

Experiment ET 06 – Measurements with oscilloscope |  
Oszillographenmessungen im Wechselstromkreis

## 1 Object of the experiment | Versuchsziel

Getting to know measurement methods for voltages and phase angles at AC circuits by means of an oscillograph.

Kennenlernen von Messmethoden für Spannungen und Phasenwinkel im Wechselstromkreis mit Hilfe eines Oszillographen.

## 2 Basics | Grundlagen

A sinusoidal alternating voltage

Eine sinusförmige Wechselspannung

$$u(t) = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi_u) \tag{1}$$

is defined by three parameters:

ist durch drei Bestimmungsgrößen gekennzeichnet:

- Amplitude  $\hat{u}$  (also  $\hat{U}$ ),
- Frequency  $f$  resp. angular frequency  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$  ( $T$  period length) and
- Initial phase  $\varphi_u$ .

- Amplitude  $\hat{u}$  (auch  $\hat{U}$ ),
- Frequenz  $f$  bzw. Kreisfrequenz  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$  ( $T$  Periodendauer) und
- Nullphasenwinkel  $\varphi_u$ .

These parameters can be determined by measurement using an oscilloscope.

Mit einem Oszillographen lassen sich diese Größen durch Messung ermitteln.

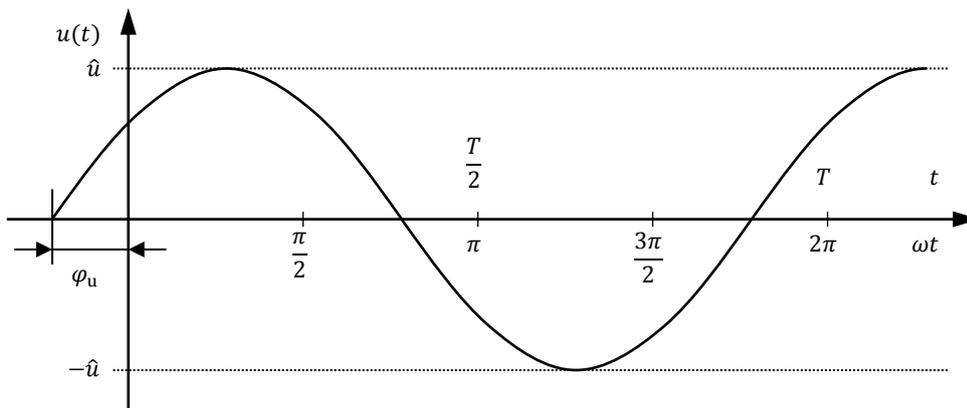


Figure 1: Representation of a sinusoidal voltage | Darstellung einer sinusförmigen Spannung

The symbolic method is used for calculations in the alternating current circuit, i.e.

- Transformation of all currents and voltages into the complex plane,
- Calculation in the complex variable domain,
- Inverse transformation of the result into the time domain

(see also the instruction of the practical training "Complex resistors").

This gives the values for amplitude and phase angle of the required alternating quantity. When using an oscillograph, these values can be determined by measurements.

There is a correlation between the peak value  $\hat{u}$  and the effective value  $U$  of a sinusoidal alternating voltage:

$$\hat{u} = \sqrt{2} \cdot U. \quad (2)$$

Für Berechnungen im Wechselstromkreis verwendet man die symbolische Methode, d. h.

- Transformation sämtlicher Ströme und Spannungen in die komplexe Ebene,
- Rechnung im Bildbereich,
- Rücktransformation des Ergebnisses in den Zeitbereich

(siehe auch Versuchsanleitung „Komplexe Widerstände“!).

Damit erhält man die Werte für Amplitude und Phasenwinkel der gesuchten Wechselgröße. Bei Einsatz eines Oszillographen lassen sich diese Größen durch Messungen bestimmen.

Zwischen Scheitelwert  $\hat{u}$  und Effektivwert  $U$  einer sinusförmigen Wechselspannung besteht der Zusammenhang:

## 2.1 Representation of an alternating voltage | Darstellung einer Wechselspannung

If there is a sawtooth forward breakover voltage  $u_x(t)$  generated at the x plate of an oscillograph, the display shows the time function of the indicated voltage  $u_y(t)$  at the y plate. Figure 2 demonstrates the creation of the oscilloscope image of

$$u_y = u_1 = \hat{u}_1 \sin(\omega t - \varphi_u) \quad (3)$$

and

$$u_x = u_2 = U_{2m} \left( 2 \frac{t - nT_2}{T_2} - 1 \right) \quad \text{with | mit} \quad nT_2 \leq t \leq (n+1)T_2, n = 0, 1, 2 \dots \quad (4)$$

under the condition of the same frequencies  $\left(f_1 = \frac{1}{T_2}\right)$  and the same amplitudes  $(\hat{u}_1 = U_{2m})$ .

Wird an die x-Platten eines Oszillographen eine sägezahnförmige Kippspannung  $u_x(t)$  angelegt, so zeigt das Display die Zeitfunktion der an den y-Platten angelegten Spannung  $u_y(t)$ . Figure 2 veranschaulicht die Entstehung des Oszillographenbildes für

und

unter der Bedingung gleicher Frequenzen  $\left(f_1 = \frac{1}{T_2}\right)$  und gleichen Amplituden  $(\hat{u}_1 = U_{2m})$ .

