

Experiment ET 02 – Measuring instruments for current and voltage |
Messinstrumente für Strom und Spannung

1 Object of the experiment | Versuchsziel

Getting to know the most commonly used measuring instruments for electrical current and voltage.

Kennenlernen der am häufigsten eingesetzten Messinstrumente für Strom und Spannung.

2 Basics | Grundlagen

2.1 Types of measuring instruments | Arten von Messwerken

The instruments used for current and voltage measurement basically are categorized in two main groups – devices with and devices without power consumption. Instruments with power consumption are mostly utilizing the force effect on moving electric charge carriers as well as force effects on boundary surfaces in magnetic fields (moving coil mechanism, moving iron mechanism, electrodynamic movement). Instruments without power consumption, e.g. static voltmeters, are mostly based on force effects on charge carriers in electric fields. Valve voltmeters as well as digital voltmeters also allow for a nearly power-less measurement.

In this experiment, only the measuring instruments with power consumption including moving coil and moving iron mechanism are discussed. Due to the linear relationship between current and voltage (OHMS law), they are applicable for current measurement as well as for voltage measurement.

Moving coil instruments display the arithmetic mean value

Die zur Messung von Strom und Spannung eingesetzten Geräte lassen sich in zwei Hauptgruppen – leistungsverbrauchende und leistungslose Messinstrumente – einteilen. Leistungsverbrauchende Instrumente nutzen im Wesentlichen die Kraftwirkung auf bewegte elektrische Ladungen sowie Grenzflächen im magnetischen Feld (Drehspul- und Weicheiseninstrumente, elektrodynamische Messwerke). Die leistungslosen Messinstrumente, z. B. statische Voltmeter, basieren auf der Kraftwirkung auf Ladungen im elektrischen Feld. Röhrenvoltmeter und digitale Voltmeter erlauben ebenfalls eine weitgehend leistungslose Messung.

Im vorliegenden Versuch werden ausschließlich die leistungsverbrauchenden Messinstrumente mit Drehspul- und Weicheisenmesswerk (bzw. Dreheisenmesswerk) behandelt. Sie eignen sich wegen des linearen Zusammenhangs zwischen Strom und Spannung (OHMSches Gesetz) sowohl zur Strom- als auch zur Spannungsmessung. Drehspulmessgeräte zeigen den arithmetischen Mittelwert

$$I_m = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (1)$$

of the measured value, in contrast to moving iron instruments which display the effective value (root mean square)

der Messgröße an, während Weicheiseninstrumente den Effektivwert (quadratischen Mittelwert)

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (2)$$

of the measured value. Moving coil instruments used for measuring alternating (AC) quantities have to be equipped with a rectifier. In this case they are usually calibrated in effective values (e.g. instruments for multiple electric quantities). (One has to consider that in most cases the root mean square display is exactly valid only for sinusoidal quantities!)

messen. Drehspulmessgeräte müssen für Wechselstrommessungen mit einem Gleichrichter ausgerüstet sein. Sie sind dann meistens (wie z. B. Vielfachmesser) in Effektivwerten geeicht. (Es ist jedoch zu beachten, dass diese Effektivwertanzeige exakt nur bei sinusförmigen Messgrößen gilt!).

The most important parameters regarding the usage of the measuring instrument (e.g. voltage and current shape, type of measuring instrument, operating position, precision) are given by means of Symbols at the scale.

Die wichtigsten Daten für den Einsatz der Messgeräte (Stromart, Messwerk, Gebrauchslage, Genauigkeit u. ä.) sind durch Symbole auf der Skala angegeben.

2.2 Sensitivity and Accuracy | Empfindlichkeit und Genauigkeit

The sensitivity of a measuring instrument is defined as change of the needle deflection α referred to the change of the measured quantity

Die Empfindlichkeit des Messgerätes ist definiert als Änderung des Zeigerausschlages α bezogen auf die Änderung der Messgröße

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta I} \quad \text{or} \quad \frac{\Delta\alpha}{\Delta U} \quad (3)$$

The accuracy gives information about the display error of the instrument. It is characterized by the class sign x ($x = 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 5$) at the scale. The accuracy class depends mainly on the construction of the instrument. The class sign x has the following meaning, e.g. regarding a current measuring instrument: At any point of the scale, the absolute display error ΔI is equal to x % of the maximum value of the scale. Assuming a linear scale, the relative error

