -Koordinate) gegenüber der Eingangsspannung als Lissajous-Figur ($X - Y$ -Diagramm) für die Frequenzen $f = \{100, 1000, 10000\}$ Hz dar und skizzieren Sie diese Darstellungen für Ihr Protokoll.
- 2) Bauen Sie den Reihenschwingkreis erneut auf stellen Sie die Lissajous-Figur für eine sehr kleine Frequenz, eine Frequenz an der Resonanzfrequenz und bei einer großen Frequenz dar und skizzieren diese ebenfalls.

4 Literatur

In der Referenz [1] im Kapitel Elektrizitätslehre finden Sie einführende Betrachtungen. Der Entladevorgang eines Kondensators wird im Kap. E-3.3, der Tiefpass im Kap. E-3.2 und der Reihenschwingkreis in Kap. E-4.0.2 und E-4.2 beschrieben.

[1] W. Schenk and F. Kremer (Hrsg.), *Physikalisches Praktikum*. Springer, 14. Auflage, 2014,

<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-00666-2>.

[2] D. Meschede, *Gerthsen Physik*. Springer, 25. Auflage, 2015,

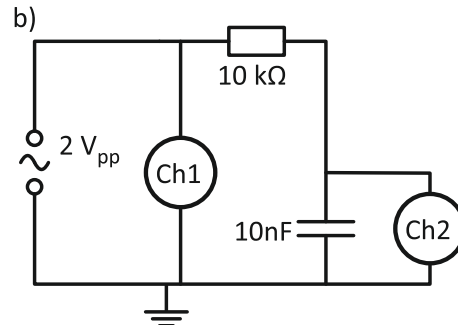
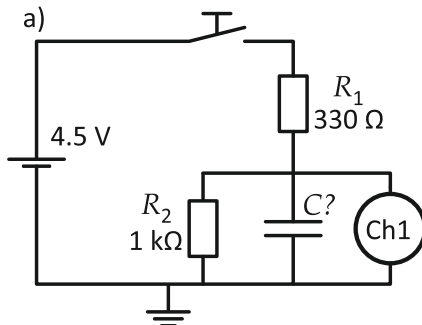
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-45977-5>.

5 Vorbereitung, Fragen und Berechnungen vor Versuchsantritt

- 1) Was ist der Unterschied zwischen einem Kathodenstrahloszilloskop und einem digitalen Speicheroszilloskop?
- 2) Wie ist die Umrechnung der Frequenz f in die Kreisfrequenz ω ?
- 3) Was ist der Aufbau eines Widerstands, ein Kondensators und eine Spule?
- 4) Was sind die Formelzeichen, die Einheit und das Schaltsymbol des elektrischen Widerstandes, der Kapazität und der Induktivität?
- 5) Warum hat das Produkt aus Widerstand und Kapazität für τ_{RC} die Einheit Zeit? Hinweis: Darstellung von Ω und F in den SI-Basiseinheiten.
- 6) Welche Gleichungen beschreiben die Auf- und Entladekurve eines Kondensators?
- 7) Skizzieren Sie den erwarteten Spannungsabfall $U_C(\omega)$ und Phasenverlauf $\varphi(\omega)$ für den RC -Tiefpass.
- 8) Zeichnen Sie schematisch das Spannungszeigerdiagramm und das Impedanzeigerdiagramm für einen seriellen RLC -Schwingkreis, siehe Abb. E.3.0.3 in der Referenz [1].
- 9) Bei Interesse, die komplexe Wechselstromrechnung https://de.wikipedia.org/wiki/Komplexe_Wechselstromrechnung.
Berechnungen vor Versuchsantritt
- 10) Die Schaltung zur Auf- und Entladung eines Kondensators im Zusatzmaterial mit der Gleichspannungsquelle $U = 4.5\text{ V}$ stellt einen Spannungsteiler dar. Wie groß ist der Spannungsabfall U_C am Kondensator und U_R am Widerstand $R_1 = 330\ \Omega$ nach sehr langer Zeit bei geschlossenem Taster? Welcher Strom fließt in diesem Fall? Ist der Stromfluss direkt nach dem Einschalten größer oder kleiner als nach langer Zeit?
- 11) Welche Gleichungen beschreiben den Spannungsabfall $U_C(f)$ und die Phasenverschiebung $\varphi(f)$ am Kondensator in einer RC -Tiefpassschaltung wie in der Abbildung im Zusatzmaterial? Skizzieren Sie deren Verlauf für den angegebenen Widerstand und Kapazität.
- 12) Berechnen Sie die Resonanzfrequenz f_0 und die Spannungsüberhöhung $\max(U_C)/U_0$ für den Reihenschwingkreis im Zusatzmaterial mit der Annahme von $R_L = 33\ \Omega$.