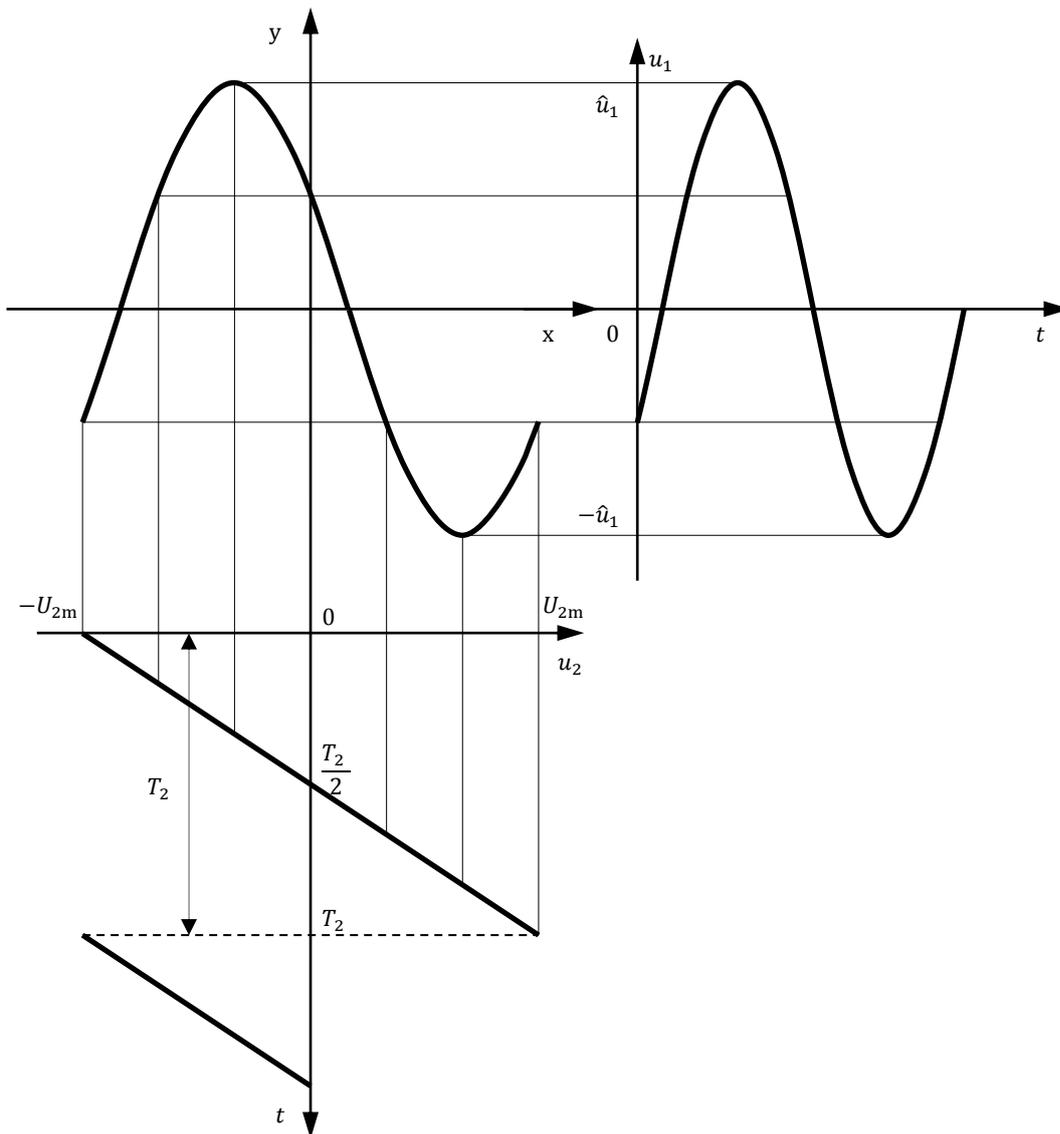


Figure 2: Creation of the oscilloscope image of a sinusoidal voltage | Entstehung des Oszillographenbildes einer sinusförmigen Spannung

A two-channel oscilloscope allows two input variables to be displayed simultaneously, so that the phase shift  $\varphi$  between two alternating voltages  $u_{y1}$  and  $u_{y2}$  of the same frequency can be easily determined when it is used.

in Zweikanal-Oszillograph ermöglicht die gleichzeitige Darstellung von zwei Eingangsgrößen, so dass bei seinem Einsatz die Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen zwei Wechselspannungen  $u_{y1}$  und  $u_{y2}$  gleicher Frequenz leicht ermittelt werden kann.

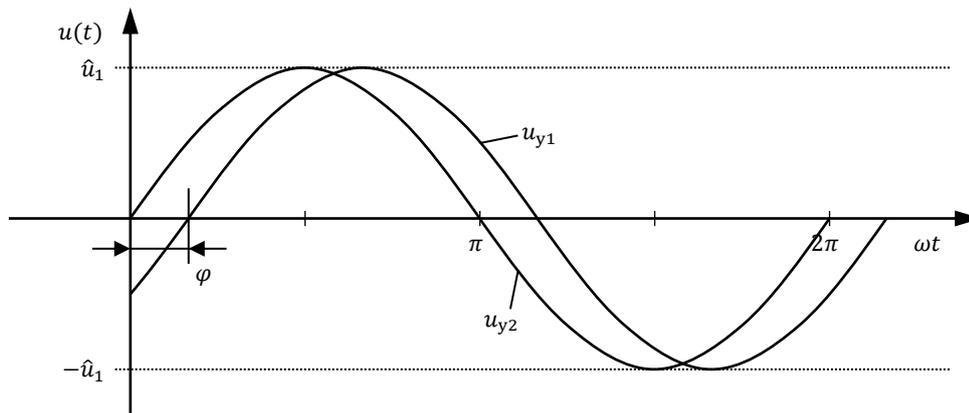


Figure 3: Phase shift of two alternating voltages of the same frequency and amplitude | Phasenverschiebung zweier Wechselspannungen gleicher Frequenz und Amplitude