Die Genauigkeit gibt Aufschluss über den Anzeigefehler des Instrumentes. Sie wird durch das Klassenzeichen x ($x = 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 5$) auf der Skala angegeben. Die Genauigkeitsklasse ist im Wesentlichen vom konstruktiven Aufbau des Messgerätes abhängig. Das Klassenzeichen x bedeutet beispielsweise für einen Strommesser: Der absolute Anzeigefehler ΔI ist an jeder Stelle der Skala gleich x % vom Vollausschlag. Damit ist – lineare Skalenteilung vorausgesetzt – der relative Fehler

$$\delta_I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100 \% \quad (4)$$

of a displayed measuring quantity I is inversely proportional to the needle deflection. Caution: The terms “sensitivity” and “accuracy” are mixed up frequently!

eines angezeigten Messwertes I dem Ausschlag umgekehrt proportional. Die Begriffe „Empfindlichkeit“ und „Genauigkeit“ werden häufig miteinander verwechselt!

2.3 Internal resistance and internal consumption | Innenwiderstand und Eigenverbrauch

Moving coil and moving iron instruments have a finite ohmic internal resistance R , thus for a measuring current I or a measuring voltage U the electric power

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (5)$$

will be converted into heat inside the instrument. This power is taken from the measuring circuit, thus it can falsify the measuring result considerably, if it is not negligible against the overall power converted in the measuring circuit (ref. to 2.5). Moving coil instruments offer a significant lower power consumption ($\mu\text{W} \dots \text{mW}$) than moving iron instruments (W). The internal power consumption of the instruments is specified always for full needle deflection. Because this power consumption cannot be reduced arbitrarily, instruments for current measurement with high sensitivity have a relative high inner resistance R_i .

Drehspul- und Weicheiseninstrumente besitzen einen endlichen ohmschen Innenwiderstand R , so dass bei einem Strom I bzw. einer Spannung U eine Leistung

im Instrument in Wärme umgesetzt wird. Diese Leistung wird dem Messkreis entzogen und kann die Messung teilweise erheblich verfälschen, wenn sie nicht gegenüber der im Messkreis umgesetzten Leistung zu vernachlässigen ist (vgl. 2.5). Drehspulinstrumente besitzen einen wesentlich geringeren Leistungsbedarf ($\mu\text{W} \dots \text{mW}$) als Weicheiseninstrumente (W). Der Eigenverbrauch der Instrumente wird stets für Vollausschlag angegeben. Da diese Leistungsaufnahme nicht beliebig gesenkt werden kann, haben Strommesser mit hoher Empfindlichkeit einen relativ hohen Innenwiderstand R_i .

2.4 Extension of measuring range | Messbereichserweiterung

By connecting additional resistors R_V in series (voltmeter) or additional resistors R_P parallel (ammeter) to the measuring element the measuring range of the instrument can be extended. The sensitivity is reduced at the same time. The required additional resistances R_V and R_P can be determined by means of equation (6).

Durch Zuschalten von Widerständen R_V in Reihe (Spannungsmesser) oder R_P , parallel (Strommesser) zum Messwerk kann der Messbereich eines Instrumentes erweitert werden; die Empfindlichkeit wird dabei jedoch verringert. Die notwendigen Zusatzwiderstände R_V und R_P lassen sich nach Gleichung (6) berechnen.

$$R_V = R_U \left(\frac{U}{U_0} - 1 \right) = R_U (p - 1)$$

voltmeter

$$R_P = \frac{R_I}{\frac{I}{I_0} - 1} = \frac{R_I}{p - 1} \quad (6)$$

ammeter

In these equations the factor p specifies the ratio of new and old full needle deflection. $R_{U,I}$ is the inner resistance of the measuring instrument. The power consumption of the extended instrument (including additional resistances) is increased by the factor p .

Multi-range instruments contain a moving coil measuring element with high sensitivity in combination with switchable series resistances R_V and parallel resistances (shunts) R_P .

In case of measuring alternating quantities the built-in rectifier leads to a non-linearity especially in the lower region of the scale. Moving iron instruments are not suitable for an expansion of the measuring range due to their lower sensitivity and their higher internal power consumption.

