

## EL2-Praktikum #05: Kondensator und Wechselstrom mit LTspice

In diesem Praktikum wird messtechnisch die Kapazität eines Kondensators im Frequenzbereich von 40 Hz bis 100 Hz bestimmt und mit dem Nennwert (angeschriebener Wert) verglichen. Da das Labor nicht zugänglich ist, werden die Messungen mit LTspice simuliert.

### Messanordnung im Labor

Für die Messungen an einem Kondensator im Labor kann die spannungsrichtige Schaltung gemäss Abbildung 1 im Bereich 40 Hz bis 100 Hz mit zwei Digitalmultimeter Keysight 34410A verwendet werden.

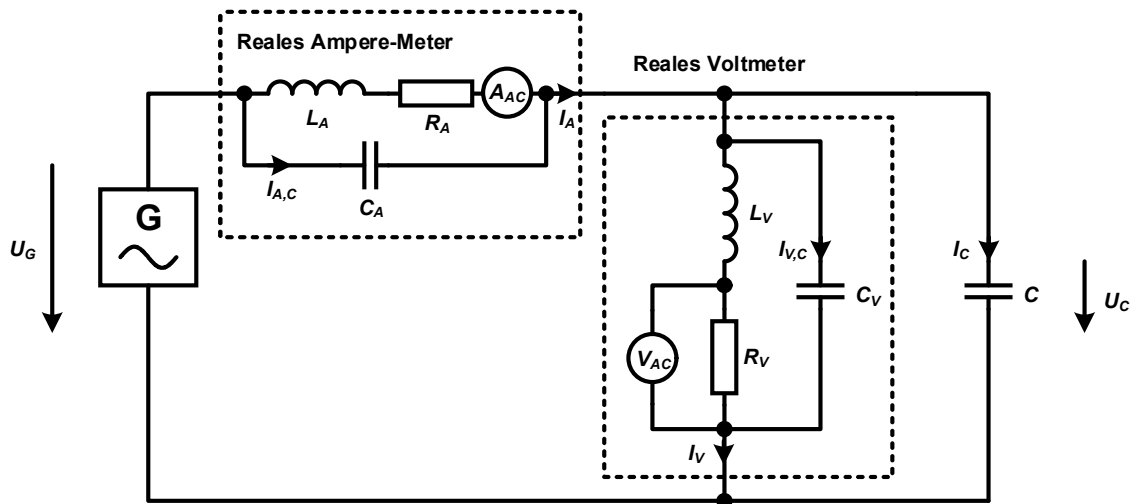


Abbildung 1. Messschaltung für die messtechnische Bestimmung der Kapazität  $C$ , mit Funktionsgenerator  $G$  als Sinusgenerator, mit realem Ampère- und Voltmeter (Parameterwerte siehe Text).

Bei Wechselstrom- und Wechselspannungsmessgeräten ist grundsätzlich neben dem Innenwiderstand auch noch mit einer «Innenkapazität» und «Inneninduktivität» zu rechnen (siehe Abbildung 1). Gemäss dem Datenblatt des Digitalmultimeter Keysight 34410A gilt für die Wechselspannungsmessung  $R_V = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C_V < 150 \text{ pF}$ . Zu  $L_V$  gibt es keine Angaben, üblich ist ein Wert im Bereich von einigen Nanohenry, bis zu 100 Hz kann eine solche Induktivität komplett vernachlässigt werden (Impedanz maximal einige Mikroohm).

### Frage zu den Nichtidealitäten des Ampere-Meters

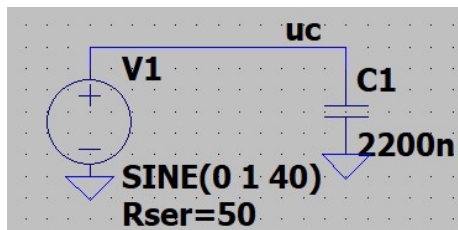
Im Datenblatt des Digitalmultimeter Keysight 34410A kann für die Wechselstrommessung  $R_A$  nachgeschlagen werden, welcher vom Messbereich abhängig ist, dabei gilt  $R_A$  ist maximal  $200 \Omega$ . Es gilt zudem  $C_A < 150 \text{ pF}$  und  $L_A$  ist vernachlässigbar. Haben diese Eigenschaften vom Ampere-Meter auf die Strommessung im Frequenzbereich 40 Hz bis 100 Hz einen Einfluss?

### Auswahl des Kondensators

Folgende Kondensatoren sind im Labor verfügbar: 10 nF, 47 nF, 100 nF, 220 nF, 470 nF, 1000 nF, 2200 nF. Für welche(n) dieser Kondensatoren gilt: Der Einfluss der parasitären Elemente des Multimeters über den ganzen Bereich der Messfrequenz bis 100 Hz macht weniger als 1 Promille aus? Welcher Kondensator ist die beste Wahl für einen möglichst kleinen systematischen Fehler?