## 2.2 LISSAJOUS figures | LISSAJOUS-Figuren

LISSAJOUS figures are generated by applying one alternating measured variable each to the x and y plates of an oscillograph. Their analysis represents a further possibility for determining the phase angle between two voltages  $u_1$  and  $u_2$ . Figure 4 illustrates the formation of an ellipse of two phase-shifted voltages with the same frequency  $f$  and amplitude  $\hat{u}$ . If it applies

$$u_x = u_2 = \hat{u} \sin(\omega t) \quad \text{und} \quad u_y = u_1 = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi), \quad (5)$$

then the equation of the LISSAJOUS ellipse is

$$u_y^2 - 2u_x u_y \cos \varphi + u_x^2 - \hat{u}^2 \sin^2 \varphi = 0 \quad (6)$$

For  $u_x = 0$  or  $u_y = 0$  it results for the phase angle

$$\varphi = \arcsin \frac{u_y(u_x = 0)}{\hat{u}} = \arcsin \frac{u_x(u_y = 0)}{\hat{u}} \quad (7)$$

By rotating the coordinate system by  $\Psi = 45^\circ$  into the main axis of the ellipse, equation (6) can be transformed into

$$\varphi = 2 \arctan \frac{D_1}{D_2} \quad (8)$$

which simplifies the evaluation of the display (Figure 5).

LISSAJOUS-Figuren entstehen beim Anlegen von je einer Wechsel-Messgröße an die x- und y-Platten eines Oszillographen. Ihre Auswertung stellt eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Phasenwinkels zwischen zwei Spannungen  $u_1$  und  $u_2$  dar. Figure 4 veranschaulicht das Zustandekommen einer Ellipse aus zwei phasenverschobenen Spannungen mit gleicher Frequenz  $f$  und gleicher Amplitude  $\hat{u}$ . Wenn gilt

dann lautet die Gleichung der LISSAJOUS-Ellipse

Für  $u_x = 0$  oder  $u_y = 0$  ergibt sich für den Phasenwinkel

Durch die Drehung des Koordinatensystems um  $\Psi = 45^\circ$  in die Hauptachse der Ellipse kann man Gleichung (6) umformen in

wodurch die Auswertung des Displays erleichtert wird (Figure 5).

