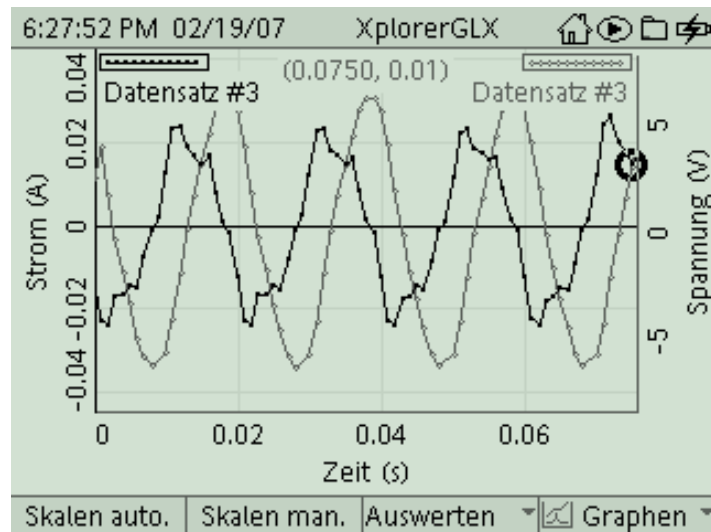


**Kondensator im Wechselstromkreis**


Klassenstufe	Oberthemen	Untertemen	Anforderungs- niveau	Durchführungs- niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
S II	Elektrizitätslehre	Wechselstrom	●●	■	- 0 - 15 Min 45 - 90 Min

**Lehrziele**

- die Schüler untersuchen Stromstärke und Spannung an einem Kondensator im Wechselstromkreis (fachlicher Inhalt)
- die Schüler führen eine Strom- und Spannungsmessung mit kurzer Messzeit mit Hilfe eines Strom-/Spannungssensors und dem Messinterface Xplorer GLX durch (technische Kompetenz)
- die Schüler ermitteln die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung und bestimmen den Wechselstromwiderstand (Impedanz) des Kondensators bei Netzfrequenz (Methodenkompetenz)
- die Schüler prüfen die einschlägigen Formeln für Reihen- und Parallelschaltung eines Widerstandes und eines Kondensators im Wechselstromkreis (Methodenkompetenz)

**Einführung**

Das Verhalten von Kondensator und Spule im Wechselstromkreis gehört im Physikunterricht der Oberstufe eher zu den vernachlässigten Themen, obwohl es zu den Grundlagen für die Entwicklung des Schwingkreises (Oszillators) und des Frequenzfilters gehört. Dies liegt vielleicht auch daran, dass experimentelle Untersuchungen meist dem Lehrer vorbehalten waren und eine weitergehende quantitative Analyse mit Hilfe eines Oszilloskops relativ umständlich war.

**Kondensator im Wechselstromkreis**

Gerade diese quantitativen Analysen fallen mit dem Interface Xplorer GLX recht leicht, so dass sich diese Anleitung dem Wechselstromverhalten eines Kondensators widmet. Am interessantesten wäre hier natürlich die Frage nach der Frequenzabhängigkeit der Impedanz. Dies würde allerdings einen Funktionsgenerator mit Verstärker im Praktikum voraussetzen. Auch wenn bereits ein Verstärker für den Signalausgang des GLX erhältlich ist, beschränkt sich das Experiment auf Untersuchungen, die mit der festen Netzfrequenz möglich sind. Damit kommt als Stromversorgung jeder einfache Netztrafo in Frage, in den meisten Praktikumsräumen findet sich zudem eine entsprechende Niederspannungsversorgung via Schalttafel, die geeignete Wechselspannungen bereitstellt. Die entsprechenden frequenzabhängigen Formeln können so experimentell natürlich nicht gefunden, sondern lediglich punktuell geprüft werden, was aber gerade in Verbindung mit den ohmschen Widerständen bereits recht anspruchsvolle Untersuchungen ermöglicht. Schön darstellbar ist vor allem die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in Abhängigkeit von kapazitivem und ohmschem Widerstand.

Das Experiment ist wiederum so aufgebaut, dass es sowohl kurz (nur Darstellung von Strom- und Spannungsverlauf in einem rein kapazitiven Kreis) als auch lang (Parallel- und Reihenschaltung von ohmschen Widerständen zur Kapazität) durchgeführt werden kann.

