

Widerstand eines Kondensators im Wechselstromkreis

BESTIMMUNG DES KAPAZITIVEN WIDERSTANDES IN ABHÄNGIGKEIT VON KAPAZITÄT UND FREQUENZ

- Bestimmung von Amplitude und Phase des kapazitiven Widerstandes in Abhängigkeit von der Kapazität.
- Bestimmung von Amplitude und Phase des kapazitiven Widerstandes in Abhängigkeit von der Frequenz.

UE3050111

04/18 UD

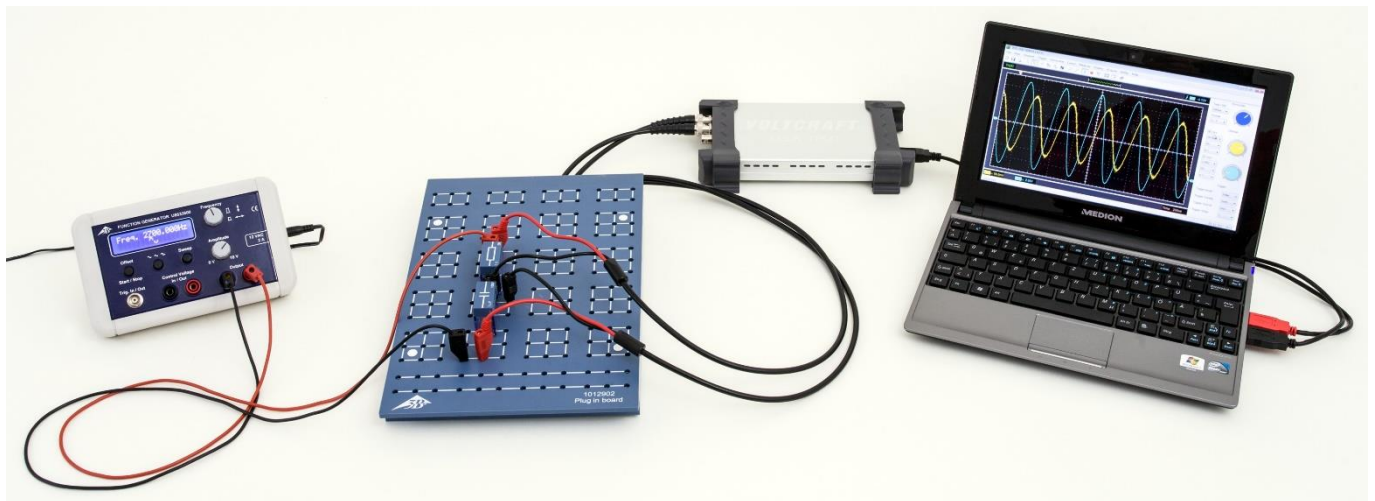


Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Jede Änderung der Spannung an einem Kondensator ruft einen Strom durch den Kondensator hervor. Wird Wechselspannung angelegt, so fließt Wechselstrom mit einer Phasenverschiebung zur Spannung. Mathematisch lässt sich dieser Zusammenhang am einfachsten beschreiben, wenn man Strom, Spannung und Widerstand als komplexe Größen verwendet und deren Realteile betrachtet.

Aus der Kondensatorgleichung folgt unmittelbar

$$(1) \quad I = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

I : Strom, U : Spannung, C : Kapazität

Das Anlegen einer Spannung

$$(2) \quad U = U_0 \cdot \exp(i\omega t)$$

ruft also den Strom

$$(3) \quad I = i \cdot \omega \cdot C \cdot U_0 \cdot \exp(i\omega t)$$

hervor, und man kann der Kapazität C den komplexen Widerstand

$$(4) \quad X_C = \frac{U}{I} = \frac{1}{i \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{i \cdot 2\pi \cdot f \cdot C}$$

zuweisen. Messbar ist jeweils der Realteil dieser Größen, also

$$(5) \quad U = U_0 \cdot \cos \omega t$$

$$(6) \quad I = \omega \cdot C \cdot U_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$(7) \quad X_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

Im Experiment liefert ein Funktionsgenerator Wechselspannung mit Frequenzen bis hinauf zu 5 kHz. Ein Zweikanal-Oszilloskop zeichnet Strom und Spannung auf, so dass Amplitude und Phase beider Größen erfasst werden. Der Strom durch den Kondensator entspricht dem Spannungsabfall an einem Messwiderstand R , dessen Wert gegenüber dem kapazitiven Widerstand vernachlässigbar ist.