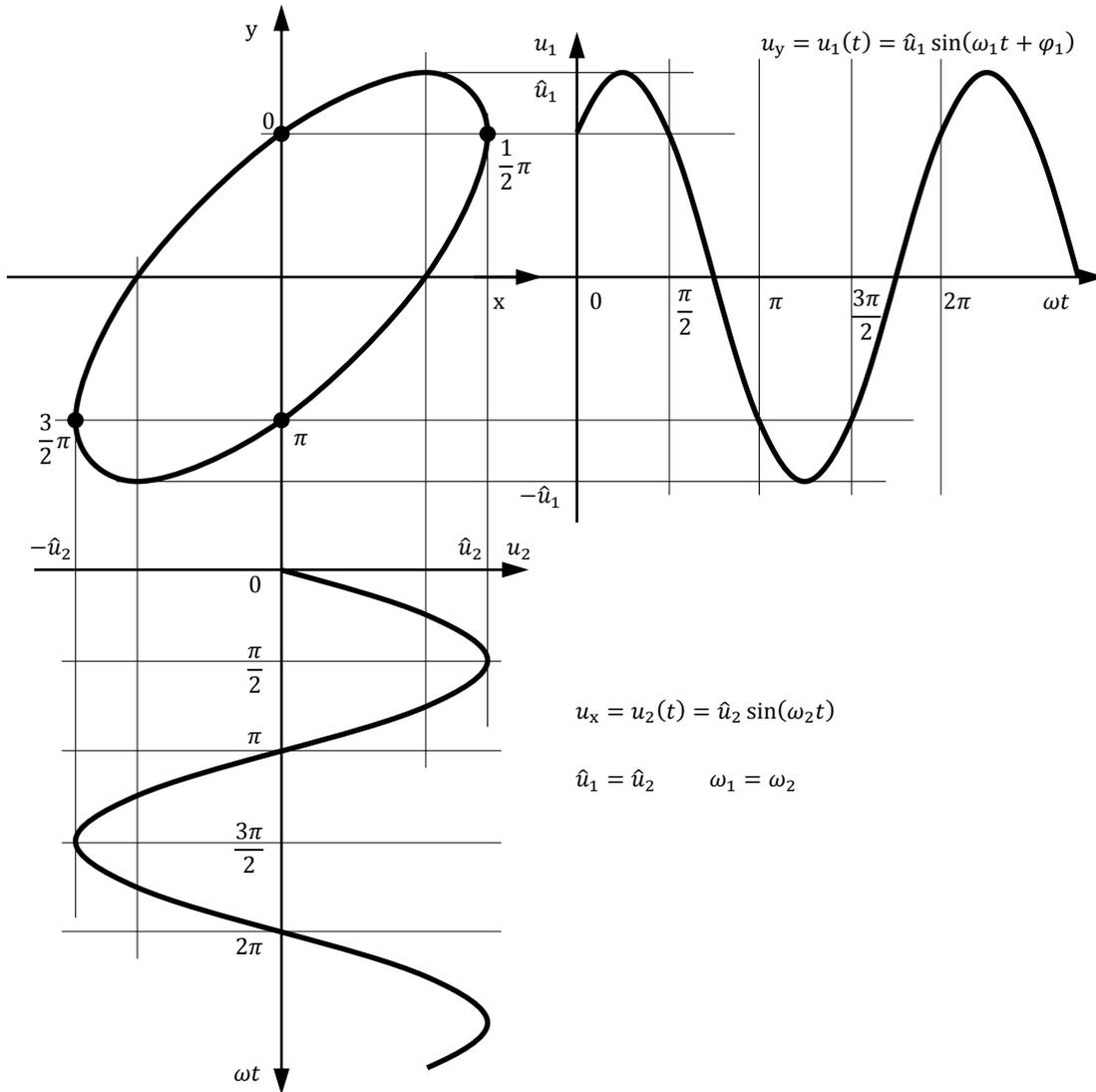


Figure 4: Creation of a LISSAJOUS figure | Entstehung einer LISSAJOUS-Figur

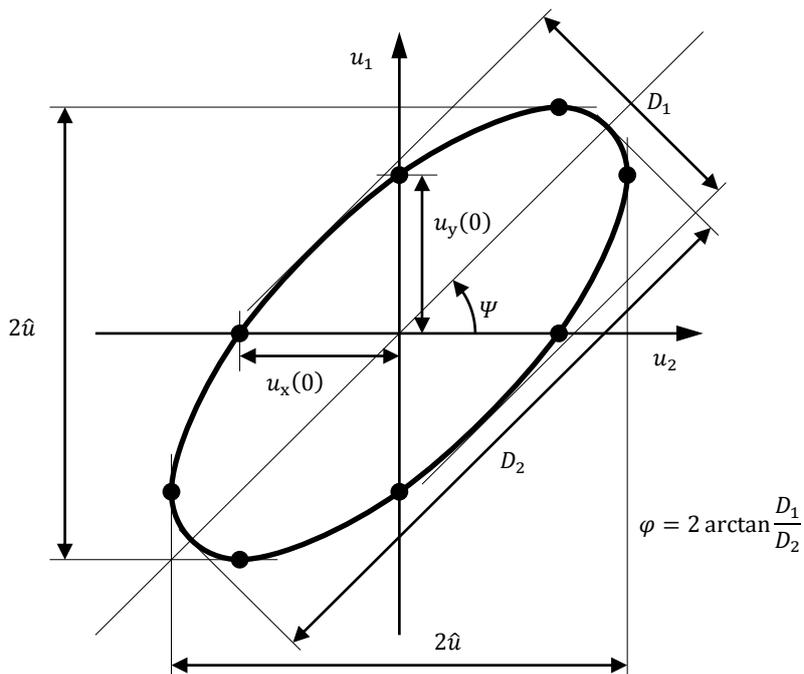


Figure 5: Evaluation of the display | Auswertung des Displays

## 2.3 HAUSRATH bridge (phase shifting bridge) | HAUSRATH-Brücke (Phasenschieber-Brücke)

The HAUSRATH bridge (Figure 6) enables the setting of a phase angle  $\varphi$  from 0 to 180° between the voltages  $u_{CD}$  and  $u_1$  by changing the resistor  $R$ .

Die HAUSRATH-Brücke (Figure 6) gestattet durch Veränderung des Widerstandes  $R$  die Einstellung eines Phasenwinkels  $\varphi$  von 0 bis 180° zwischen den Spannungen  $u_{CD}$  und  $u_1$ .

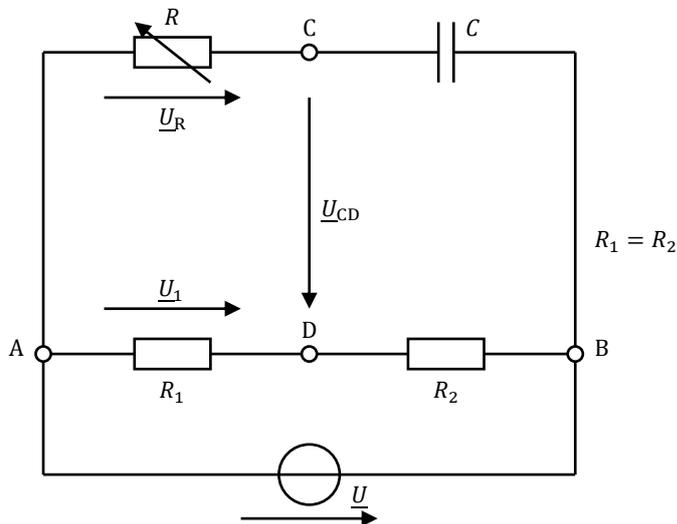


Figure 6: HAUSRATH bridge | HAUSRATH-Brücke

The bridge is fed by an alternating voltage.

$$u = \hat{u} \sin(\omega t) \quad (9)$$

Following the mesh rule, it applies

$$\underline{U}_R + \underline{U}_{CD} - \underline{U}_1 = 0 \quad (10)$$

By transforming to  $\underline{U}_{CD}$  and introducing the voltage divider

$$\frac{\underline{U}_R}{\underline{U}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad \text{and} \quad \frac{\underline{U}_1}{\underline{U}} = \frac{1}{2} \quad (11)$$

one obtains

erhält man

$$\frac{\underline{U}_{CD}}{\underline{U}} = \frac{1}{2} e^{-j2 \arctan(\omega CR)}. \quad (12)$$

With  $\frac{1}{\omega_0 C} = R_0$  this results in:

Mit  $\frac{1}{\omega_0 C} = R_0$  ergibt sich daraus:

$$\varphi = 2 \arctan \frac{R}{R_0} \quad \text{and} \quad \frac{\underline{U}_{CD}}{\underline{U}_1} = 1. \quad (13)$$

If the voltages  $u_{CD}$  and  $u_1$  are applied to the y inputs of a two-channel oscilloscope, the phase shift between both voltages can be determined as a function of  $R$ .

Legt man die Spannungen  $u_{CD}$  und  $u_1$  an die y-Eingänge eines Zweikanal-Oszillographen, so kann man die Phasenverschiebung zwischen beiden Spannungen als Funktion von  $R$  bestimmen.

