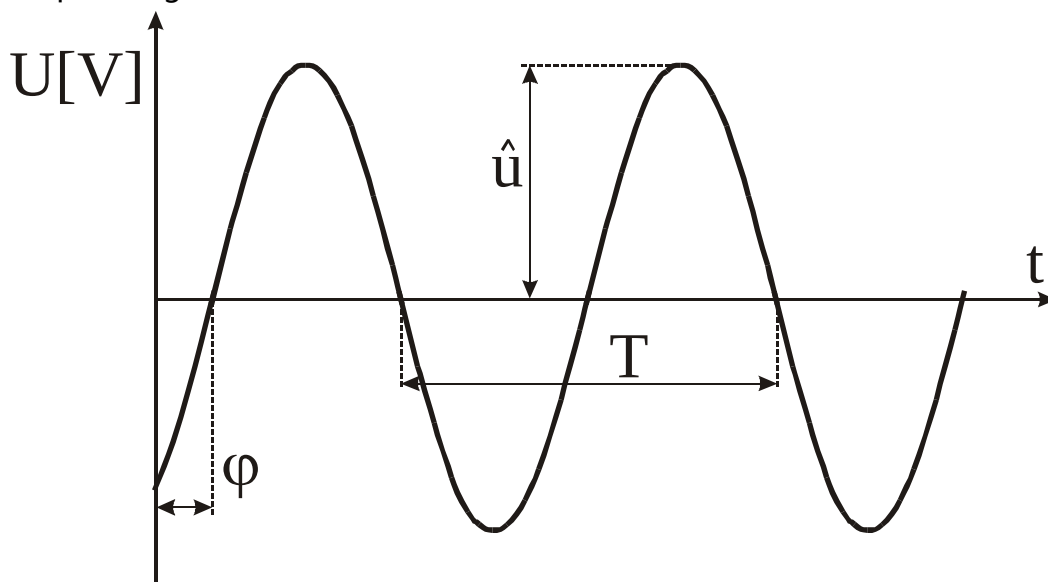


Einleitung

Wechselspannung & Wechselstrom

Eine **Gleichspannung** bleibt (wie der Name schon sagt) zeitunabhängig auf „gleichem“ Wert. Das bedeutet, dass **unabhängig vom Zeitpunkt immer die gleiche Spannung** zwischen zwei Anschlüssen vorzufinden ist. Somit reicht zur Charakterisierung einer Gleichspannungsquelle der Wert der von ihr gelieferten Spannung völlig aus.

Bei der **Wechselspannung ändert** sich der **Wert der Spannung in jedem Zeitpunkt**. Die folgende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf einer typischen Wechselspannung:



Es handelt sich hierbei um einen sinusförmigen periodischen Spannungsverlauf mit einer **Periodendauer T** und einer **Amplitude $\hat{u}$** . Die **Position auf der Zeitachse** wird durch den **Winkel φ (Nullphasenlage)** beschrieben.

→ Zur Charakterisierung einer Wechselspannung werden also insgesamt drei Bestimmungsstücke benötigt. Eine sinusförmige Spannung kann durch den mathematischen Ausdruck

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \text{beschrieben werden.}$$

Bei ω handelt es sich um die **Kreisfrequenz**, die mit der **Frequenz** und der Periodendauer auf folgende Weise zusammenhängt:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \qquad f = \frac{1}{T}$$

Für die Angabe der Amplitude $\hat{u}$ gibt es folgende Möglichkeiten:

- Die **Spitze-Spitze-Spannung** $\hat{u}$ gibt den Abstand bzw. die Differenz zwischen minimaler und maximaler Spannung an, es gilt also $\hat{u} = 2 \cdot \hat{u}$.

- Die bei weitem häufigste Angabe ist der **Effektivwert**.

So handelt es sich bei der Aussage: „Wir haben ein 230V-Wechselspannungsnetz“ um die Angabe eines Effektivwertes.

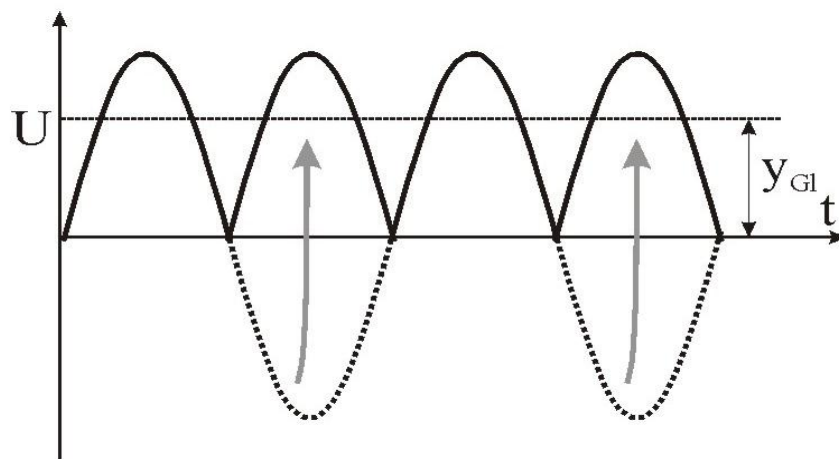


Speist man eine Lampe mit einer Gleichspannung an, so leuchtet sie mit einer dieser Spannung entsprechenden Helligkeit. Erhöht man die Spannung, so folgt im Allgemeinen auch eine Erhöhung der Helligkeit. Betreibt man die selbe Lampe mit einer bestimmten Wechselspannung $\hat{u}$, so stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen die Wechselspannung und die Gleichspannung gleiche Helligkeit ergeben. Das ist der Fall, wenn die Gleichspannung gleich dem Effektivwert der Wechselspannung ist.