**Notwendiges Material**

Kunststoffkondensator (z.B. 10  $\mu\text{F}$ ) oder  
bipolarer Elektrolytkondensator (z.B. 47  $\mu\text{F}$ )  
Widerstand (z.B. 100  $\Omega$ )  
Wechselstromquelle  
Leitungen

Xplorer GLX  
Strom-/Spannungssensor

**Didaktische und methodische Hinweise**

Im Anhang finden sich ein Handbuch sowie ein Schülerarbeitsblatt.

Das Handbuch ist als Lehrsaalexemplar gedacht und sollte jeder Arbeitsgruppe in einem Schnellhefter oder Ordner zur Verfügung stehen, es führt die Schüler step-by-step durch den Versuch und erläutert insbesondere sehr ausführlich die Bedienung des Xplorer GLX. Das Schülerarbeitsblatt enthält eine Kurzfassung von Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung (zur häuslichen Wiederholung) und dient als Protokoll zur Auswertung der Versuchsergebnisse. Der Schaltplan im Handbuch und im Schülerarbeitsblatt sollte eigentlich universell verwendbar sein, lediglich die technischen Daten für die Bauteile wird man vermutlich an das vorhandene Praktikumsmaterial anpassen. Bei der Auswahl sollte bedacht werden, dass aufgrund der geringen Netzfrequenz die eingesetzte Kapazität doch recht groß ausfallen sollte. Der verwendete Kondensator muss auf jeden Fall ein bipolarer Typ sein. Mit den angegebenen Daten klappt es ganz ordentlich, auch wenn die Stromkurve (wohl aufgrund der Kondensatorbauform) etwas krakelig wird.

Die Schüler bauen zunächst die Schaltung entsprechend dem Schaltplan auf. Der korrekte Einbau des Stromsensors ist zu prüfen, allerdings ist er gegen Kurzschluss gesichert, so dass er auch bei fehlerhaftem Einsatz nicht beschädigt wird. Der Einbau des Spannungssensors ist wohl unproblematisch. Die Sensoren werden automatisch erkannt, lediglich die Abtastrate muss den

**Kondensator im Wechselstromkreis**

spezifischen Bedürfnissen angepasst werden (das wird in der Anleitung ausführlich erklärt). Die mit dem GLX erreichbare Abtastrate reicht übrigens für Messungen im Bereich der Netzfrequenz vollkommen aus, bei 1000 Messungen pro Sekunde stehen pro Periode immerhin 20 Messpunkte zur Verfügung, was eine recht ordentliche Darstellung ermöglicht. Stromstärke und Spannung werden in ihrem zeitlichen Verlauf vermessen. Mit den Tools **Zoom** oder **Skalieren** lässt sich dann der Strom- und Spannungsverlauf genau betrachten. Mit dem Ausdruck der Messkurven kann man das Experiment bereits beenden.

Die Auswertung der ersten Messung umfasst die Bestimmung der Periodendauer und der Phasenverschiebung. Zudem wird auch der Wechselstromwiderstand (Impedanz) bei der verwendeten Frequenz bestimmt und mit dem theoretischen Wert verglichen.

In weiteren Messungen wird dann das Zusammenwirken des Kondensators mit einem ohmschen Widerstand untersucht. Der Wert des ohmschen Widerstandes sollte etwa im Bereich der Impedanz des Kondensators liegen, damit die Effekte besonders deutlich zum Tragen kommen (ein sehr hoher Widerstand in Reihe zum Kondensator geschaltet macht das Ganze natürlich ziemlich ohmsch, dann bleibt von der Phasenverschiebung auch nichts mehr übrig). Die einschlägigen Formeln werden im Experiment recht gut erfüllt. Deren Behandlung findet natürlich nicht im Praktikum, sondern im Basisunterricht statt. Erfahrungsgemäß bilden sie kein Kernthema im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe, dennoch sollte man mindestens eine dieser Formeln an Hand eines Zeigerdiagramms im Unterricht herleiten. Die Lehrer an den technischen Fachoberschulen werden die angebotenen Messungen sicherlich besonders zu schätzen wissen. Vor allem aber werden diese vergleichenden Messungen den Schülern helfen, ein Gefühl für kapazitives und ohmsches Verhalten im Wechselstromkreis zu entwickeln.

Interessant wäre hier sicherlich noch, den Einfluss der verwendeten Kondensatorbauformen sowie der eingesetzten Stromversorgung auf die ermittelte Kurvenform zu untersuchen.