## 2.4 Bridge balancing by oscillograph | Brückenabgleich mit Oszillographen

If one represents in the complex plane the dependence of a complex quantity on a parameter, for example the frequency, the resistor or the capacitances, as a curve, then a Nyquist plot results. Compared to the calculation of a searched correlation, its graphic determination as a Nyquist plot offers the advantage that one gets an idea of the total curve in terms of magnitude and phase.

The GRÜTZMACHER bridge is suitable for the experimental recording of the Nyquist plot of an RC circuit's complex resistor  $\underline{Z}_x$ . The adjustment of magnitude  $Z$  and phase  $\varphi_z$  can be performed easily with a two-channel oscilloscope.

Stellt man in der komplexen Ebene die Abhängigkeit einer komplexen Größe von einem Parameter, zum Beispiel der Frequenz, dem Widerstand oder der Kapazität als Kurvenzug dar, so ergibt sich eine Ortskurve. Gegenüber der Berechnung eines gesuchten Zusammenhanges bietet seine grafische Ermittlung als Ortskurve den Vorteil, dass man den Überblick über den Gesamtverlauf bezüglich Betrag und Phase erhält.

Für die experimentelle Aufnahme der Ortskurve des komplexen Widerstandes  $\underline{Z}_x$  einer RC-Schaltung eignet sich die GRÜTZMACHER-Brücke. Der Abgleich von Betrag  $Z$  und Phase  $\varphi_z$  lässt sich günstig mit einem Zweikanal-Oszillographen ausführen.

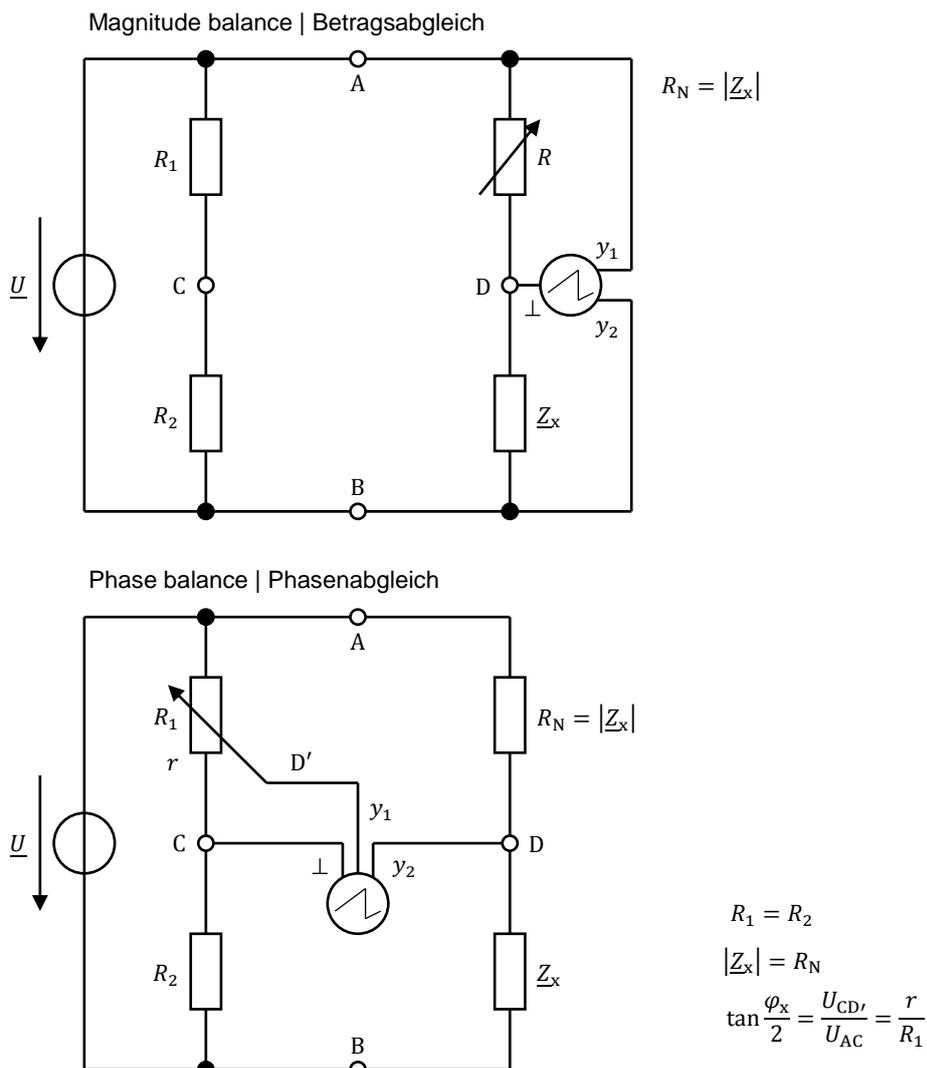
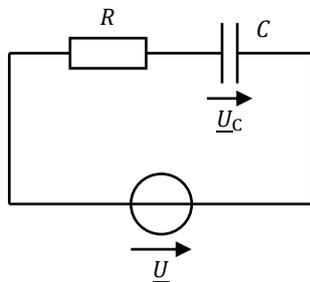


Figure 7: GRÜTZMACHER bridge | GRÜTZMACHER-Brücke

### 3 Preparation of experiment | Versuchsvorbereitung

#### 3.1 Frequency response | Frequenzgang

Represented for the circuit mentioned below:



Stellen Sie für die untenstehende Schaltung dar:

$$\frac{U_C}{U} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) \quad \text{and} \quad \varphi = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

$$\text{with } \omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad 0,01 \leq \frac{\omega}{\omega_0} \leq 100.$$

(Frequency axis logarithmically divided! | Frequenzachse logarithmisch geteilt!)