Für **sinusförmigen Verlauf** gilt folgende Beziehung zwischen Amplitude und Effektivwert:

$$\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U_{eff}$$

- In der folgenden Grafik finden Sie die Skizze einer sogenannten „gleichgerichteten“ Wechselspannung, bei der die negativen Teile der Spannung ins Positive geklappt wurden.



Wenn die Spitzen auch noch „glatgebügelt“, beziehungsweise die Täler gefüllt werden (durch Mittelwertbildung), so ergibt sich der **Gleichrichtwert** u_{Gl} . Es lässt sich zeigen, dass der im Messgerät gebildete Gleichrichtmittelwert proportional zum Effektivwert des Wechselsignals ist. Der Proportionalitätsfaktor variiert jedoch mit der konkreten Form des Signals. So ergibt sich zum Beispiel für einen sinusförmigen Spannungsverlauf der Zusammenhang $U_{eff} = 1.11 \cdot u_{Gl}$.

Man kann also (*bei einfachen Multimetern*) den Gleichrichtmittelwert messen, diesen mit dem Faktor 1.11 multiplizieren und das Ergebnis als Effektivwert anzeigen. Es ist aber zu beachten, dass dieses Ergebnis nur bei mittelwertfreiem und sinusförmigem Spannungsverlauf ein richtiges Ergebnis liefert.

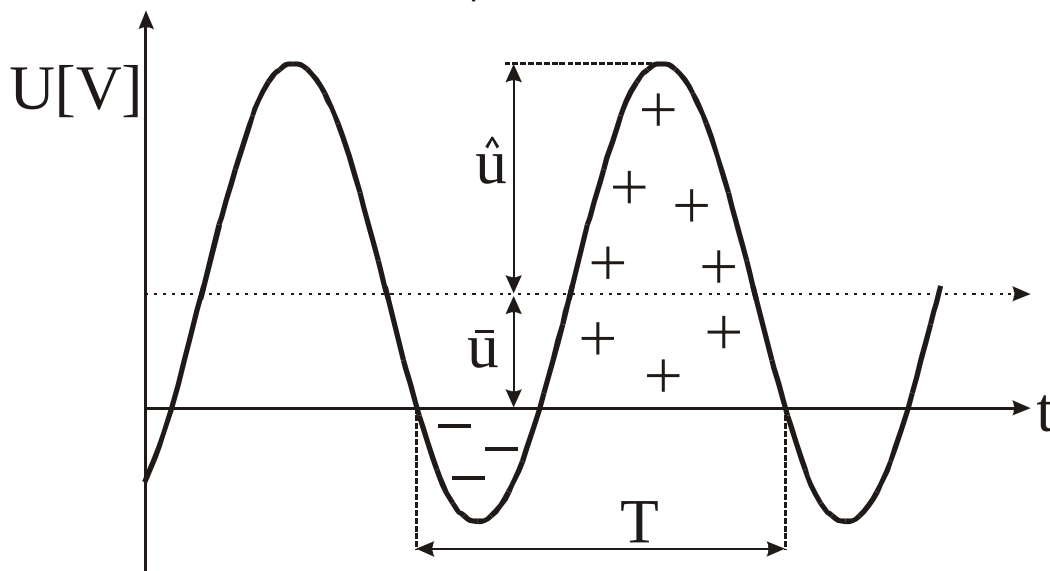
WICHTIG: Achten Sie bei einer Angabe einer Wechselspannung immer auf die Art, wie die Amplitude definiert ist: Handelt es sich um die Amplitude oder Spitzenwert ($\hat{u}$) selbst, um den Spitzen-Spitzen-Wert ($\hat{u}$, u_{pp} oder u_{ss}) oder um den Effektivwert (U_{eff}). Wenn keine weitere Angabe getroffen ist, handelt es sich meist um den Effektivwert.

Der **Mittelwert** oder **Offset** einer Wechselspannung wird mit $\bar{u}$ ausgedrückt. Mathematisch berechnet sich $\bar{u}$ mittels zeitlicher Integration des Spannungsverlaufs $u(t)$ über eine Periodendauer T

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot dt.$$



Graphisch lässt sich die Berechnung des Mittelwerts folgendermaßen veranschaulichen: Es wird die Fläche zwischen der Signalkurve und der Nulllinie gebildet. Dann werden alle entstehenden Flächen aufsummiert, wobei Flächen, welche unterhalb der Nulllinie liegen, ein negatives Vorzeichen erhalten. Diese Summe wird durch die betrachtete Zeitdauer (ganze Anzahl von Perioden) dividiert. Das Resultat entspricht dem Mittelwert $\bar{u}$.



Bei einer nullsymmetrischen Wechselspannung ergibt sich ein Mittelwert $\bar{y}$ zu $\bar{y} = 0$, weil sich die positiven und negativen Anteile des Signals aufheben.