**Hinweis zum Zeitbedarf**

Die Erklärungen sind so ausführlich gehalten, dass die Schüler auch bei einem Ersteinsatz des Gerätes zurechtkommen sollten. In einem verkürzten Experiment wird man nur eine Messung (Kondensator alleine) aufnehmen und dabei Phasenverschiebung und Impedanz bestimmen. Dann reichen 45 min Experimentierzeit aus. Will man auch die Kombination mit den ohmschen Widerständen durchführen, sollte man in jedem Fall 90 min planen. Leistungsfähige Gruppen finden am Ende des Handbuches auch Vorschläge für weitere Untersuchungsmöglichkeiten vor. Zudem besteht wieder die Möglichkeit, die Auswertung zuhause fortzusetzen, wofür die Schüler die Messdaten via USB-Stick oder MP3-Player mit nach Hause nehmen. Wegen der engen Verschränkung von Datenaufnahme und -analyse in diesem Versuch sollte die Analyse aber möglichst vollständig im Praktikum erfolgen.

**Arbeitsblatt (-blätter)**

- Handbuch für den Experimentierraum (5 Seiten farbig, ein Exemplar pro Gruppe)
- Schülerarbeitsblatt (1 Seite s/w, zum Kopieren für jeden Schüler)

## Aufgabe:

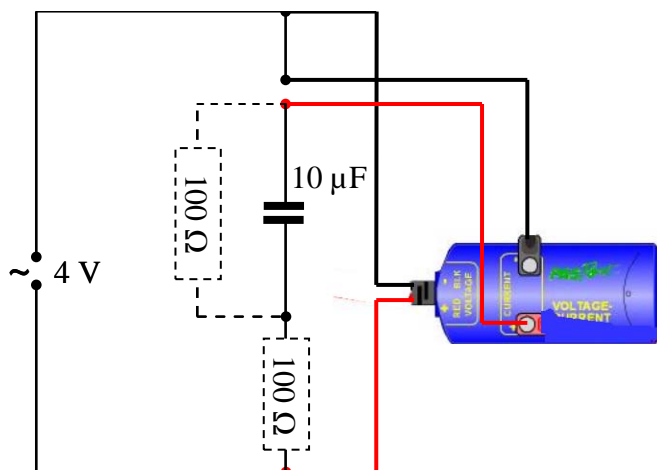
Unter Wechselstrom verhalten sich Kondensatoren anders als ohmsche Widerstände. Im Versuch vergleichen wir den zeitlichen Verlauf von Spannung und Stromstärke am Kondensator, bestimmen den Wechselstromwiderstand (Impedanz) eines Kondensators und prüfen auch die einschlägigen Formeln für Reihen- und Parallelschaltung eines Kondensators mit einem ohmschen Widerstand.

## Sicherheitshinweis:


Der maximale Spannungswert für den Spannungssensor beträgt 10 V, die Scheitelwerte liegen aber um den Faktor  $\sqrt{2}$  über der angegebenen Effektivspannung. **Wir arbeiten deshalb in dem Versuch mit einer Effektivspannung von 4 V**, das ergibt mit dem verwendeten Kondensator ganz brauchbare Messkurven und Messwerte. Wir müssen für die Wechselspannung ohnehin einen ungepolten Kondensatortyp verwenden, deshalb besteht hier keine Gefahr für Fehlpolung. **Der Stromsensor darf nicht ohne Verbraucher (hier Kondensator) in Reihe am Netzgerät angeschlossen werden (Kurzschluss!).**

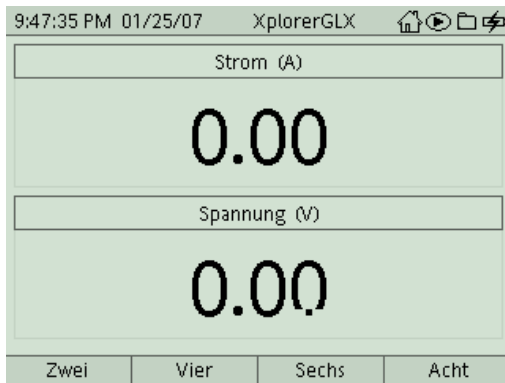
## Versuchsaufbau:

1. Erstelle den Versuchsaufbau nach Schaltplan mit Hilfe der Steckplatte und dem  $10 \mu\text{F}$  – Kondensator. Berücksichtige schon beim Aufbau die Positionen für Reihen- und Parallelschaltung des  $100 \Omega$  – Widerstandes, er wird aber erst später eingebaut.
2. **Das Wechselspannungsnetzgerät wird zunächst noch nicht in der Steckdose eingesteckt. Achte auf übersichtlichen Aufbau!**  
Führe die Anschlussbuchsen 0 und 4 des Wechselspannungsnetzgeräts auf die Steckplatte (das entspricht  $U_{eff} = 4 \text{ V}$ ) und schließe dort auch die Messleitungen an, die aus dem Spannungs-/Stromsensor (Voltage/Current) herausführen (Spannungsmessung).
3. Füge den Strommesseingang des Spannungs-/Stromsensors (Voltage/Current) mit separaten Messleitungen in den Stromkreis so ein, dass er in der gleichen Polungsrichtung durchlaufen wird, wie der Spannungsmesseingang (siehe Zeichnung).



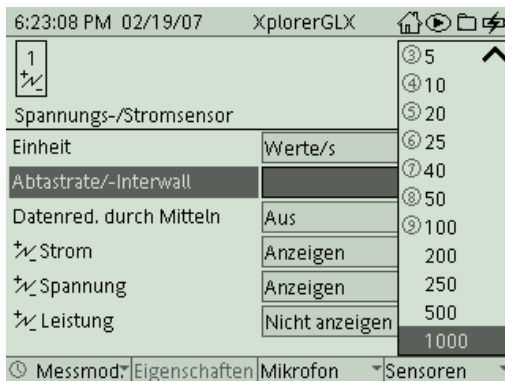
## Versuchsdurchführung (Bedienung des GLX):

1. Schließe den Netzadapter am GLX an oder schalte es mit  ein .
2. Stecke den Spannungs-/Stromsensor (Voltage/Current) vorsichtig (**ohne zu verkanten**) am GLX im Port 1 ein. Dabei öffnet automatisch folgendes Messfenster:



3. In der Digitalanzeige werden bereits laufend die aktuellen Messwerte angezeigt. Wir passen zuerst unseren Sensor an die spezifischen Anforderungen dieses Versuches an.

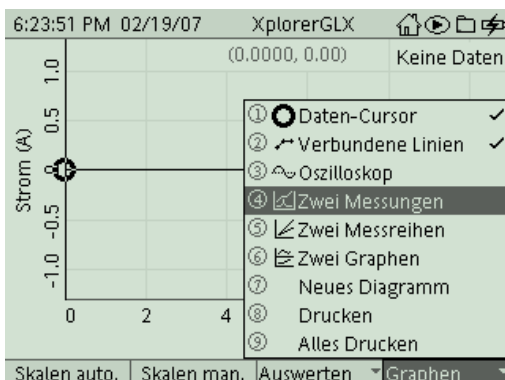
Wechsle dazu mit ins Hauptmenü und dann mit in das Menü Sensoren:






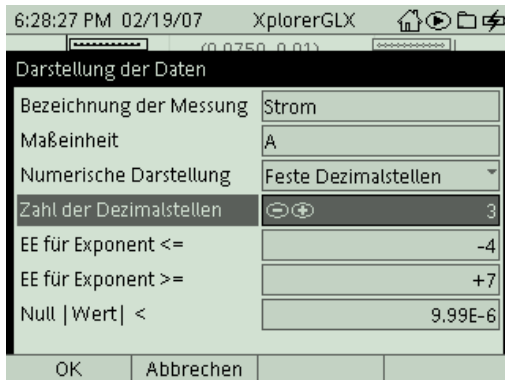
4. Wähle das Feld *Abtaste-/Intervall* mit und aktiviere es mit . Wähle dann mit und den Wert **1000** (das bedeutet, dass das GLX während der Messung 1000 Messwerte pro Sekunde aufnehmen wird). Kehre dann wieder mit



ins Hauptmenü zurück und wechsle mit ins Menü Graph.