Optional kann die Aufzeichnung von Strom und Spannung auch mit dem Datenlogger VinciLab, der Software Coach 7 und Spannungssensoren erfolgen.

GERÄTELISTE

1	Steckplatte für Bauelemente	1012902 (U33250)
1	Widerstand 1 Ω , 2 W, P2W19	1012903 (U333011)
1	Widerstand 10 Ω , 2 W, P2W19	1012904 (U333012)
3	Kondensator 1 μF , 100 V, P2W19	1012955 (U333063)
1	Kondensator 0,1 μF , 100 V, P2W19	1012953 (U333061)
1	Funktionsgenerator FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
oder		
1	Funktionsgenerator FG 100 @115V	1009956 (U8533600-115)
1	Satz 15 Experimentierkabel, 1 mm ²	1002840 (U13800)
1	PC-Oszilloskop 2x25 MHz	1020857 (U11830)
2	HF-Kabel, BNC/4-mm-Stecker	1002748 (U11257)
optional		
1	VinciLab	1021477 (UCMA-001)
1	Coach 7, Schullizenz 5 Jahre	1021522 (UCMA-18500)
oder		
1	Coach 7, Universitätslizenz 5 Jahre	1021524 (UCMA-185U)
2	Spannungssensor 10 V, differentiell	1021680 (UCMA-0210i)
1	Spannungssensor 500 mV, differentiell	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Sensorkabel	1021514 (UCMA-BTsc1)

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

- Die Messanordnung (Fig. 1) gemäß der Schaltskizze (Fig. 2) mit dem Widerstand $R=1\ \Omega$ und einem der Kondensatoren $C=1\ \mu\text{F}$ aufbauen.
- Die Messleitung zur Aufnahme des Spannungsverlaufs $U_R(t) = R \cdot I(t)$ über dem Messwiderstand an Kanal CH1, und die Messleitung zur Aufnahme des Spannungsverlaufs $U_C(t)$ über dem Kondensator an Kanal CH2 des Oszilloskops anschließen.

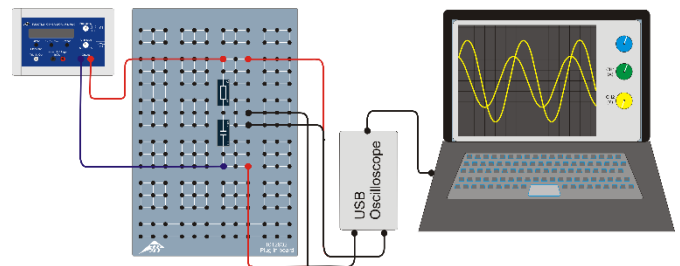
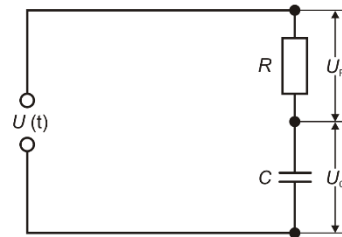


Fig. 2: Schaltskizze (oben) und schematische Skizze des Aufbaus (unten).