Messung von Wechselspannung und Wechselstrom

In diesem Abschnitt wird die **Messung** von *sinusförmigen Wechselgrößen* mit dem **Multimeter** gezeigt. Weiters wird untersucht, wie sich der **Wechselstromwiderstand** (Impedanz) von **Kondensatoren** und **Spulen** in **Abhängigkeit von der Frequenz** verhält.



Bei sinusförmiger Speisung eines linearen Netzwerkes (keine Dioden, ...) haben sämtliche in der Schaltung auftretende Ströme und Spannungen einen zeitlich sinusförmigen Verlauf und können durch eine Formel der Art

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \text{vollständig beschrieben werden.}$$

Als **Kenngrößen** werden im Folgenden verwendet:

$$\text{Spitzenwert ... } \hat{u} \quad \text{Frequenz ... } f = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{Effektivwert... } U_{\text{eff}} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

Multimeter sind so konstruiert, dass sie bei sinusförmigen Signalen den Effektivwert anzeigen. Sie sind nur für einen eingeschränkten Frequenzbereich geeignet. Gängige Geräte haben die beste Genauigkeit in der Umgebung von 50 Hz. Der Frequenzbereich für eine gewisse Genauigkeit ist gerätespezifisch und kann den Herstellerangaben entnommen werden:

Multimeter NEUMANN 9140:

Wechselspannungsmessung: 50 Hz bis 60 Hz

- max. Abweichung $\pm (1,5 \% + 3 \times \text{Wertigkeit kleinster Stelle})$ in den Bereichen 2,000 V, 20,00 V und 200,0 V
- max. Abweichung $\pm (1,5 \% + 30 \times \text{Wertigkeit kleinster Stelle})$ im Bereich 200,0 mV.

Wechselstrommessung: 50 Hz bis 60 Hz

- max. Abweichung $\pm (1,8 \% + 5 \times \text{Wertigkeit kleinster Stelle})$ in den Bereichen 2000 μA , 20,00 mA und 200,0 mA,
- max. Abweichung $\pm (1,5 \% + 5 \times \text{Wertigkeit kleinster Stelle})$ im Bereich 200,0 μA .

Multimeter AGILENT 1232A (Messung des "TRUE RMS"):

Wechselspannungsmessung:

45 Hz bis 500 Hz max. Abweichung $\pm (1 \% + 3 \times \text{Wertigkeit kleinster Stelle})$

Wechselstrommessung:

500 Hz bis 1 kHz max. Abweichung $\pm (2 \% + 3 \times \text{Wertigkeit kleinster Stelle})$

Vorbereitung:

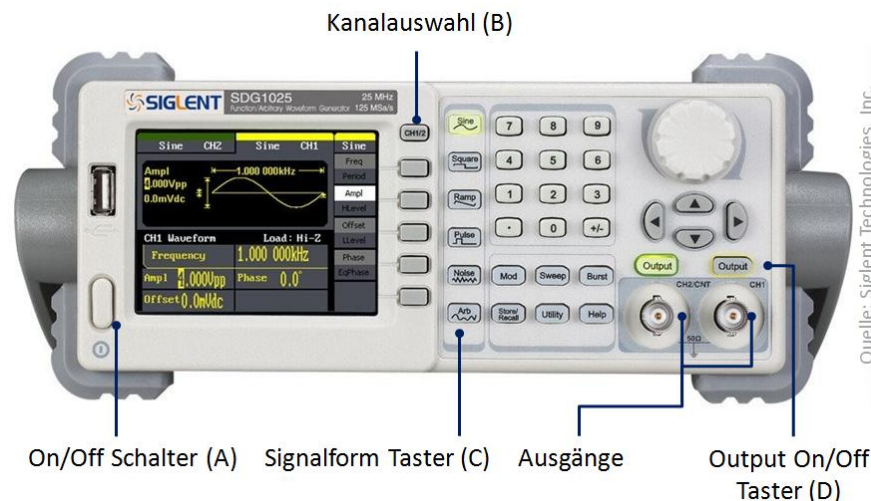
- Als **Spannungsquelle** wird im Folgenden der **Funktionsgenerator Siglent SDG1025** verwendet;
- zur **Anzeige** verwenden Sie das Vielfachmessgerät **NEUMANN 9140** und das Vielfachmessgerät **AGILENT 1232A**.
- Zum **Anzeige des Wechselspannungsverlaufs** und zum Vergleich der gemessenen Kennwerte verwenden Sie das **Digital-Oszilloskop AGILENT DSO-X 2012a**.



Verbinden Sie den **Kanal 1 (CH1) Ausgang** des Funktionsgenerators mit:

- **CH1 des Oszilloskops**
- und mit den **Spannungseingängen** der Messgeräte **NEUMANN 9140** und **AGILENT 1232A**.

Verwenden Sie dazu BNC-Kabel, ein BNC-T-Stück, einen BNC-Bananenstecker - Adapter und schalten Sie die Messgeräte mit Strippen parallel.