Dabei gibt der Faktor p das Verhältnis von neuem zu altem Vollausschlag und $R_{U,I}$ den Widerstand des Messwerkes an. Der Leistungsbedarf eines erweiterten Instrumentes (einschließlich Zusatzwiderstand) steigt auf das p -fache.

Vielfachinstrumente enthalten ein Drehspulmesswerk hoher Empfindlichkeit sowie umschaltbare Vorwiderstände R_V , und Parallelwiderstände (Shunts) R_P .

Bei Wechselstrommessungen führt der eingebaute Gleichrichter zur Nichtlinearität im unteren Skalenbereich. Weicheiseninstrumente sind vor allem auf Grund ihrer geringen Empfindlichkeit und des hohen Eigenverbrauchs für eine Messbereichserweiterung ungeeignet.

2.5 Measuring instruments inside the electric circuit | Messinstrumente in der Schaltung

The insertion of power-consuming measuring elements in an electric circuit means the introduction of an additional resistance. Thereby the actual voltage and current values are modified. For any practical application it is necessary to keep the resulting error either negligibly small or to correct it. Significant for the magnitude of the error is the ratio between the inner resistance of the circuit $R_{i,ers}$ and the inner resistance of the measuring element R_I or R_U . The error is negligible, if equation (7) is valid (cf. Figure 2).

$$R_U \gg R_{i,ers}$$

voltmeter

This leads to the basic principle: Amperemeters shall have a preferably small and voltmeters shall have a preferably high inner resistance. If equation (7) is not valid, the measuring result has to be corrected by taking into account the inner resistance of the instrument R_I or R_U .

Das Einbringen leistungsverbrauchender Messinstrumente in eine Schaltung bedeutet das Einfügen eines zusätzlichen Widerstandes. Dadurch ändern sich die Strom- und Spannungswerte. Für den praktischen Einsatz ist es daher notwendig, den entstehenden Fehler vernachlässigbar klein zu halten oder zu korrigieren. Entscheidend für die Größe des Fehlers ist das Verhältnis zwischen Innenwiderstand $R_{i,ers}$ der Schaltung und Messgerätewiderstand R_I bzw. R_U . Der Fehler ist vernachlässigbar, wenn Gleichung (7) gilt (vgl. Figure 2).

$$R_I \ll R_{i,ers} \quad (7)$$

amperemeter

Daraus resultiert der Grundsatz: Strommesser sollen einen möglichst niedrigen, Spannungsmesser einen möglichst hohen Innenwiderstand besitzen. Ist Gleichung (7) nicht erfüllt, muss das Messergebnis durch Berücksichtigung des Instrumentenwiderstandes R_I bzw. R_U korrigiert werden.

For the simultaneous measurement of current and voltage at a resistor R_x two measuring circuits are possible. In “current correct wiring” (Figure 1a) the voltage at the resistor R_x is measured too high with the error $\Delta U = I \cdot R_I$. In the “voltage correct wiring” (Figure 1b) the current through R_x is measured too high with the error $\Delta I = U/R_U$.

Für die gleichzeitige Messung von Strom und Spannung an einem Widerstand R_x sind zwei Schaltungen möglich. In der stromrichtigen Schaltung (Figure 1a) werden die Spannung am Widerstand R_x um $\Delta U = I \cdot R_I$ und in der spannungsrichtigen Schaltung (Figure 1b) der Strom durch R_x um $\Delta I = U/R_U$ zu hoch gemessen.