## Messaufgabe 1

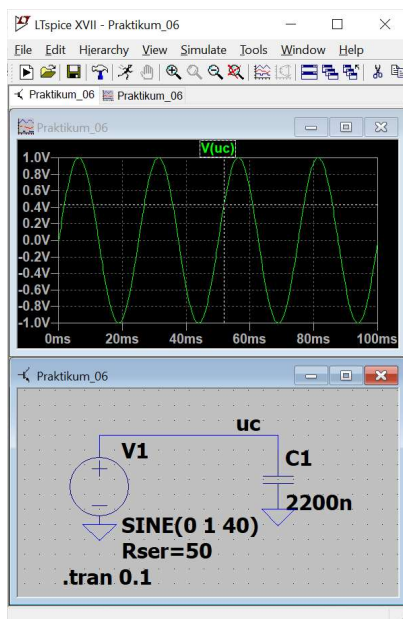
Bauen Sie die Messschaltung nach Abbildung 1 für einen 2200 nF Kondensator wie dargestellt in LTspice auf:



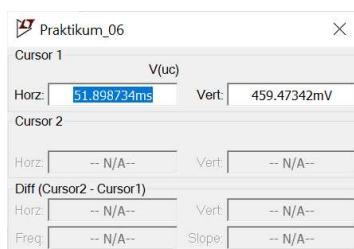
Hinweise dazu:

- Einstellen der Quelle: Rechtsklick, 50 für «Series Resistance» eintragen, dann «Advanced», «Sine» auswählen mit Einstellungen Amplitude 1 (V), Freq. 40 (Hz), «OK»
- Kondensator einfügen: Kondensatorsymbol in der Icon-Leiste anklicken, mit erneutem Klick platzieren, mit der Escape-Taste den Modus beenden. Rechtsklick auf Kondensator, «2200n» für Capacitance eintragen.
- Label «uc» anfügen: In der Iconliste auf das Symbol mit «A» klicken, an die Verbindungsleitung zwischen Quelle und Kondensator anklicken.

Nun auf das Simulationssymbol klicken (Jogger). Reiter Transient wird dargestellt. Dort bei Stop time 0.1 eintragen, «OK». Fenster teilt sich und sollte so aussehen, ansonsten auf das Label «uc» klicken:



Klicken Sie auf V(uc) im Fenster mit dem Spannungsverlauf. Sie erhalten ein Fadenkreuz. Bewegen Sie den Cursor auf eine Linie des Fadenkreuzes, der Cursor ändert auf «1». Klicken Sie und halten Sie die linke Maustaste gedrückt. Damit können Sie das Fadenkreuz entlang der Spannungskurve verschieben. In einem extra Fenster sehen Sie den Wert an der aktuellen Fadenkreuzposition:



Klicken Sie auf den Kondensator um eine Anzeige des Stromverlaufs zu erhalten. Klicken Sie in der Anzeige der Verläufe auf «I(C1)». Das Fadenkreuz wechselt nun auf den Stromverlauf und Sie können Stromwerte herauslesen.

Messaufgabe 1: Lesen Sie die Amplitude der Spannung und des Stromes aus dem Verlaufsdiagramm für die Frequenzen 40 Hz, 50 Hz, 60 Hz, 70 Hz, 80 Hz, 90 Hz, 100 Hz.

### Auswertungsaufgabe 1

Berechnen Sie aufgrund der Messwerte den Verlauf der Impedanz des Kondensators und stellen Sie diese in einer doppelt-logarithmischen Darstellung dar (x-Achse: Frequenz normiert auf 1 Hz, y-Achse: Impedanz normiert auf 1  $\Omega$ , beide Achsen logarithmisch skaliert). Welche Kurvenform ergibt sich? Stimmt diese Kurvenform mit der erwarteten Kurvenform überein?

### Messaufgabe 2

Berechnen Sie einen Widerstandswert wie folgt:

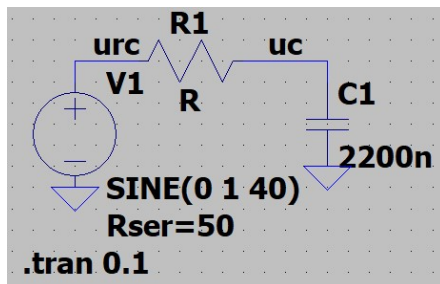
$$R = \frac{1}{100 \text{ Hz} \cdot 2\pi \cdot C}$$

mit  $C = 2200 \text{ nF}$ .

Schalten Sie den Widerstand in LTspice in Serie zum Kondensator:

- Mit der Schere in der Icon-Liste können Sie die Verbindung von Quelle zu Kondensator auftrennen
- Drehen des Widerstandes um 90 ° mit CTRL-R
- Platzieren Sie ein Label «urc» gleich vor dem Widerstand

Ihr Modell sollte nun so aussehen:



Mit Rechtsklick geben Sie noch den oben berechneten Widerstandswert ein. Wiederholen Sie nun die Messaufgaben 1.

### Auswertungsaufgaben 2

Die Impedanz der RC-Schaltung wird bei jeder Frequenz mittels  $\hat{U}_{RC} / \hat{I}_{RC}$  berechnet. Stellen Sie den Verlauf der Impedanz in Abhängigkeit der Frequenz in einem doppelt logarithmischen Diagramm dar. Erklären Sie, wie der prinzipielle Verlauf der Kurve basierend auf den Eigenschaften der Elementen  $R$  und  $C$  sowie ihrer Zusammenschaltung zustande kommt.