Einstellen des Funktionsgenerators

1. Schalten Sie das Gerät ein (On/Off Schalter).
2. Wählen Sie **Kanal 1 (CH1)** aus (Kanalauswahl Taster).
3. Wählen Sie eine Sinus Signalform (Sine Taster).
4. Stellen Sie nun die folgenden

Werte unter Verwendung der links
gezeigten Taster ein:

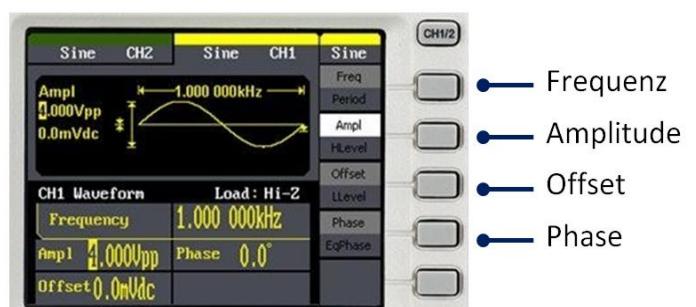
Frequenz: **50Hz**

Amplitude: **10Vpp**

Offset: **0V**

Phase: **0.0°**

5. Aktivieren Sie den Ausgang CH1 (Output Taste).



Einstellen der Vielfachmessgeräte

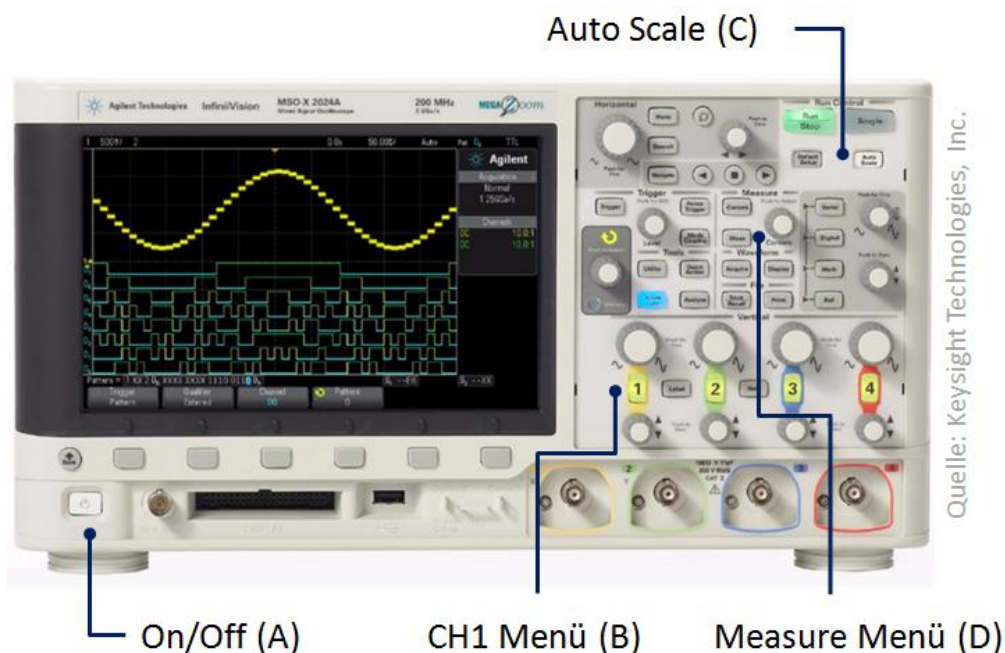
1. Schalten Sie die Messgeräte **NEUMANN 9140** und **AGILENT 1232A** auf **Wechselspannungsmessung**. (Drehschalter auf V~).

Einstellen des Oszilloskops

Das Oszilloskop soll in diesem Fall nur ergänzende Informationen liefern. Eine **detaillierte Beschreibung** des Oszilloskops, sowie Benützungshinweise finden sich **bei der Laborübung 3**. Insbesondere für die Kennwert-Messung mit dem Oszilloskop ist jeweils die Taste „**AUTO SCALE**“ zu verwenden, da eine adäquate Einstellung des Geräts (mehrere Perioden des Signals, möglichst große Amplitude) Voraussetzung für sinnvolle Messwert-Bildung ist.



Die Verwendung der Taste „**AUTO SCALE**“ ist im Normaleinsatz des Oszilloskop möglichst zu vermeiden, da auch selbsttätig Geräteeinstellungen verändert werden können.



1. Schalten Sie das Oszilloskop ein (A).
2. Drücken Sie die Tasten [1][2] (B) bis nur noch Taste [1] leuchtet.
3. Drücken Sie die Taste [Auto Scale] (C).
4. Drücken Sie die Taste [Meas] (D) um das Measure Menü aufzurufen.
5. Rechts am Bildschirmrand sollten bereits mehrere Messwerte für Sie eingestellt sein. Sie sollten Freq(1), Pk-Pk(1), Avg - Cyc(1) und DC RMS - Cyc(1) vorfinden. Sollte einer oder mehrere dieser Werte nicht angezeigt werden wenden Sie sich an Ihren Tutor.



Am **Bildschirm des Oszilloskops** sollten nun einige Perioden eines sinusförmigen Spannungsverlaufes zu sehen sein.