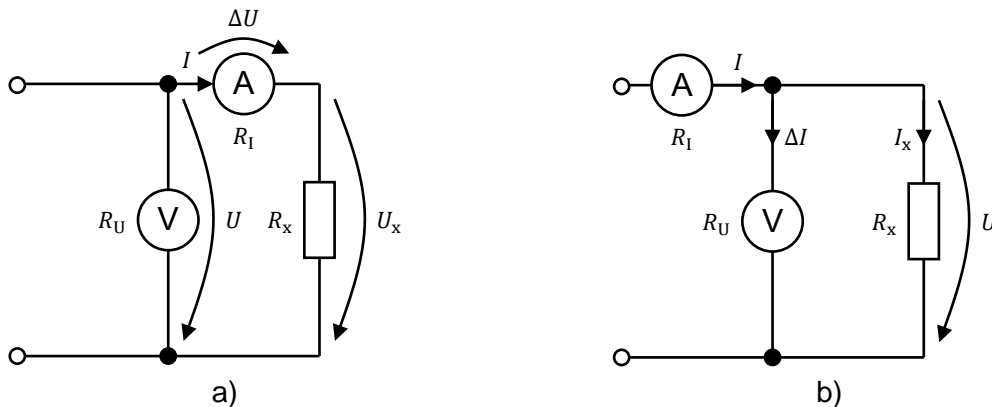


Figure 1: Simultaneous measurement of current and voltage at resistor R | Gleichzeitige Messung von Strom und Spannung an R

Regarding the accuracy of the measurement the ratio

$$\frac{R_x}{R_I} \quad (\text{Figure 1a})$$

or

$$\frac{R_U}{R_x} \quad (\text{Figure 1b})$$

is decisive.

Für die Genauigkeit der Messung ist das Verhältnis

entscheidend.

3 Experimental preparation | Versuchsvorbereitung

3.1 Construction and working principle of moving coil and moving iron instruments | Aufbau und Wirkungsweise der Messwerke von Drehspul- und Weicheiseninstrumenten

Sketch the basic construction of the measuring elements of moving coil and moving iron instruments. Explain the working principle of both instrument types!

Show mathematically by means of physical laws (forces at magnetic field) that in moving coil instruments $\alpha \sim I$ is valid!

Skizzieren Sie den Aufbau der Messwerke von Drehspul- und Weicheiseninstrumenten und erläutern Sie die Wirkungsweise beider Instrumententypen!

Weisen Sie durch Anwendung physikalischer Gesetze (Kräfte im Magnetfeld) rechnerisch nach, dass beim Drehspulinstrument $\alpha \sim I$ gilt!

3.2 Meaning of symbols at measuring instruments | Aufschriftsymbole von Messinstrumenten

Sketch and explain the symbols printed on the scale of measuring instruments (type of measuring element, voltage and current shape, operating position, accuracy and insulation test voltage)!

Skizzieren und erläutern Sie die Aufschriftsymbole von Messinstrumenten (Messwerk, Stromart, Betriebslage, Messgenauigkeit und Prüfspannung)!

3.3 Extension of voltage and current measuring range | Erweiterung der Messbereiche zur Strom- und Spannungsmessung

Design the measuring circuits for the measurement range extension required for measuring tasks 4.4 and 4.5!

Entwerfen Sie die Messschaltungen zur Erweiterung der Messbereiche für die Messaufgaben 4.4 und 4.5!

3.4 Expediency at measurement of current and voltage | Zweckmäßigkeit bei Strom- und Spannungsmessungen

An unknown resistance R_x shall be determined after OHMS law by means of simultaneous measurement of current and voltage (Circuit: Figure 1). Explain which of the both possible measuring circuits (voltage/current correct wiring) is appropriate for the determination of a high or a low resistance R_x ! Write down the relations for determining the unknown resistance R_x based on the measured values U and I for both the appropriate and the inappropriate measuring circuit! (For the inappropriate measuring circuit, the known inner resistances of the instruments R_U and R_I shall be taken into account!)

Ein unbekannter Widerstand R_x soll durch gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung nach dem OHMSchen Gesetz bestimmt werden (Schaltung: Figure 1). Erläutern Sie, welche der beiden möglichen Schaltungen für die Bestimmung eines hochohmigen bzw. niederohmigen R_x zweckmäßig ist! Geben Sie sowohl für die zweckmäßige als auch für die unzureichende Schaltung die Beziehungen zur Ermittlung von R_x aus den angezeigten Messwerten U und I an (bei unzureichender Schaltung sind die Instrumentenwiderstände R_U bzw. R_I als bekannt vorauszusetzen und zu berücksichtigen)!

3.5 Power requirement for measuring range extension | Leistungsbedarf bei einer Messbereichserweiterung

Derive the relations for the calculation of the additional resistances R_v and R_p for the extension of the measuring range (equation (6))! Prove mathematically that the power requirement of the extended instrument is increased by the factor p in case of an external measuring range extension!