#### 3.2 LISSAJOUS figure | LISSAJOUS-Figur

An AC voltage  $u_1 = \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t - 45^\circ)$  is connected to the y input and an AC voltage  $u_2 = \hat{u}_2 \sin(\omega_1 t)$  is connected to the x input of an oscilloscope. Construct the resulting LISSAJOUS figure to scale for  $\hat{u}_1 = \hat{u}_2$  and  $\omega_1 = \omega_2!$

Eine Wechselspannung  $u_1 = \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t - 45^\circ)$  wird an den y-Eingang und eine Wechselspannung  $u_2 = \hat{u}_2 \sin(\omega_1 t)$  wird an den x-Eingang eines Oszillographen gelegt. Konstruieren Sie maßstäblich die entstehende LISSAJOUS-Figur für  $\hat{u}_1 = \hat{u}_2$  und  $\omega_1 = \omega_2!$

#### 3.3 HAUSRATH bridge | HAUSRATH-Brücke

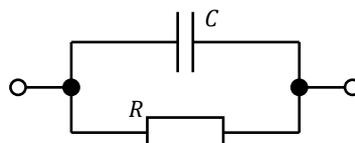
Given is a HAUSRATH bridge (Figure 6) with  $f = 1,6 \text{ kHz}$ ,  $C = 0,1 \mu\text{F}$ ,  $R_1 = R_2 = 100 \Omega$ . Calculate the values for the resistor  $R$  if a phase shift of  $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  and  $180^\circ$  is to be created between the voltages  $\underline{U}_{CD}$  and  $\underline{U}_{CD} = \underline{U}$ !

Gegeben ist eine HAUSRATH-Brücke (Figure 6) mit  $f = 1,6 \text{ kHz}$ ,  $C = 0,1 \mu\text{F}$ ,  $R_1 = R_2 = 100 \Omega$ . Berechnen Sie die Werte für den Widerstand  $R$ , wenn zwischen den Spannungen  $\underline{U}_{CD}$  und  $\underline{U}_{CD} = \underline{U}$  eine Phasenverschiebung von  $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  und  $180^\circ$  entstehen soll!

#### 3.4 Nyquist plot | Ortskurve

Draw the Nyquist plot  $\underline{Z} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$  to scale for the circuit below and mark the values for  $\frac{\omega}{\omega_0} = 0; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; \infty$  at  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ !

Zeichnen Sie maßstäblich die Ortskurve  $\underline{Z} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$  für die untenstehende Schaltung und kennzeichnen Sie darin die Werte für  $\frac{\omega}{\omega_0} = 0; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; \infty$  bei  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ !



### 3.5 Phasor diagram | Zeigerdiagramm

For the circuit according to Figure 6, draw a phasor diagram of the voltages with  $U_{AB} = 10 \text{ V}$  (scale:  $1 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$ ),  $R = 3 \text{ k}\Omega$ ;  $\omega = 10^4 \text{ s}^{-1}$ ;  $C = 25 \text{ nF}$ !

Zeichnen Sie für die Schaltung nach Figure 6 ein maßstäbliches Zeigerdiagramm der Spannungen mit  $U_{AB} = 10 \text{ V}$  (Maßstab:  $1 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$ ),  $R = 3 \text{ k}\Omega$ ;  $\omega = 10^4 \text{ s}^{-1}$ ;  $C = 25 \text{ nF}$ !

### 3.6 Operation mode of a dual channel oscillograph | Wirkungsweise eines Zweikanal-Oszillographen

Use a simple block diagram to explain how a two-channel oscilloscope works!

Erläutern Sie anhand eines einfachen Blockschaltbildes die Wirkungsweise eines Zweikanal-Oszillographen!

## 4 Experimental procedure | Versuchsdurchführung

### 4.1 Measurement at a RC series connection | Messungen an einer RC-Reihenschaltung

Measure the voltage  $U_R$  at the resistor  $R$  as well as the phase angle to the total voltage  $U$  as a function of the frequency  $\omega$ . on the RC series circuit of circuit 1 with a two-channel oscilloscope.

Messen Sie an der RC-Reihenschaltung nach Schaltung 1 mit einem Zweikanal-Oszillographen die Spannung  $U_R$  am Widerstand  $R$  sowie den Phasenwinkel zur Gesamtspannung  $U$  in Abhängigkeit von der Frequenz  $\omega$ .

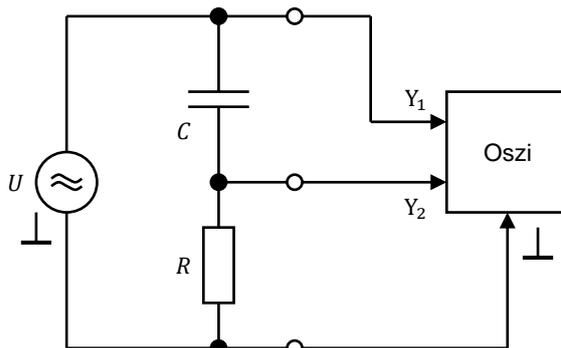


Figure 8: Circuit 1 | Schaltung 1

$$\hat{u} = 8 \text{ V}$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega, \quad C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{RC}$$

Choose for the frequency range:

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{f}{f_0} = 0,04; 0,07; 0,1; 0,2; 0,4; \dots; 7; 10!$$

Wählen Sie für den Frequenzbereich:

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{f}{f_0} = 0,04; 0,07; 0,1; 0,2; 0,4; \dots; 7; 10!$$

#### 4.1.1

Visualize  $\frac{U_R}{U} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$  and  $\varphi = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$  with  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$  (logarithmically divided frequency axis)!

Stellen Sie  $\frac{U_R}{U} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$  und  $\varphi = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$  mit  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$  dar (logarithmisch geteilte Frequenzachse)!