Auf der rechten Seite des Bildschirms Sie die ausgewählten Messwerte, die das Oszilloskop automatisch für Sie berechnet:

- Mittelwert Avg - Cyc(1)
- Spitzen-Spitzen-Spannung (U_{ss}) Pk-Pk(1)
- den Effektivwert DC RMS - Cyc(1)
- sowie die Frequenz Freq(1)



Notieren Sie in der folgenden Tabelle die aktuellen Werte:

Effektivwert	U_{ss}	Frequenz	Mittelwert	Effektivwert NEUMANN 9140	Effektivwert FLUKE 87V



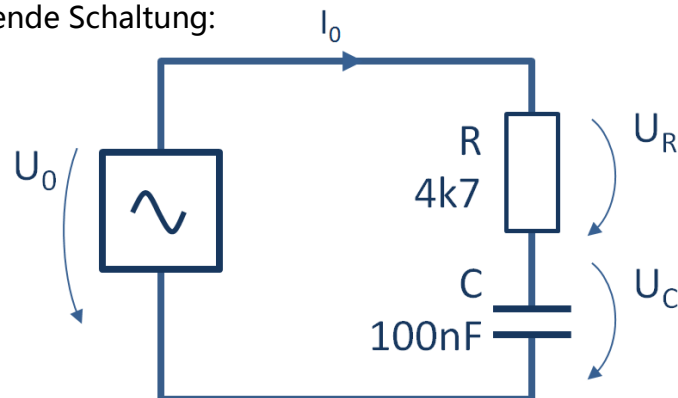
Überprüfen Sie das Frequenzverhalten der Vielfachmessgeräte NEUMANN 9140 und AGILENT 1232A:

Stellen Sie dazu die gewünschte Frequenz am Funktionsgenerator ein und **vergleichen Sie die Effektivwerte** der Vielfachmessgeräte mit dem des Oszilloskops. Achten Sie darauf, dass am Oszilloskop einige Perioden des Signals (5-10) zu sehen sind (eventuell AUTOSET drücken oder den Horizontal Drehregler am oberen Rand des Gerätes betätigen).

Frequenz	$U_{eff, NEUMANN 9140}$	$U_{eff, FLUKE 87V}$	$U_{eff, Oszilloskop}$
20 Hz			
50 Hz			
100 Hz			
500 Hz			
1 kHz			
5 kHz			
10 kHz			
20 kHz			

Messung von RC-Gliedern

Gegeben ist folgende Schaltung:



Analog zur Definition des Gleichstromwiderstandes bezeichnet man den Quotienten aus Wechselspannung und Wechselstrom an einem Zweipol als **Wechselstromwiderstand** oder **Impedanz Z** , die im Allgemeinen **frequenzabhängig** ist.

$$|Z| = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

Es soll **Strom und Spannung am Kondensator** gemessen werden, um den **Betrag der Impedanz $|Z_C|$** zu **bestimmen**. Der Widerstand R begrenzt lediglich die Belastung des Funktionsgenerators.



Bauen Sie die gegebene Schaltung auf. Schließen das Vielfachmessgerät **AGILENT 1232A als Spannungsmessgerät** und das Vielfachmessgerät **NEUMANN 9140 als Strommessgerät** so an, dass Sie aus den gemessenen Größen den Betrag der Impedanz des Kondensators Z_C berechnen können. Bevor Sie beginnen: Skizzieren Sie den Schaltplan Ihrer gesamten Messanordnung. Zeichnen Sie die Bezugspfeile ein und schreiben Sie die Formel für die Berechnung von $|Z_C|$ auf:



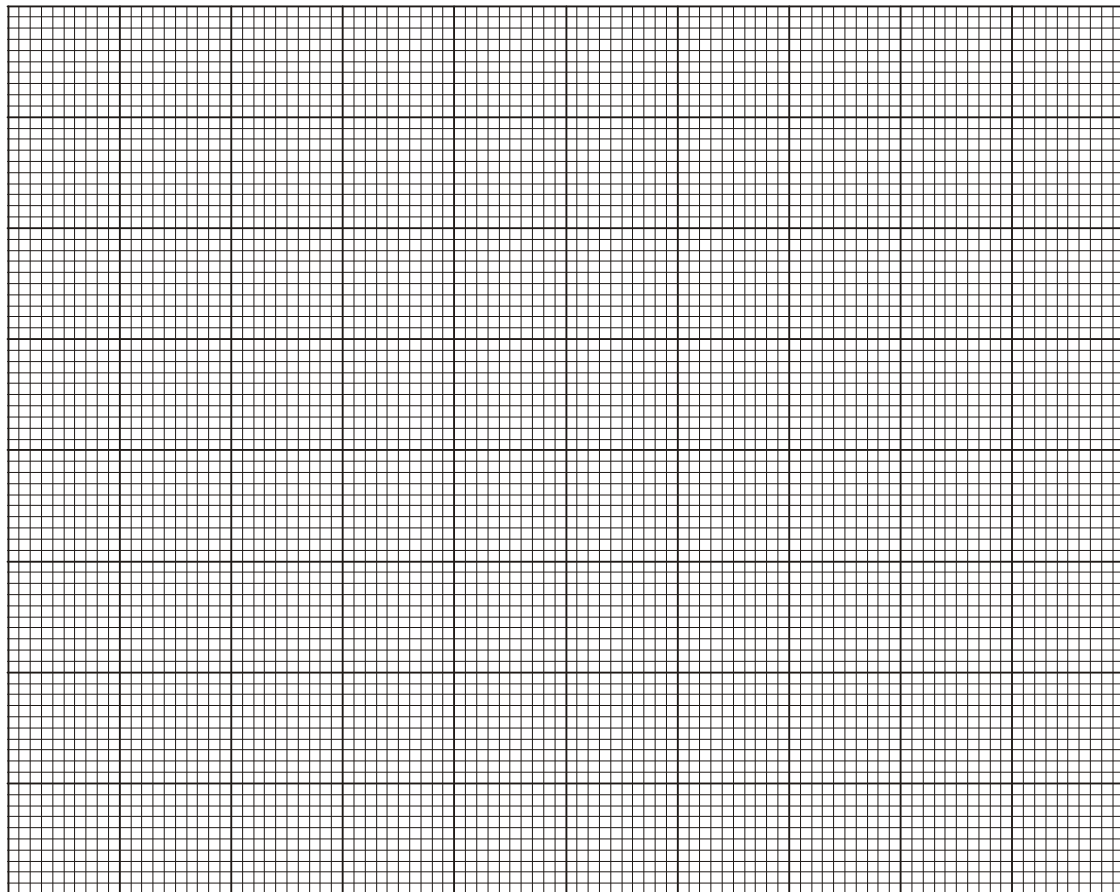
Messen Sie alle in der Tabelle eingetragenen **Ströme und Spannungen bei den angegebenen Frequenzen**, und **berechnen** Sie aus den Messwerten $|Z_C|$.