Leiten Sie die Beziehungen zur Berechnung der Zusatzwiderstände R_v und R_p für die Messbereichserweiterung (Gleichung (6)) her! Weisen Sie rechnerisch nach, dass der Leistungsbedarf eines erweiterten Instrumentes bei äußerer Messbereichserweiterung auf das p -fache ansteigt!

3.6 Resistance ratio for faulty voltage and current measurement | Verhältnis für fehlerbehaftete Strom- und Spannungsmessung

By means of the circuits given in Figure 2 the current I and the voltage U shall be measured with an error $\delta \leq 5\%$.

Mit den in Figure 2 dargestellten Schaltungen sollen der Strom I bzw. die Spannung U mit einem Fehler $\delta \leq 5\%$ gemessen werden.

Which ratio $\frac{R_I}{R_{i,ers}}$ and $\frac{R_U}{R_{i,ers}}$ is necessary for this reason?

Welches Verhältnis $\frac{R_I}{R_{i,ers}}$ bzw. $\frac{R_U}{R_{i,ers}}$ ist dafür notwendig?

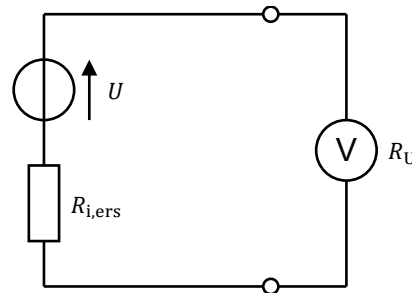
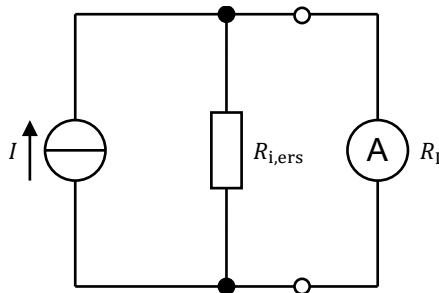


Figure 2: Circuits for measurement of current and voltage | Schaltungen zu Strom- und Spannungsmessung

4 Experimental procedure | Versuchsdurchführung

4.1 Inner resistances of provided measurement instruments | Innenwiderstände R_i der vorgelegten Messinstrumente

Determine the inner resistances R_i of the provided measurement instruments by means of current and voltage measurement (dual-range instrument) and direct measurement (moving-iron instrument) respectively. Calculate the power requirement at full needle deflection!

Bestimmen Sie die Innenwiderstände R_i der vorgelegten Messinstrumente durch Strom- und Spannungsmessungen (Zweibereichs-Messinstrument) bzw. direkte Messung (Weicheisen-Messinstrument) und berechnen Sie den Leistungsbedarf bei Vollausschlag!

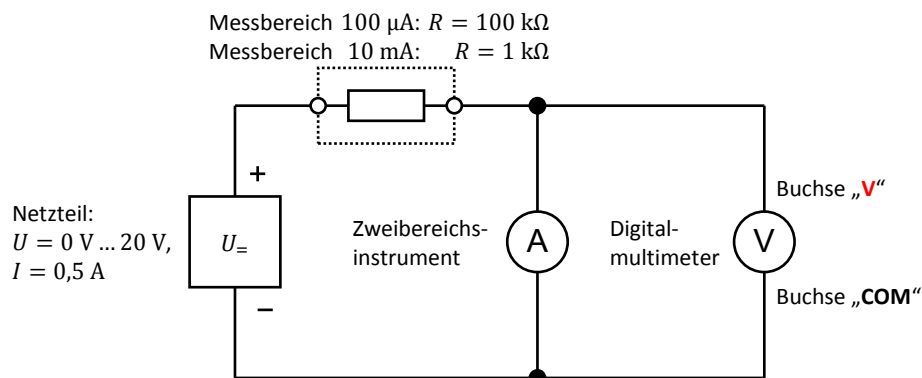


Figure 3: Measuring circuit (dual-range instrument) | Messschaltung (Zweibereichs-Messinstrument)

Hints:

The measurement is performed at full needle deflection in each case!

For measuring the inner resistance of the moving iron instrument the resistance measurement function of the digital multimeter may be used!

