

Komplexe Widerstände

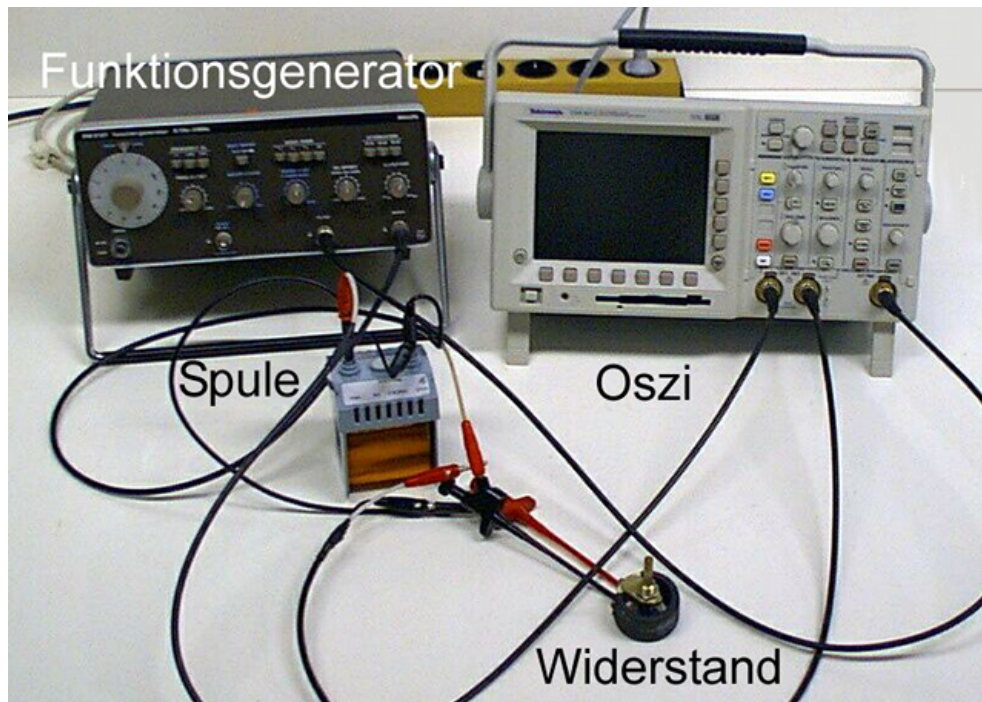


Abb. 1: Versuchsaufbau

Geräteliste:

Kondensator $32\mu F$ $400V$, Kapazitätsdekade, Widerstandsdekade, Widerstand ($> 100\Omega$) , Messwiderstand 1Ω , verschiedene Spulen, Funktionsgenerator Speicheroszilloskop, Trenntransformator, Analoge Präsentationsmessinstrumente mit Ruhelage $0V$ in der Mitte

Versuchsbeschreibung:

Das Verhalten von Wechselspannung und Strom an Spule und Kondensator wird demonstriert.

Für eine Induktivität besteht eine Phasenverschiebung von 90° zwischen Strom und Spannung, der Strom erreicht seine maximale Amplitude verzögert.