Schreiben Sie zu jedem Wert die entsprechende Einheit!

f	$U_{C,eff}$	$I_{0,eff}$	Z_C
10 Hz			
20 Hz			
50 Hz			
100 Hz			
200 Hz			
500 Hz			
1kHz			
2 kHz			

Tragen Sie im folgenden Diagramm die für $|Z_C|$ ermittelten Werte über der Frequenz auf, und beschriften Sie die Achsen:



In einer derartigen linearen Darstellung ist die graphische Auflösung schlecht, weil sowohl die Abszissen- als auch die Ordinatenwerte in sehr weiten Bereichen variieren. In diesen Fällen geht man zu einer **logarithmischen Skalierung** über.

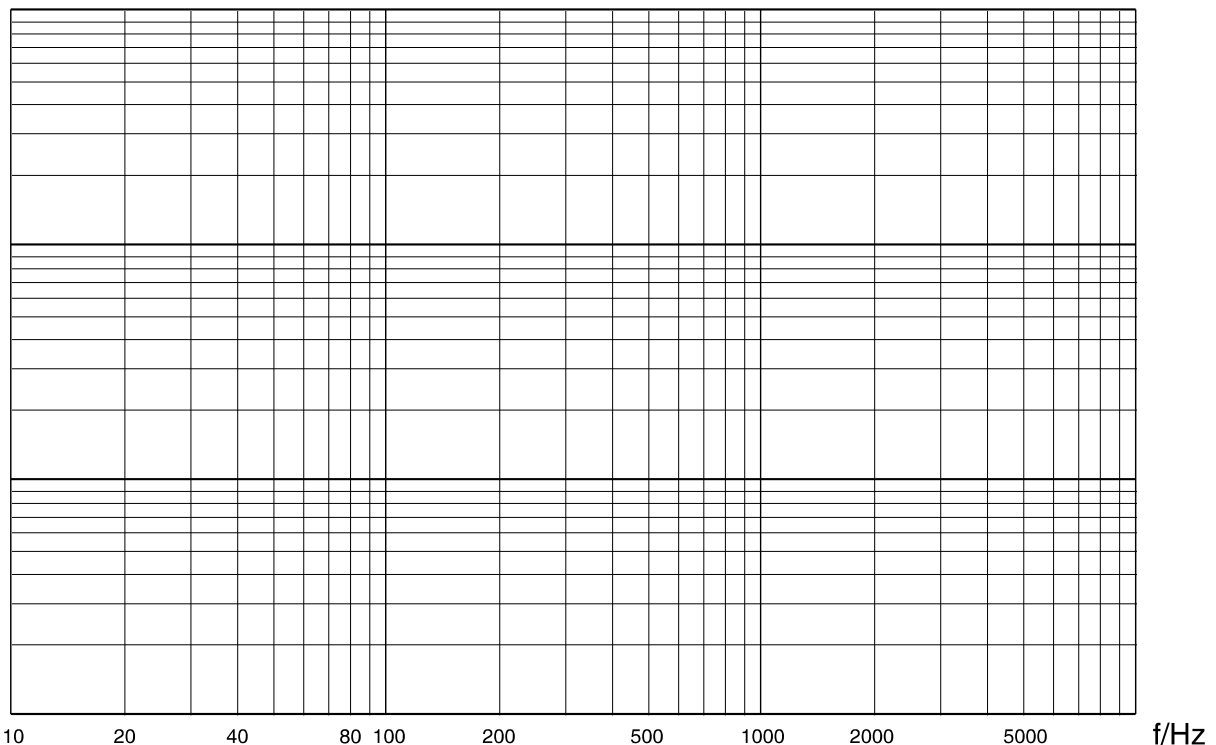


Das Fortschreiten um einen bestimmten Abstand entspricht in einer logarithmischen Skala einer Multiplikation mit einem Faktor.

Zum Beispiel: Der Abstand zwischen 10 Hz und 20 Hz ist gleich dem Abstand zwischen 40 Hz und 80 Hz und entspricht jeweils dem Faktor Zwei.

Aus dieser Skalierung ergibt sich eine konstante relative Auflösung über mehrere Dekaden. Weiter ergeben Potenzfunktionen mit unterschiedlichen Exponenten Geraden, wobei die Steigung dem Exponenten entspricht

Tragen Sie die Werte für $|Z_c|$ in nachfolgendes Diagramm ein, und beschriften Sie die Achsen.