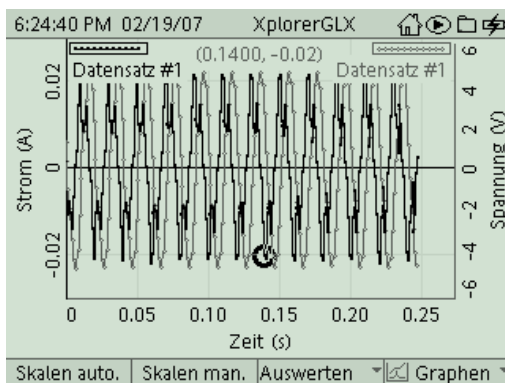
5. Öffne dort mit das Untermenü *Graphen* und aktiviere hier die Darstellungsform **Zwei Messungen**. Dadurch werden die Messkurven für Strom und Spannung in einem Diagramm (aber mit jeweils separaten Skalierungen links und rechts des Koordinatensystems) dargestellt.



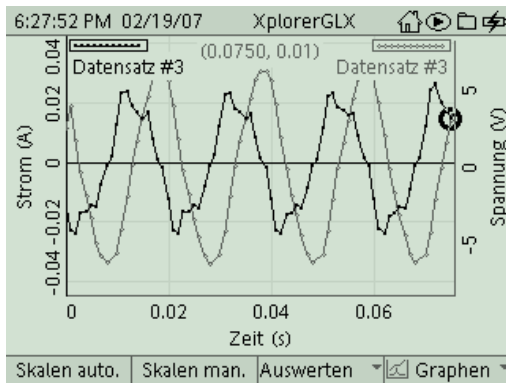
6. Vor der Messung verändern wir noch die Anzahl der angegebenen Stellen für die Strommessung. Invertiere mit  das Feld „Strom“, öffne mit  das zugehörige Pulldown-Menü und wähle *Darstellung der Daten*. Setze die Zahl der Dezimalstellen mit + auf den Wert 3 (das erleichtert später die Auswertung) und kehre mit  (OK) wieder ins Messfenster zurück.



7. Schließe nun den Netzstecker des Wechselspannungsnetzgeräts an der Steckdose an. Beginne die Messung für einen kurzen Moment mit  und beende sie sofort wieder mit . Die gesamte Messung sollte nicht länger als einen Sekundenbruchteil dauern (Das GLX schreibt pro Sekunde 1000 Messwerte je Messgröße in seinen Speicher. Die Werte wiederholen sich dabei periodisch entsprechend der angelegten Wechselspannung, längere Messzeit bringt also nicht mehr Information). Das GLX nimmt die Messwerte zwar synchron auf, die Darstellung im Display erfolgt aber zeitlich verzögert, da die Graphik des GLX hier an ihre Grenzen stößt.



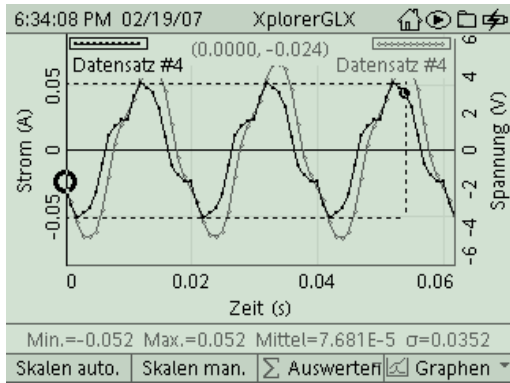
8. Durch automatisches und zusätzlich manuelles Skalieren musst Du Dir noch ein besseres Bild von der Messkurve verschaffen. Zur instruktiven Darstellung ist die Stromkurve hier so skaliert, dass ihre Amplitude kleiner dargestellt ist als die Amplitude der Spannung (das ist natürlich Geschmackssache). Achte beim Skalieren und Verschieben aber darauf, dass die **Nulllinie** für beide Messkurven **identisch** bleibt. Die Spannungskurve stellt die angelegte Wechselspannung dar (die ist natürlich sinusförmig). Die physikalischen Abläufe im Kondensator machen unserer Theorie vom sinusförmigen Stromverlauf einen Strich durch die Rechnung, dieser weicht je nach Kondensatorbauform mehr oder weniger von der Sinusform ab. Schön ist aber das **Vorauslaufen des Stromes** vor der Spannung (Kondensat**oooo**r) zu erkennen.