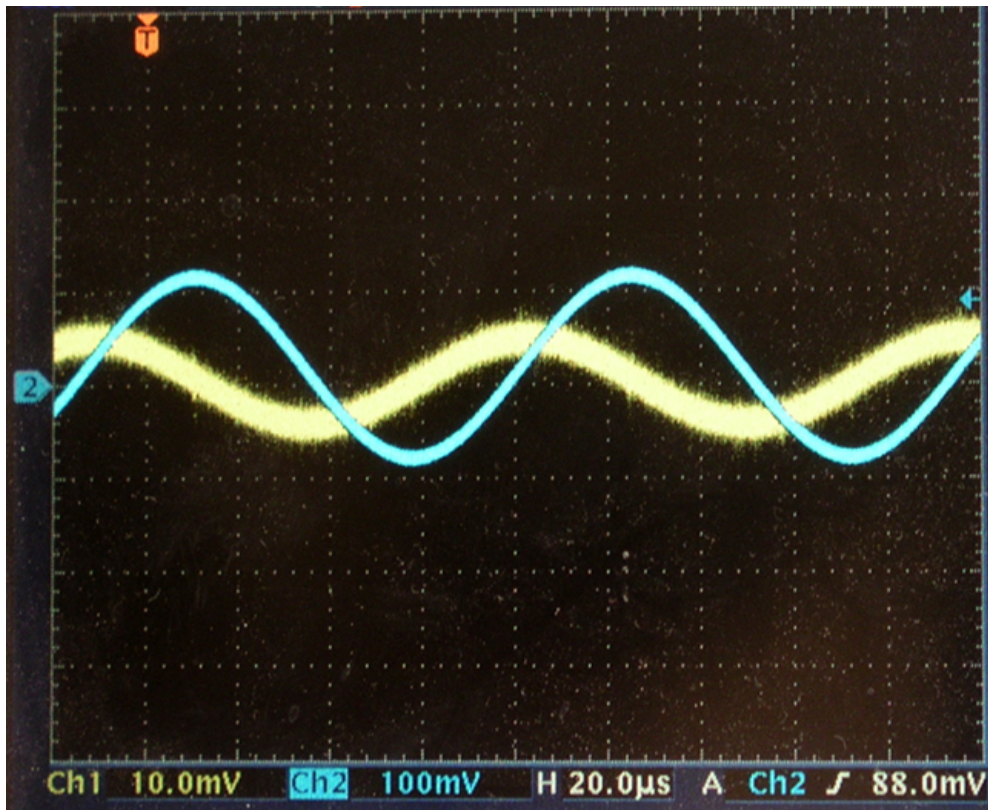


Abb. 2: Spannung (gelb) und Strom (blau) an einer Induktivität

Bei einem Kondensator erreicht der Strom 90° vor der Spannung seine maximale Amplitude.

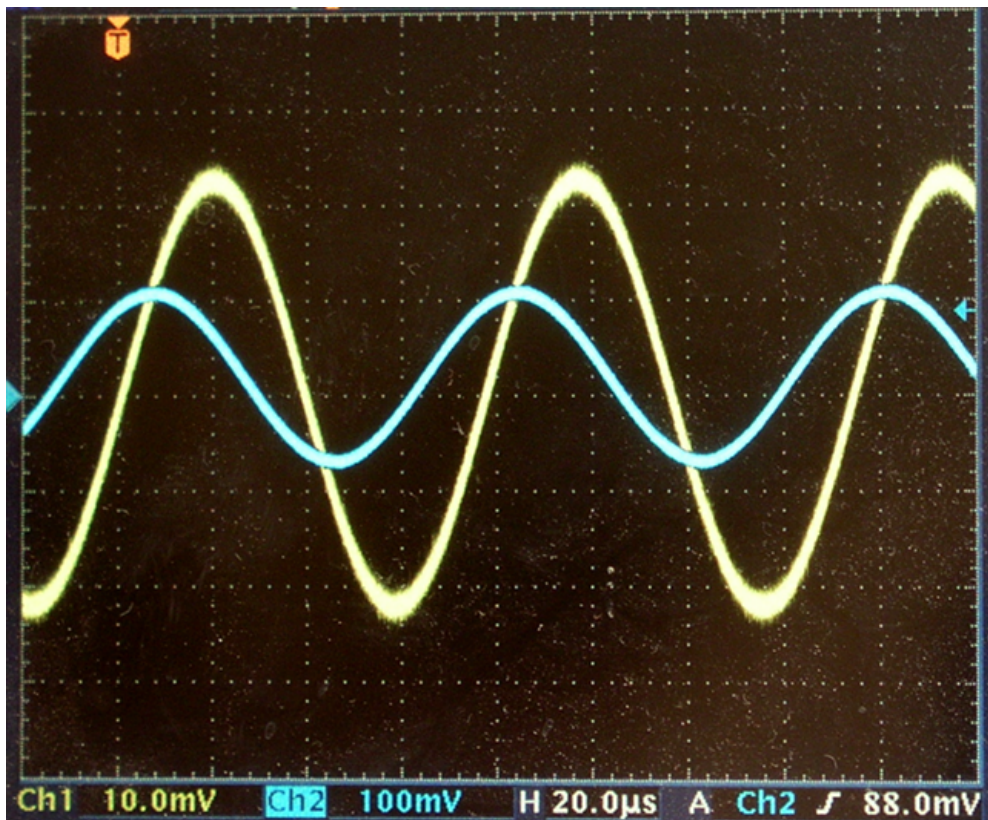


Abb. 3: Spannung (gelb) und Strom (blau) an einem Kondensator.