Der Betrag der Impedanz eines Kondensators kann mit der Formel

$$|Z_c| = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad \text{berechnet werden.}$$

Prüfen Sie die Übereinstimmung der Messergebnisse mit den theoretischen Werten:

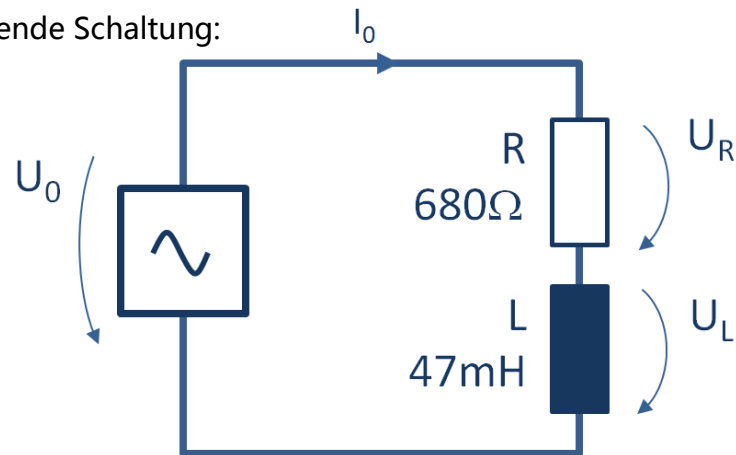


Berechnen Sie die Werte für $|Z_c|$ aus obiger Formel bei den Frequenzen, bei denen Sie die Messungen durchführten. Tragen Sie diese Werte in untenstehende Tabelle und beide obenstehende Diagramme ein, und beschriften Sie die Kurven in den Grafiken.

f	10 Hz	20 Hz	50 Hz	100 Hz	200 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz
$ Z_c $								

Messung von RL-Gliedern

Gegeben ist folgende Schaltung:



Bauen Sie die gegebene Schaltung auf. Schließen das **Vielfachmessgerät NEUMANN 9140 als Strommessgerät** und das **Vielfachmessgerät AGILENT 1232A als Spannungsmessgerät** so an, dass Sie aus den gemessenen Größen den Betrag der Impedanz der Spule Z_L berechnen können.

Bevor Sie beginnen: Skizzieren Sie den Schaltplan Ihrer gesamten Messanordnung. Zeichnen Sie die Bezugspfeile ein und schreiben Sie die Formel für die Berechnung von $|Z_L|$ auf:



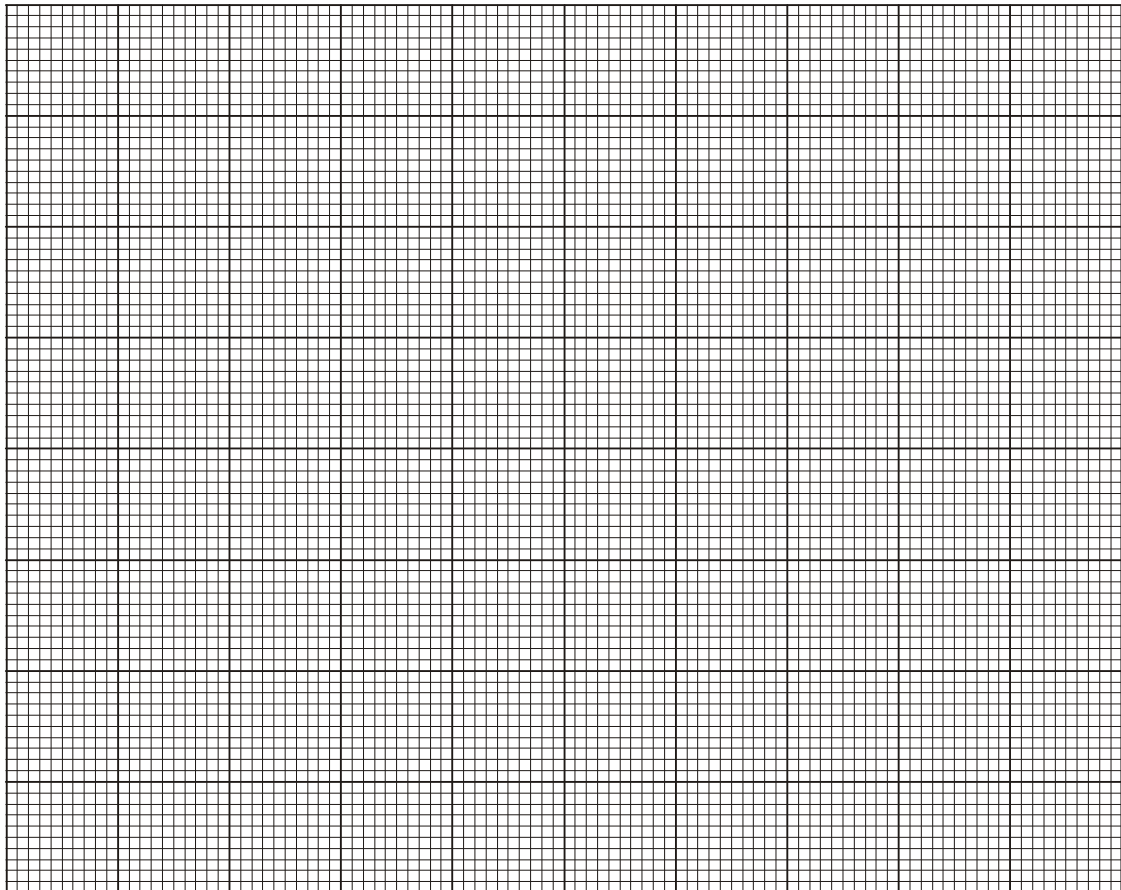
Messen Sie alle in der Tabelle eingetragenen **Ströme und Spannungen** bei den angegebenen Frequenzen, und **berechnen** Sie aus den Messwerten $|Z_L|$.