#### 4.1.2

Save the images of the display for  $U$  and  $U_R$  at  $\omega = \omega_0$ ;  $0,4 \cdot \omega_0$  and  $2,5 \cdot \omega_0$ ; mark the phase angle  $\varphi$ !

Speichern Sie die Displaybilder für  $U$  und  $U_R$  bei  $\omega = \omega_0$ ;  $0,4 \cdot \omega_0$  und  $2,5 \cdot \omega_0$ ; kennzeichnen Sie jeweils den Phasenwinkel  $\varphi$ !

## 4.2 Measurement of the phase angle $\varphi$ at a HAUSRATH bridge | Messung des Phasenwinkels $\varphi$ an einer HAUSRATH-Brücke

Determine the phase angle  $\varphi$  of the diagonal voltage  $U_{CD}$  as a function of the resistor  $R$  using the oscilloscope on a HAUSRATH bridge at constant frequency  $\omega_0$ !

Ermitteln Sie mit dem Oszillographen an einer HAUSRATH-Brücke bei konstanter Frequenz  $\omega_0$  den Phasenwinkel  $\varphi$  der Diagonalspannung  $U_{CD}$  in Abhängigkeit vom Widerstand  $R$ !

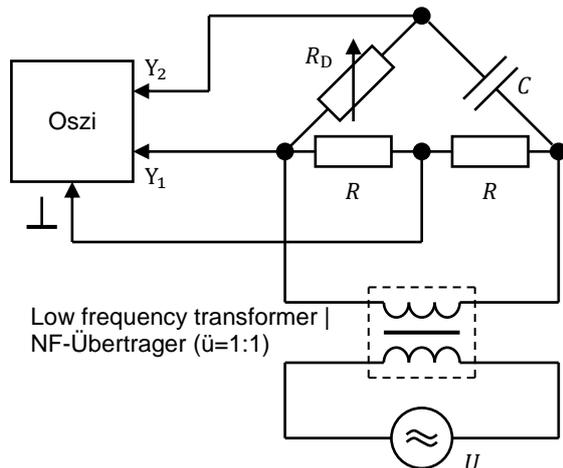


Figure 9: Circuit 2 | Schaltung 2

$$\hat{u} = 8 \text{ V}$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega, \quad C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$\omega_0 = 10^4 \text{ s}^{-1}, \quad R_0 = \frac{1}{\omega_0 C}$$

Choose for the resistor range:  
 $\frac{R_D}{R_0} = 0,04; 0,07; 0,1; 0,2; 0,4; \dots; 7; 10!$

Wählen Sie für den Widerstandsbereich:  
 $\frac{R_D}{R_0} = 0,04; 0,07; 0,1; 0,2; 0,4; \dots; 7; 10!$

### 4.2.1

Visualize  $\varphi = f\left(\frac{R}{R_0}\right)$  with  $R_0 = \frac{1}{\omega_0 C}$   
 (logarithmically divided  $R/R_0$  axis)!

Stellen Sie  $\varphi = f\left(\frac{R}{R_0}\right)$  mit  $R_0 = \frac{1}{\omega_0 C}$  dar  
 (logarithmisch geteilte  $R/R_0$ -Achse)!

### 4.2.2

Save the oscillograms of the voltages  $U_1$  and  $U_{CD}$  for  $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$  and  $180^\circ$ , mark each phase angle  $\varphi$ !

Speichern Sie die Oszillogramme der Spannungen  $U_1$  und  $U_{CD}$  für  $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$  und  $180^\circ$ , kennzeichnen Sie jeweils die Phasenwinkel  $\varphi$ !

### 4.3 Measurement of the phase angle $\varphi$ at a HAUSRATH bridge using LISSAJOUS figures | Messung des Phasenwinkels $\varphi$ an einer HAUSRATH-Brücke mit Hilfe von LISSAJOUS-Figuren

Determine the phase angle between  $U_1$  and  $U_{CD}$  on a HAUSRATH bridge as a function of  $R$  using LISSAJOUS figures (use circuit 2)!

**Hint:** adjust  $U_{Y1} = U_{Y2}$ !

Choose the resistor range like in task 4.2!

Bestimmen Sie an einer HAUSRATH-Brücke den Phasenwinkel zwischen  $U_1$  und  $U_{CD}$  in Abhängigkeit von  $R$  mit Hilfe von LISSAJOUS-Figuren (Schaltung 2 verwenden)!

**Hinweis:**  $U_{Y1} = U_{Y2}$  einstellen!

Wählen Sie den Widerstandsbereich wie in Aufgabe 4.2!

#### 4.3.1

Visualize  $\varphi = f\left(\frac{R}{R_0}\right)$  with  $R_0 = \frac{1}{\omega_0 C}$  (logarithmically divided  $R/R_0$  axis) and compare it with the results of tasks 4.2.1!

Stellen Sie  $\varphi = f\left(\frac{R}{R_0}\right)$  mit  $R_0 = \frac{1}{\omega_0 C}$  dar (logarithmisch geteilte  $R/R_0$ -Achse) und vergleichen Sie mit den Ergebnissen von Aufgabe 4.2.1!

#### 4.3.2

Save the LISSAJOUS figures for  $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  and  $180^\circ$ . Use the results of the preparation of experiment 3.3!

Speichern Sie die LISSAJOUS-Figuren für  $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  und  $180^\circ$ . Nutzen Sie dabei die Ergebnisse der Vorbereitungsaufgabe 3.3!

#### 4.4 Drawing of the Niquist plot of a two-pole by means of LISSAJOUS figures | Aufnahme der Ortskurve eines Zweipols mit LISSAJOUS-Figuren

Using LISSAJOUS figures, measure the current, voltage and phase angle to determine the complex impedance  $\underline{Z}$  of the presented two-pole as a function of the angular frequency  $\omega$ . The measurement results are to be displayed in the complex  $\underline{Z}$ -plane as a Nyquist plot!