In beiden Schaltungen kann durch Hinzuschalten der MATH-Funktion des Oszilloskops die Leistung der jeweiligen Schaltung direkt sichtbar gemacht werden. Die Multiplikation der beiden Verläufe zeigt positive und negative Werte.

→ Was bedeutet negative Leistung?

Zusätzlich kann der gleiche Schaltungsaufbau zur Präsentation der Verhältnisse an einem Ohmschen Widerstand gezeigt werden.

Bemerkungen:

Der Stromverlauf in Abhängigkeit von der Frequenz der angelegten Spannung zeigt bei Induktivitäten und Kapazitäten ein Verhalten, das mit Hilfe von komplexen Zahlen beschrieben wird.

Oftmals hilft auch eine Veranschaulichung im so genannten Zeigermodell der komplexen Zahlenebene.

Bei einem Kondensator liegt zum Zeitpunkt des Einschaltens ein sehr kleiner Widerstand vor, der Strom weist ein Maximum auf. Im Falle einer kontinuierlich veränderten Spannung

$$U(t) = U_0 \cos(\omega t) \quad , \quad \text{kann der so genannte Blindwiderstand } X_C = \frac{1}{i \omega C} \text{ definiert}$$

werden, dessen Betrag mit steigender Frequenz abnimmt.

Eine Eindrucksvolle Präsentation der Phasenverschiebung gelingt mit analogen Messgeräten und sehr niedrigen Frequenzen $< 1 \text{ Hz}$.

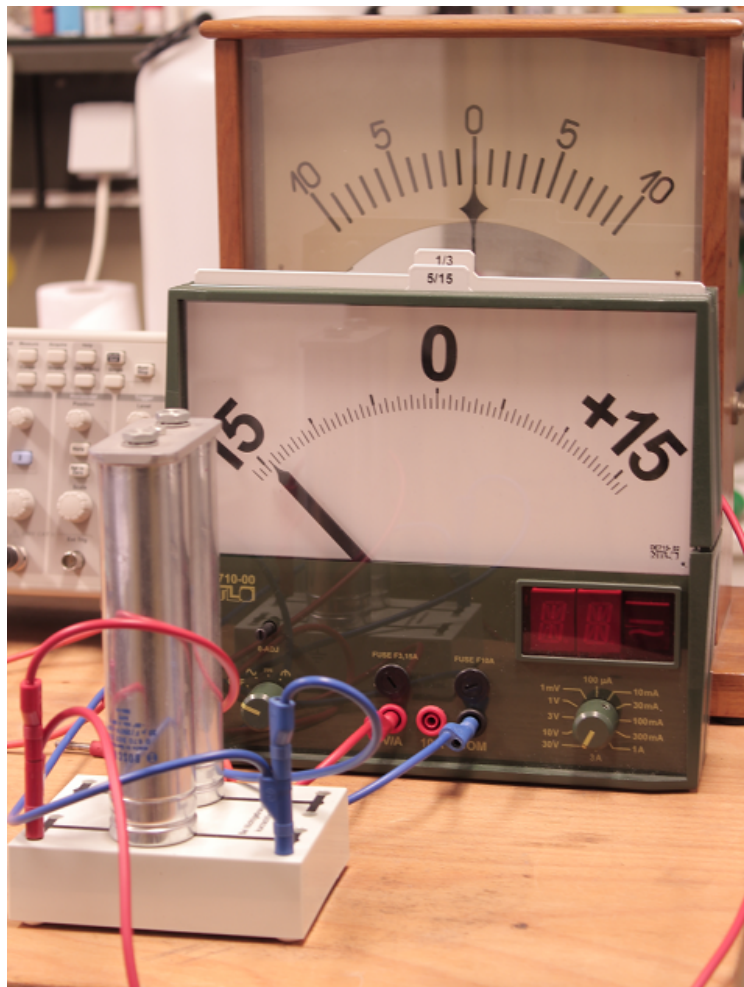


Abb. 4: Phasenverschiebung bei niedrigen Frequenzen, sichtbar gemacht mit analogen Messinstrumenten.

Dafür wird die Spannung an einem $32 \mu F$ Kondensator und an einem $1 k\Omega$ in Reihe gemessen.

Beim Anschluss an das Oszilloskop muss in Betracht gezogen werden, dass die Masse der Messleitungen gekoppelt und mit Erde verbunden sind. Um den negativen Pol der Messleitung potentialfrei in die Schaltung einzubringen, kann der Funktionsgenerator oder das Oszilloskop über einen Trenntransformator betrieben werden.