For determining the power requirement of the moving iron instrument, the maximum voltage of the controllable power supply EA-3048 at AC voltage (in accordance with 4.2) has to be used!

Hinweise:

Die Messung erfolgt jeweils bei Vollausschlag!

Für die Messung des Innenwiderstandes des Weicheisen-Messinstrumentes kann die Widerstands-Messfunktion des DMM genutzt werden!

Zur Bestimmung des Leistungsbedarfs des Weicheisen-Messinstrumentes ist die Maximalspannung des regelbaren Netzgerätes EA-3048 bei Wechselspannung (gemäß Aufgabe 4.2) zu verwenden!

4.2 Measurement of voltage in dependency of needle deflection angle | Messung der Spannung in Abhängigkeit vom Ausschlagwinkel des Zeigers

Record the graph of the measuring function $U = f(\alpha)$ at alternating voltage for the moving iron instrument (α : angle of needle deflection)!

Determine the absolute (ΔU) and the relative (δ_i) error based on the instrument data. Plot the dependency of the error against the needle deflection α !

Voltage source:

adjustable voltage supply EA-3048, use alternating current!

Voltmeter:

Digital multimeter HM8012

Nehmen Sie den Graphen der Messfunktion $U = f(\alpha)$ bei Wechselspannung für das Weicheiseninstrument auf (α : Winkel des Zeigerausschlags)!

Ermitteln Sie aus den Daten des Instrumentes den absoluten (ΔU) sowie den relativen (δ_i) Fehler und tragen Sie diese in Abhängigkeit vom Ausschlag α auf!

Spannungsquelle:

regelbares Netzgerät EA-3048, Wechselspannung verwenden!

Spannungsmesser:

Digital-Multimeter HM8012

4.3 Characteristics of investigated moving coil and moving iron instruments | Daten der untersuchten Drehspul- und Weicheiseninstrumente

Give a tabular overview about the identified characteristic parameters of the investigated moving coil and moving iron instruments!

Stellen Sie die ermittelten Daten der untersuchten Drehspul- und Weicheiseninstrumente tabellarisch zusammen!

4.4 Realization of measurement range extension for current measurement | Realisierung einer Messbereichserweiterung zur Strommessung

Extend the least power range of the investigated instruments towards an amperemeter by means of an additional resistor. Calculate the quantity of the additional resistance and record the graph of the measurement function $I = f(\alpha)$.

Use the digital multimeter as reference measurement instrument!

Determine the power consumption of the extended instrument!

Hint:

extended measuring range: 0 mA ... 10 mA

Erweitern Sie den leistungsärmsten Bereich der Versuchsinstrumente mit Hilfe eines Zusatzwiderstandes zu einem Strommesser. Berechnen Sie den Zusatzwiderstand und nehmen Sie den Graphen der Messfunktion $I = f(\alpha)$ auf.

Verwenden Sie das Digital-Multimeter als Vergleichsmessgerät!

Ermitteln Sie den Leistungsbedarf des erweiterten Instrumentes!

Hinweis:

erweiterter Messbereich: 0 mA ... 10 mA

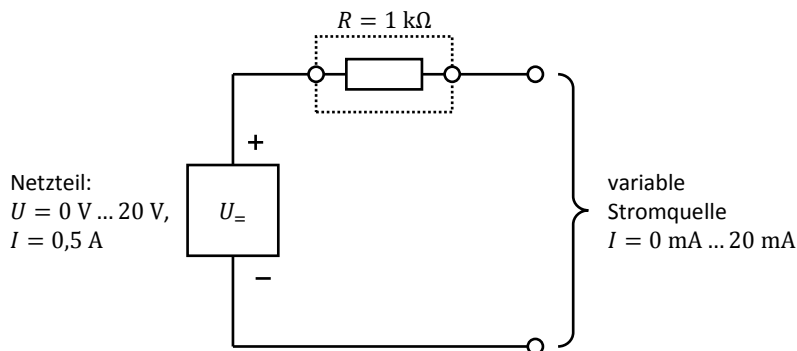


Figure 4: Circuit for realization of a variable measuring current source | Messschaltung zur Realisierung einer variablen Messstromquelle

4.5 Realization of measurement range extension for voltage measurement | Realisierung einer Messbereichserweiterung zur Spannungsmessung

Extend the same measuring instrument towards a voltmeter! Calculate the additional resistance and record the graph of the measurement function $U = f(\alpha)$.