Calculate the minimum angle  $\varphi_Z$  and the corresponding frequency  $f_{\min}$  for the complex resistance  $\underline{Z}$  of the present RC circuit and compare the values with the recorded Nyquist plot!

Nehmen Sie mit Hilfe von LISSAJOUS-Figuren durch Messung von Strom, Spannung und Phasenwinkel den komplexen Scheinwiderstand  $\underline{Z}$  des vorgelegten Zweipols in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz  $\omega$  auf. Die Messergebnisse sind in der komplexen  $\underline{Z}$ -Ebene als Ortskurve darzustellen!

Ermitteln Sie rechnerisch den minimalen Winkel  $\varphi_Z$  sowie die zugehörige Frequenz  $f_{\min}$  für den komplexen Widerstand  $\underline{Z}$  der vorliegenden RC-Schaltung und vergleichen Sie die Werte mit der aufgenommenen Ortskurve!

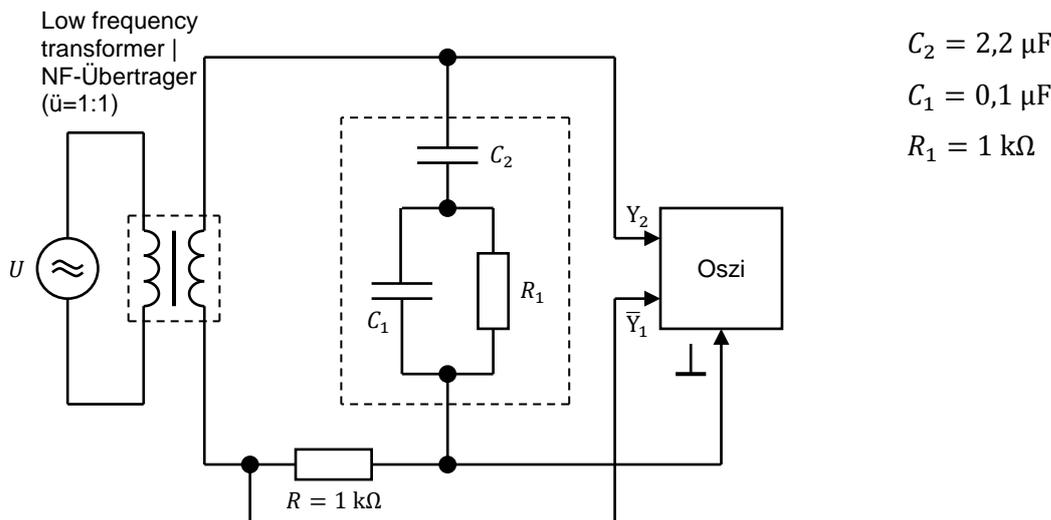


Figure 10: Circuit 3 | Schaltung 3

Choose the following measurement frequencies:

$f = 40 \text{ Hz}; 80 \text{ Hz}; 160 \text{ Hz}; 320 \text{ Hz}; 640 \text{ Hz};$   
 $1 \text{ kHz}; 2 \text{ kHz}; 4 \text{ kHz}; 8 \text{ kHz} !$

In areas with strong curvatures of the Nyquist plot, **additional intermediate values have to be recorded.**

Scale of the Nyquist plot: **10 cm  $\hat{=}$  1 kΩ!**

#### Hint:

The power supply of the circuit has to be realized by LF-transformers (floating)!

Wählen Sie die folgenden Messfrequenzen:

$f = 40 \text{ Hz}; 80 \text{ Hz}; 160 \text{ Hz}; 320 \text{ Hz}; 640 \text{ Hz};$   
 $1 \text{ kHz}; 2 \text{ kHz}; 4 \text{ kHz}; 8 \text{ kHz} !$

In Bereichen mit starken Krümmungen der Ortskurve sind **zusätzlich Zwischenwerte aufzunehmen!**

Maßstab für die Ortskurve: **10 cm  $\hat{=}$  1 kΩ!**

#### Hinweis:

Die Speisung der Schaltung muss über NF-Übertrager erfolgen (Erdfreiheit)!

## 5 Literature | Literatur

- [1] S. Altmann, D. Schlayer, Lehr- und Übungsbuch Elektrotechnik, Fachbuchverlag Leipzig - Köln, 1995.
- [2] W.-E. Büttner, Grundlagen der Elektrotechnik 1, Oldenbourg Verlag München - Wien, 2004.

## 6 Attachment | Anhang

### 6.1 Equipment list | Geräteliste

1	Arbitrary wave generator Agilent 33220A	1	Funktionsgenerator Agilent 33220A
1	Dual channel oscilloscope Agilent DSO6012A	1	Zweikanaloszilloskop Agilent DSO6012A
1	LF transformer	1	NF-Übertrager
1	Resistance decade MA 2115	1	Widerstandsdekade MA 2115
1	Experimental circuit board	1	Experimentierplatine
2	Resistor $R = 1 \text{ k}\Omega$	2	Widerstand $R = 1 \text{ k}\Omega$
1	Capacitance $C = 100 \text{ nF}$	1	Kapazität $C = 100 \text{ nF}$
1	RC combination	1	RC-Kombination
1	Digital multimeter (Fluke 75 III)	1	Digital-Multimeter (Fluke 75 III)

### 6.2 Function paper | Funktionspapiere

2	Sheets simple-logarithmic paper with three decades at the abscissa	2	Blätter einfach-logarithmisches Papier mit drei Dekaden logarithmischen Achsenmaßstabs auf der Abszissenachse
---	--	---	---