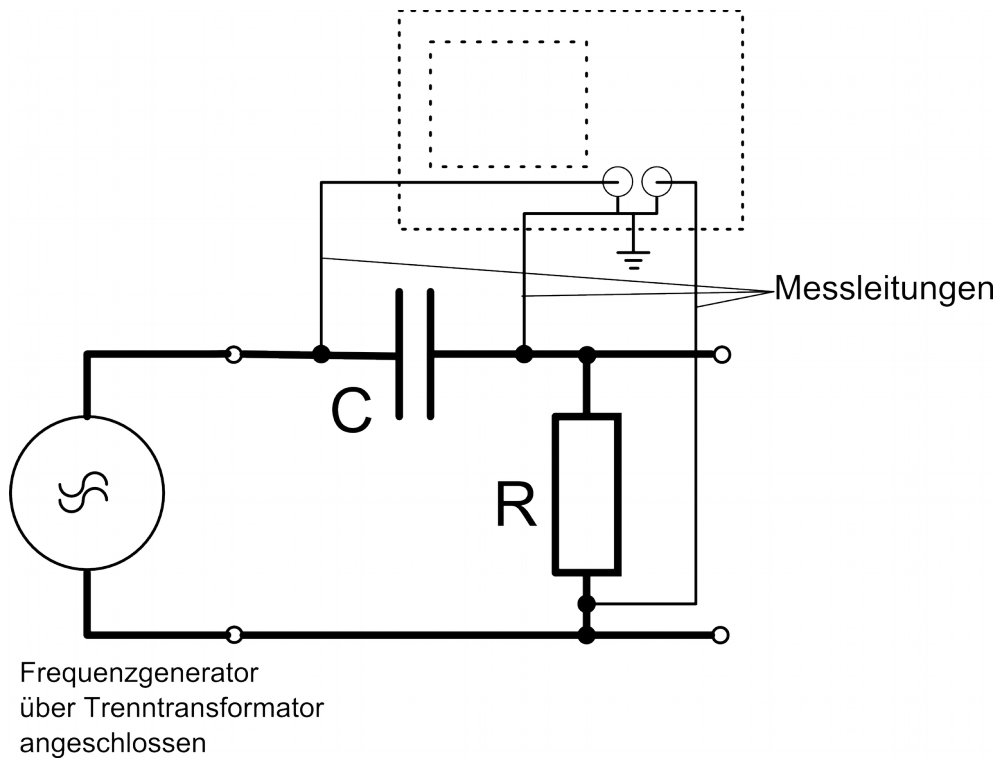


Abb. 5: Schaltungsaufbau für einen Kondensator.

Zum Messen des Stroms wird in einer Schaltung die Spannung an einem Ohmschen Widerstand gemessen, der Aufbau muss dafür dem entsprechenden Effekt angepasst werden. Um eine Phasenverschiebung von annähernd 90° zu erreichen, erfolgt die Messung der Induktivität am Besten bei hohen Frequenzen und die Messung des Kondensators bei niedrigen.

Einige Beispielwerte zum Vorführen:

Kondensator an Wechselspannung:

Kondensator $1\mu F$ in Reihe mit einem Widerstand der Größe $1,5 k\Omega$, die Werte für den komplexen Widerstand des Kondensators

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

betragen dann ca.

20 Hz	→	7,9 kΩ
100 Hz	→	1,5 kΩ
1 kHz	→	160 Ω

Gemessen wird die Spannung des Frequenzgenerators und die Spannung am Widerstand. Die Phasenverschiebung ist in dieser Schaltung für kleine Frequenzen (z.B. 20 Hz) maximal bei 90° , für 100 Hz beträgt sie 45° und zu höheren Frequenzen verschwindet sie.

Spule an Wechselspannung:

Um bei den Widerstandswerten zu bleiben, wird die Induktivität (35 mH , 12Ω) so ausgelegt, dass ihr komplexer Widerstand X_L bei einer Phasenlage von 45° ebenfalls $1,5\text{ k}\Omega$ beträgt. Daraus folgt für die Grenzfrequenz ein Wert von ca. 7 kHz . Auch diese Schaltung lässt sich vielseitig einsetzen.

Für hohe Frequenzen (einige 10 kHz) beträgt die Phasenverschiebung zwischen angelegter Spannung und Strom 90° .

Zunächst sind diese Schaltungen zugeschnitten auf die Verhältnisse für ideale Bauteile (L und C) zu präsentieren.