Use the digital multimeter as reference measurement instrument!

Hint:

extended measuring range: 0 V ... 0,5 V

Erweitern Sie das gleiche Versuchsinstrument zu einem Spannungsmesser! Berechnen Sie den Zusatzwiderstand und nehmen Sie den Graphen der Messfunktion $U = f(\alpha)$ auf.

Verwenden Sie das Digital-Multimeter als Vergleichsmessgerät!

Hinweis:

erweiterter Messbereich: 0 V ... 0,5 V

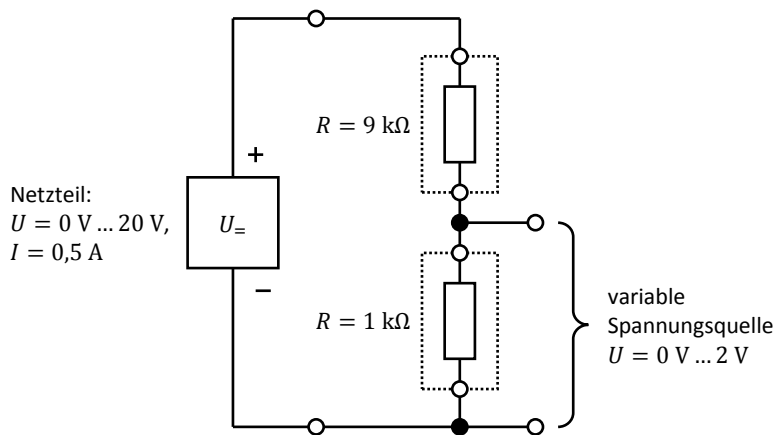


Figure 5: Circuit for realization of a variable measuring voltage source | Messschaltung zur Realisierung einer variablen Messspannungsquelle

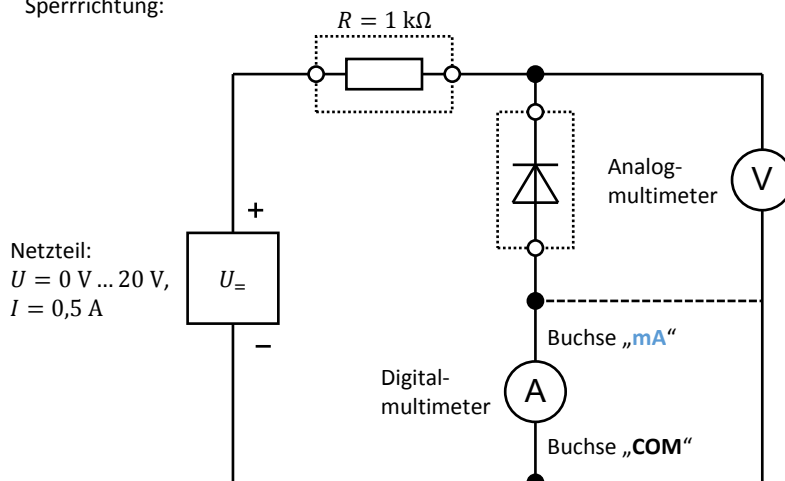
4.6 Static characteristic curve of the submitted rectifier diode | Statische Kennlinie $I = f(U)$ der vorgelegten Gleichrichterdiode

Record the static characteristic curve $I = f(U)$ of the submitted rectifier diode (conducting and inverse direction) both with the appropriate and with the inappropriate measuring circuit!

Nehmen Sie die statische Kennlinie $I = f(U)$ der vorgelegten Gleichrichterdiode (Durchlass- und Sperrrichtung) sowohl in zweckmäßiger als auch in unzulässiger Schaltung auf!