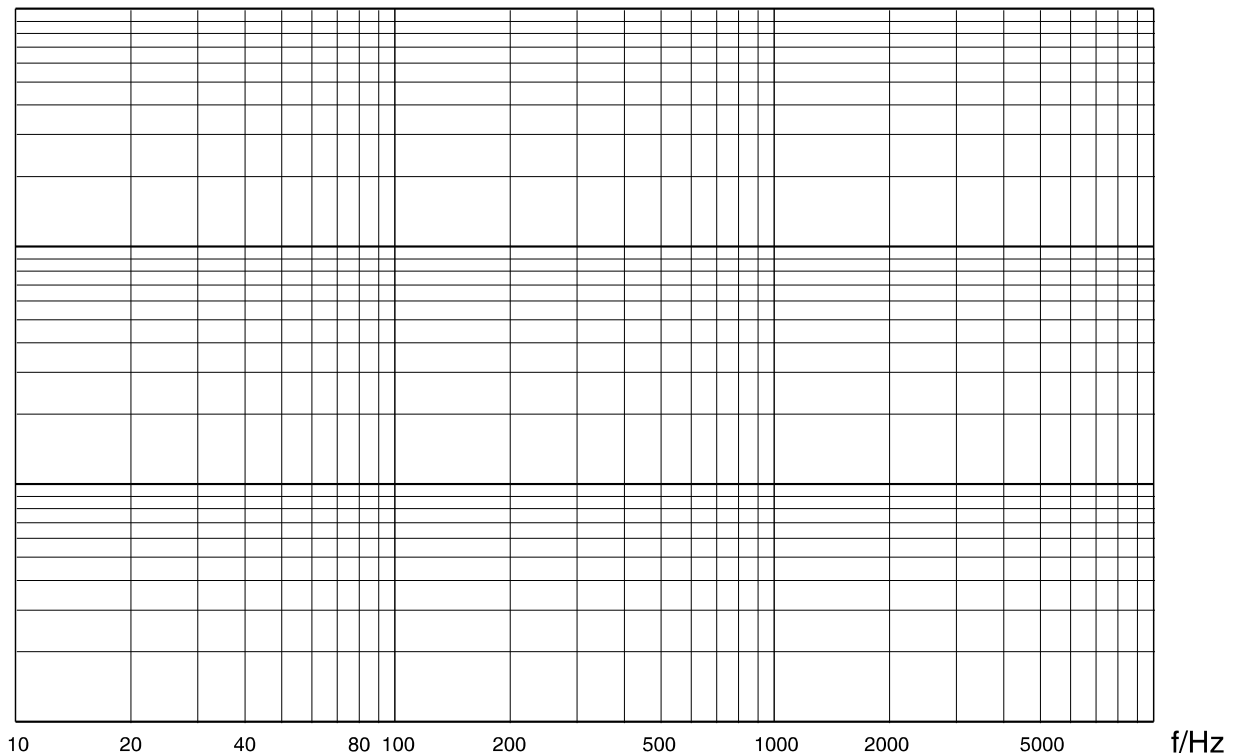
Schreiben Sie zu jedem Wert die entsprechende Einheit!

f	U_L	I_0	$ Z_L $
10 Hz			
20 Hz			
50 Hz			
100 Hz			
200 Hz			
500 Hz			
1 kHz			
2 kHz			

Tragen Sie im folgenden Diagramm die für $|Z_L|$ ermittelten Werte über der Frequenz auf, und beschriften Sie die Achsen:



Tragen Sie die Werte für $|Z_L|$ in nachfolgendes Diagramm ein, und beschriften Sie die Achsen.



Der Betrag der Impedanz einer Induktivität kann mit der Formel

$$|Z_L| = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ berechnet werden.}$$

Prüfen Sie nun die Übereinstimmung Ihrer Messergebnisse mit den theoretischen Werten:



Berechnen Sie die Werte für $|Z_L|$ aus obiger Formel für die Frequenzen bei denen Sie die Messungen durchführten. Tragen Sie diese Werte in untenstehende Tabelle und beide obenstehende Diagramme ein und beschriften Sie die Kurven in den Grafiken.

F	10 Hz	20 Hz	50 Hz	100 Hz	200 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz
$ Z_L $								

Legen eine Gerade durch die Messwerte, und berechnen Sie aus der Steigung dieser Geraden die Induktivität der Spule.

$$L_{\text{gemessen}} = \frac{|Z_L(\omega_1)| - |Z_L(\omega_2)|}{\omega_1 - \omega_2} = \dots\dots\dots \text{mH}$$