- Am PC-Oszilloskop die folgenden Parameter einstellen:
 Horizontal:
 Zeitbasis: 50 $\mu\text{s}/\text{div}$
 Horizontale Trigger-Position: 0.0 ns
 Vertikal:
 CH1:
 Spannungs-Skalenteilung: 50 mV/div DC
 Nullpunkt-Position: 0.0 divs
 CH2:
 Spannungs-Skalenteilung: 1 V/div DC
 Nullpunkt-Position: 0.0 divs
 Trigger:
 Single (nicht Alternate)
 Quelle: CH2
 Modus: Edge
 Flanke: Rise
 Schwelle: 0.000 mV
 TrigMode: Auto
 Ggf. die Parameter Time/DIV und Volts/DIV während der Messserien so anpassen, dass die Signale optimal dargestellt werden.
- Die Frequenz $f = 4000\ \text{Hz}$ einstellen.
- Am Funktionsgenerator die Signalform Sinus auswählen und die Amplitude des Eingangssignals $U_0 = 4\ \text{V}$ einstellen. Dazu den Amplitudenssteller so einstellen, dass das Maximum bzw. Minimum des Sinussignals auf Kanal CH2 des Oszilloskops (bei 1 V / Kästchen) 4 Kästchen entspricht.

Da der Wert des Messwiderstands R gegenüber dem kapazitiven Widerstand X_C bei den betrachteten Frequenzen vernachlässigbar ist, gilt in guter Näherung $U_{C0} \approx U_0 = 4\ \text{V}$.

Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung

- Die relative Lage der Spannungsverläufe $U_C(t)$ und $U_R(t)$ über dem Kondensator und dem Messwiderstand beobachten und notieren.

Abhängigkeit des kapazitiven Widerstands von der Kapazität

- Mit Hilfe des Kondensators $0,1 \mu\text{F}$ sowie von Reihen- und Parallelschaltungen der drei Kondensatoren $1 \mu\text{F}$ die Kapazitäten aus Tab. 1 erzeugen, die Amplituden U_{R0} auf dem Oszilloskop ablesen und in die Tab. 1 eintragen.

Abhängigkeit des kapazitiven Widerstands von der Frequenz

- Den Kondensator $1 \mu\text{F}$ sowie den Widerstand 10Ω als Messwiderstand verwenden.
- Am Funktionsgenerator nacheinander die Frequenzen aus Tab. 2 einstellen, die Amplituden U_{R0} auf dem Oszilloskop ablesen und in die Tab. 2 eintragen.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung

Das Stromsignal ist gegenüber dem Spannungssignal um eine viertel Periode nach rechts verschoben (Fig. 3).

Der Strom durch den Kondensator eilt der Spannung am Kondensator in der Phase um 90° voraus, da Ladestrom (positives Vorzeichen) und Entladestrom (negatives Vorzeichen) maximal sind, wenn die Spannung ihren Nulldurchgang erreicht.

Tab. 1: Abhängigkeit des kapazitiven Widerstands von der Kapazität, $f = 4000 \text{ Hz}$, $R = 1 \Omega$, $U_0 = 4 \text{ V}$.

C μF	U_{R0} mV	$1/C$ $1/\mu\text{F}$	$I_0 = U_{R0}/R$ mA	$X_C = U_0/I_0$ Ω
0,10	9,3	10,0	9,3	430,1
0,33	32,1	3,0	32,1	124,6
0,50	51,1	2,0	51,1	78,3
0,67	67,8	1,5	67,8	59,0
1,00	101,7	1,0	101,7	39,3
2,00	204,3	0,5	204,3	19,6

Tab. 2: Abhängigkeit des kapazitiven Widerstands von der Frequenz, $C = 1 \mu\text{F}$, $R = 10 \Omega$, $U_0 = 4 \text{ V}$.

f Hz	U_{R0} mV	$1/f$ $1/\text{kHz}$	$I_0 = U_{R0}/R$ mA	$X_C = U_0/I_0$ Ω
200	50	5,00	5	800
300	78	3,33	8	513
500	127	2,00	13	315
1000	255	1,00	26	157
2000	493	0,50	49	81
3000	733	0,33	73	55
4000	993	0,25	99	40
5000	1203	0,20	120	33