9. Bevor wir unsere Messdaten noch weiter quantitativ auswerten, kannst Du Deine Messkurve ausdrucken. Hierzu musst Du aber erst die Steckverbindungen am GLX lösen und es per USB am Drucker anschließen. Mit **F4** gelangst Du in das Untermenü *Graphen* und druckst dann mit dem Befehl **Drucken** und **OK** (**F1**).
10. Bestimme zunächst die Periodendauer für die Spannungs- bzw. Stromkurve. Dies geht am besten durch Ausmessen aus dem ausgedruckten Diagramm (berücksichtige die Skalierung der Zeitachse).  
Ermittle dann auch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung in Grad. Dies geht am besten durch Ausmessen aus dem gedruckten Diagramm (berücksichtige, dass einer vollen Periodendauer eine Phasendifferenz von  $360^\circ$  entspricht).
11. Als nächstes bestimmen wir den Wechselstromwiderstand (Impedanz) des Kondensators und vergleichen ihn mit dem theoretischen Wert. Verwende zunächst die Definition  $X_C = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{U_{max}/\sqrt{2}}{I_{max}/\sqrt{2}} = \frac{U_{max}}{I_{max}}$ , wobei wir dabei natürlich einen Fehler machen, da der Stromverlauf nicht exakt sinusförmig ist. Die Maximalwerte für Strom und Spannung kannst Du aus den ausgedruckten Kurven entnehmen oder mit Hilfe des Tools **Statistik** im Menü *Auswerten* (**F3**) ermitteln. Zwischen den beiden Messkurven wechselst Du mit **toggle active data** im Menü *Auswerten* (**F3**).  
Vergleiche den so aus den Messdaten ermittelten Wert für  $X_C$  mit dem theoretisch berechneten Wert  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ . Verwende im Weiteren den experimentell ermittelten Wert.
12. Nun führen wir eine zweite Messung durch, für die wir einen  $100 \Omega$  – Widerstand parallel zum Kondensator schalten (das Netzgerät kann dabei eingesteckt bleiben). Führe die Messung und Auswertung entsprechend den Schritten 7 – 11 durch und vergleiche die Werte für Phasenverschiebung  $\varphi$  und Impedanz  $X_C$  mit den Formeln für die Parallelschaltung von Kondensator und ohmschem Widerstand:

$$\tan \varphi = -\frac{R}{X_C} \qquad \frac{1}{X_{par}} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$$

Den experimentellen Wert für die Phasenverschiebung ermittelst Du am besten wieder aus einer ausgedruckten Messkurve (vermutlich reicht pro Gruppe ein Ausdruck). Dies erlaubt auch eine manuelle Mittelung der doch recht holprigen Stromkurve. Verwende bei der Berechnung der theoretischen Werte den experimentellen Wert für  $X_C$  aus dem ersten Experiment.

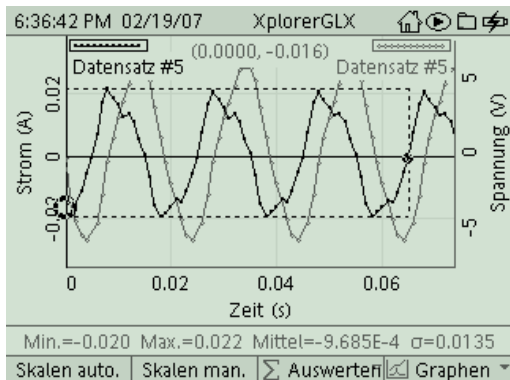


Durch die Parallelschaltung nimmt logischerweise der Widerstand ab und die Stromstärke zu. Beachte, dass sich dabei aber auch die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung verringert, da der Stromkreis jetzt stärker ohmsch ist als im ersten Experiment.

13. Für die dritte Messung schalten wir den  $100\ \Omega$  – Widerstand in Reihe (seriell) zum Kondensator. Die Messaufnahme und Auswertung entspricht wieder den Schritten 7 – 11. Die Formeln für die Reihenschaltung von Kondensator und ohmschem Widerstand lauten:

$$\tan \varphi = -\frac{X_C}{R}$$

$$X_{ser} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



Durch die Reihenschaltung nimmt logischerweise der Widerstand zu und die Stromstärke ab. Beachte, dass sich dabei aber auch die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung verringert, da der Stromkreis jetzt mehr ohmsch ist als im ersten Experiment.