6 Zusatzmaterial

- Aufzubauende Schaltungen: Auf- und Entladevorgang am Kondensator und der RC-Tiefpass für die Messungen des Spannungsabfalls und der Phasenverschiebung. Beachten Sie die den Anschluss der Masseleitung am Oszilloskop.

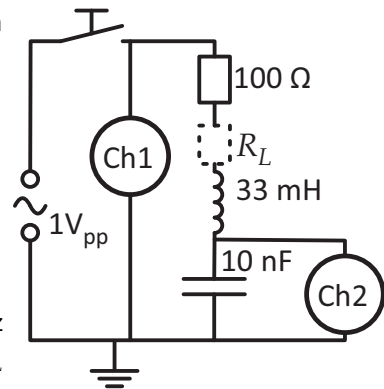


- Schaltung für den Reihenschwingkreis mit den zugehörigen Gleichungen

$$U_C(f) = U_0 \frac{f_0^2}{\sqrt{(f_0^2 - f^2)^2 + \delta^2 f^2 / \pi^2}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad , \quad \delta = \frac{R + R_L}{2L}$$

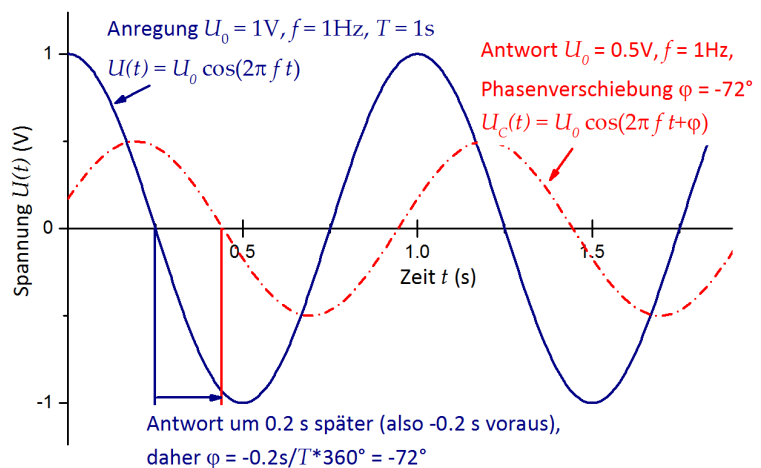
Mit der angelegten Spannung $U_0 = 1 \text{ V}_{pp}$, der Eigenfrequenz f_0 und der Dämpfung δ . Der Leitungswiderstand der Spule R_L trägt zur Dämpfung mit bei.



Information:

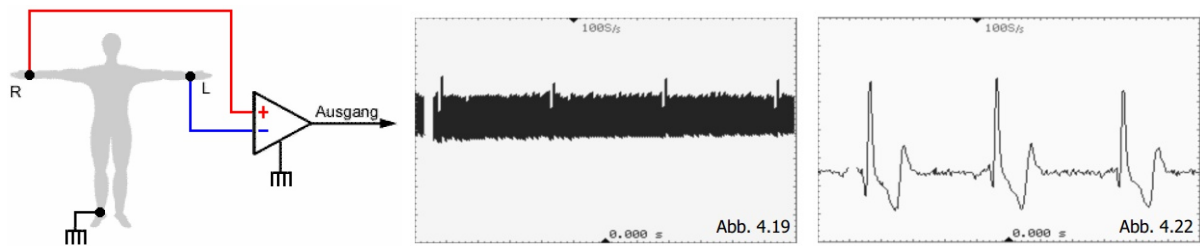
Phasenverschiebung zwischen zwei sinusförmigen-Spannungen gleicher Frequenz.

Die Phasenverschiebung φ zwischen Eingang (=Anregung) $U(t)$ und Ausgang (=Messung) $U_C(t)$ gibt an, um wie viel die Messung der Anregung voraus oder hinterher eilt. Eine negative Phasenverschiebung bedeutet, dass der Spannungsverlauf am Ausgang dem anregenden Spannungsverlauf hinterher eilt. Es ist nur sinnvoll eine Phasenverschiebung anzugeben, wenn die Frequenzen exakt gleich sind. Widerstände, Kondensatoren und Spulen können die Frequenz in einer elektronischen Schaltung niemals ändern!



Information:

Bei der Bestimmung der kleinen Spannungen (im mV Bereich) im menschlichen Körper werden Elektroden für Ableitungen benutzt. Das Messsignal ist stark verrauscht durch die Einstrahlung von Störquellen. Eine Tiefpassschaltung ermöglicht die Extraktion der relevanten Information.



Von Links nach Rechts: Beispiel zur Ableitung von EKG-Spannungssignalen am Menschen. Das gemessene und verstärkte Signal ohne Anwendung von Filtern und nach der Filterung. Bilder aus der Masterarbeit von T. Gunnemann an der Universität Münster, [Link](#).