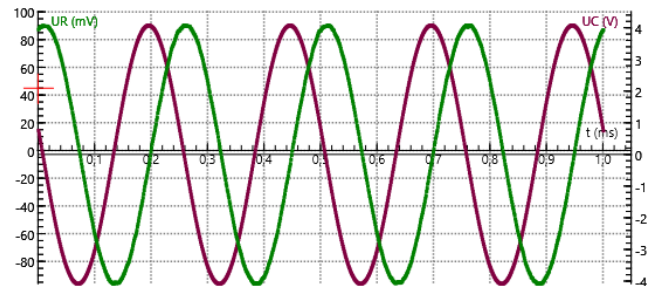
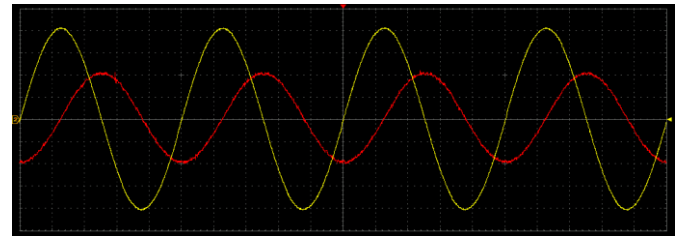


Fig. 3: Kondensator im Wechselstromkreis: Verlauf von Strom und Spannung. Oben: Aufnahme mit PC-Oszilloskop (Strom: Rot, Spannung: Gelb). Unten: Aufnahme mit VinciLab / Coach7 (Strom: Grün, Spannung: Violett).

Abhängigkeit des kapazitiven Widerstands von der Kapazität und der Frequenz

- Die kapazitiven Widerstände X_C gegen die Kehrwerte von Kapazität (Tab. 1, Fig. 4) und Frequenz (Tab. 2, Fig. 5) auftragen.

Gemäß Gleichung (4) ist der kapazitive Widerstand X_C proportional zum Kehrwert der Frequenz f und zum Kehrwert der Kapazität C . In den entsprechenden Diagrammen liegen die Messwerte daher im Rahmen der Messgenauigkeit auf einer Ursprungsgeraden.

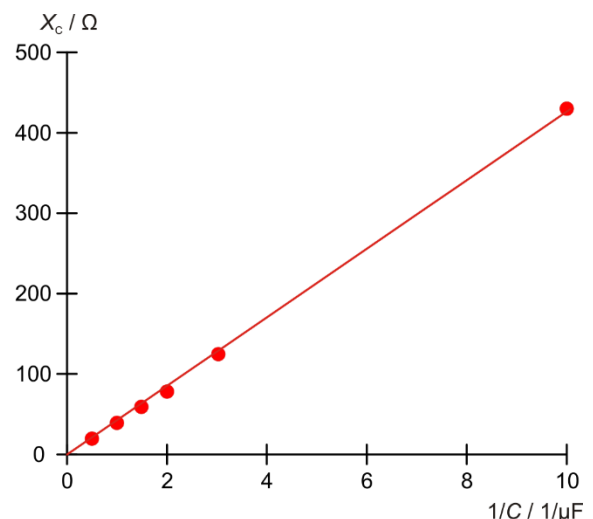


Fig. 4: Kapazitiver Widerstand X_C als Funktion des Kehrwerts der Kapazität C .

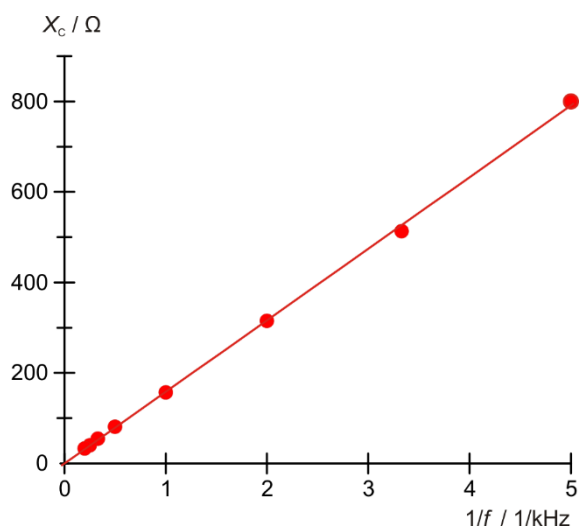


Fig. 5: Kapazitiver Widerstand X_C als Funktion des Kehrwerts der Frequenz f .