14. Weitere Experimentiermöglichkeiten:

- Natürlich kann die Parallel- und Reihenschaltung auch mit anderen Widerständen durchgeführt werden. Überlege Dir, wie die Werte des ohmschen Widerstandes bei Parallel- und Reihenschaltung jeweils gewählt werden müssen, damit das Verhalten des Stromkreises stärker ohmsch wird (das heißt, dass Strom und Spannung stärker synchron laufen).
- Den Kondensator könnte man auch gegen den  $1\ \mu F$  – Typ auswechseln. Die Kondensatoren mit höheren Kapazitäten sind monopolare Elektrolytkondensatoren und für den Einsatz bei Wechselstrom **nicht geeignet**.

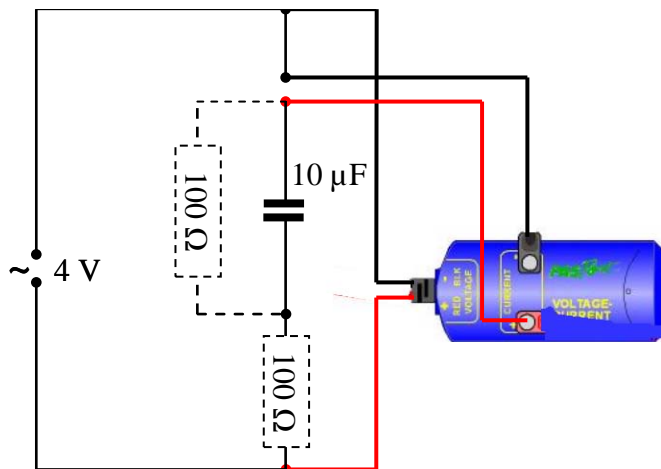


**Aufgabe:**

Unter Wechselstrom verhalten sich Kondensatoren anders als ohmsche Widerstände. Im Versuch vergleichen wir den zeitlichen Verlauf von Spannung und Stromstärke am Kondensator, bestimmen den Wechselstromwiderstand (Impedanz) eines Kondensators und prüfen auch die einschlägigen Formeln für Reihen- und Parallelschaltung eines Kondensators mit einem ohmschen Widerstand.

**Sicherheitshinweise:**

Der maximale Spannungswert für den Spannungssensor beträgt 10 V, die Scheitelwerte liegen aber um den Faktor  $\sqrt{2}$  über der angegebenen Effektivspannung. **Wir arbeiten deshalb in dem Versuch mit einer Effektivspannung von 4 V**, das ergibt mit dem verwendeten Kondensator ganz brauchbare Messkurven und Messwerte. Wir müssen für die Wechselspannung ohnehin einen ungepolten Kondensatortyp verwenden, deshalb besteht hier keine Gefahr für Fehlpolung. **Der Stromsensor darf nicht ohne Verbraucher (hier Kondensator) in Reihe am Netzgerät angeschlossen werden (Kurzschluss!).**

**Aufbau und Durchführung:**

Messung von Strom und Spannung.

**Auswertung:**

1. Periodendauer und Frequenz:  $T = \dots\dots\dots$   $f = \dots\dots\dots$

2. Richtung der Phasenverschiebung:  $\dots\dots\dots$

3. Kondensator allein:

gemessen:  $X_C = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \dots\dots\dots$ ,  $\varphi = \dots\dots\dots$ ,

theoretisch:  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \dots\dots\dots$ ,  $\varphi = \dots\dots\dots$ ,

3. Kondensator mit 100  $\Omega$  – Widerstand parallel:

gemessen:  $X_{par} = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \dots\dots\dots$ ,  $\varphi = \dots\dots\dots$ .

theoretisch:  $\frac{1}{X_{par}} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2} = \dots\dots\dots \Rightarrow X_{par} = \dots\dots\dots$

$\tan \varphi = -\frac{R}{X_C} = \dots\dots\dots \Rightarrow \varphi = \dots\dots\dots$ .

4. Kondensator mit 100  $\Omega$  – Widerstand in Reihe:

gemessen:  $X_{ser} = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \dots\dots\dots$ ,  $\varphi = \dots\dots\dots$ .

theoretisch:  $X_{ser} = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \dots\dots\dots$ ,

$\tan \varphi = -\frac{X_C}{R} = \dots\dots\dots \Rightarrow \varphi = \dots\dots\dots$ .

**Ergebnis:**

Eine reine Kapazität führt im Wechselstromkreis zu einer Phasenverschiebung von  $\dots\dots\dots$ . Bei Parallel- und Reihenschaltung von ohmschen Widerständen  $\dots\dots\dots$  sich die Phasenverschiebung entsprechend dem Einfluss des ohmschen Widerstandes.