Measuring circuits:

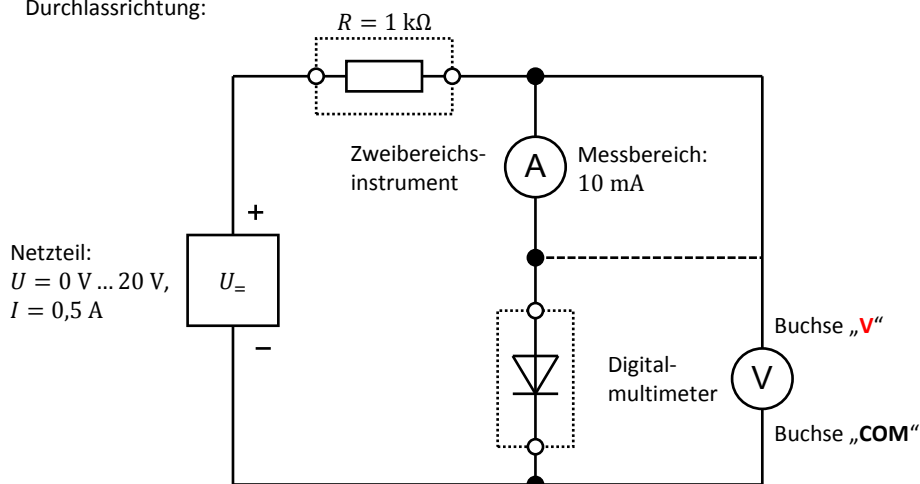
Sperrrichtung:



Bereich der Messspannung: 0 V ... 15 V

Figure 6: Measuring circuit in inverse direction | Messschaltung bei Sperrrichtung

Durchlassrichtung:



Bereich des Messstromes: 0 mA ... 10 mA

Figure 7: Measuring circuit in conducting direction | Messschaltung bei Durchlassrichtung

4.7 Resistance of the rectifier in conducting and inverse direction | Widerstand des Gleichrichters in Durchlass- und Sperrrichtung

Determine the resistance of the rectifier in forward and reverse direction based on the characteristic curves (task 4.6, appropriate measuring circuit!) Plot the resistance as a function of the voltage!

Ermitteln Sie aus den Gleichrichtercharakteristiken (Aufgabe 4.6, zweckmäßige Schaltung!) den Widerstand des Gleichrichters in Durchlass- und Sperrrichtung und tragen Sie diesen als Funktion der Spannung auf!

4.8 Determination of inner resistances of measuring instruments | Bestimmung der Innenwiderstände der Messgeräte

Determine the inner resistances of the dual-range instrument and the analog multimeter based on the chart from task 4.6. Compare the result of the dual-range instrument with the value R_i determined in task 4.1!

Bestimmen Sie aus dem Diagramm der Aufgabe 4.6 die Innenwiderstände des Zweibereichs-Messinstrumentes und des Analog-Multimeters und vergleichen Sie das Ergebnis für das Zweibereichs-Messinstrument mit dem in Aufgabe 4.1 ermittelten Wert für R_i !

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.
- [3] T. Harriehausen, D. Schwarzenau, Moeller Grundlagen der Elektrotechnik, Springer Vieweg – Wiesbaden, 2013

6 Attachment | Anhang

6.1 Equipment list | Geräteliste

1 triple DC power supply HM8040-3 (2 x 0...20 V/0,5 A, 1 x 5 V/1 A)	1 Dreifach-Gleichspannungs-Netzgerät HM8040-3 (2 x 0...20V/0,5A, 1 x 5V/1A)
1 Controllable power supply EA-3048	1 Regelbares Netzgerät EA-3048
1 Digital multimeter (DMM) HM8012	1 Digital-Multimeter (DMM) HM8012
1 Analog multimeter MA 2H	1 Analog-Multimeter MA 2H
1 Dual-range measuring instrument	1 Zweibereichs-Messinstrument
1 Moving iron measuring instrument	1 Weicheisen-Messinstrument
1 Resistance decade MA 2115 S	1 Widerstandsdekade MA 2115 S
1 experimental circuit board	1 Experimentierplatine
1 Resistor $R = 1 \text{ k}\Omega$	1 Widerstand $R = 1 \text{ k}\Omega$
1 Resistor $R = 9 \text{ k}\Omega$	1 Widerstand $R = 9 \text{ k}\Omega$
1 Resistor $R = 100 \text{ k}\Omega$	1 Widerstand $R = 100 \text{ k}\Omega$
1 Germanium rectifier diode AA 116	1 Germanium-Gleichrichterdiode AA 116