

E02 elektrische Widerstände

H. Bender, A. Hinrichs, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven,
Fachbereich Technik, Abteilung Photonik

Doc. 3. September 2002

1.1 Einführung

1.1.1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch sollen die elektrischen Grössen wie Strom und Spannung, ohmscher Widerstand, frequenzabhängiger Widerstand sowie Methoden und Schaltungen zur Messung aufgezeigt werden.

1.1.2 Aufgabenstellung

- Bestimmung des Innenwiderstands eines analogen Multimeters
- Strom- und Spannungsfehlerschaltung
- Widerstandsbestimmung mit der Wheatstone-Brücke

1.2 Theorie

1.2.1 Der elektische Widerstand

Dem Fluss des elektrischen Stromes durch ein bestimmtes Material wird ein mehr oder weniger grosser Widerstand entgegengesetzt. Dieser ist beispielsweise abhängig von der Art des Materials oder der Temperatur. Die Einheit des elektrischen Widerstandes ist das Ohm, abgekürzt mit dem griechischen Buchstaben Omega (Ω). Das Formelzeichen des Widerstandes ist R .

Schaltzeichen:



1.2.2 Der spezifische Widerstand

Der elektrische Widerstand ist abhängig vom verwendeten Material. Diesen vom jeweils verwendeten Material abhängigen Widerstand nennt man spezifischer Widerstand. Die Einheit des spezifischen Widerstandes ist $(\Omega \cdot mm^2)/m$. Eine weitere Einheit für den spezifischen Widerstand ist $\Omega \cdot m$. Hierbei gilt $1(\Omega \cdot mm^2)/m = 10^{-6}\Omega \cdot m = 1\mu\Omega \cdot m$. Der spezifischer Widerstand hat als Formelzeichen den griechischen Buchstaben ρ (Rho). Er ist definiert als der Widerstand, den ein Draht aus einem bestimmten Material von 1 m Länge und einem Querschnitt von $1 mm^2$ dem elektrischen Strom entgegengesetzt.

Leiterwiderstand

Den Widerstand R den ein bestimmtes Material mit seinem spezifischen Widerstand mit einer Länge l und einem Querschnitt A hat berechnet sich mit der Formel:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (1.1)$$

1.2.3 Das Ohmsche Gesetz

Die wichtigsten Größen der Elektrotechnik sind Spannung, Strom und Widerstand.

	Formelzeichen	Einheit
Spannung	U	V
Strom	I	A
Widerstand	R	Ω

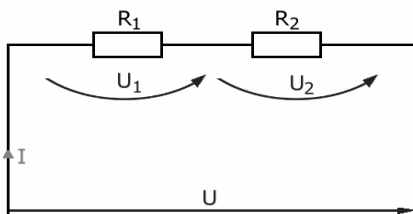
Wird in einem einfachen Stromkreis die angelegte Spannung erhöht, so erhöht sich auch der in der Schaltung fließende Strom. Die Stromstärke I ist also proportional zur angelegten Spannung U : $I \sim U$. Erhöht man bei konstanter Spannung den Widerstand, so verringert sich die in der Schaltung fließende Stromstärke. Die Stromstärke I ist also umgekehrt proportional zum Widerstand R : $I \sim 1/R$. Formelmässig besteht zwischen diesen 3 Größen also folgender Zusammenhang:

Strom = Spannung / Widerstand = konstant

oder als Formel:

$$I = \frac{U}{R} = \text{konstant} \quad (1.2)$$

1.2.4 Reihenschaltung von Widerständen



Der Gesamtwiderstand R_{ges} einer Reihenschaltung errechnet sich indem man die Einzelwiderstände addiert.

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (1.3)$$

Da es sich bei der Reihenschaltung um einen unverzweigten Stromkreis handelt fließt überall der gleiche Strom. Die Stromstärke I ist also überall in der Schaltung gleich groß.

An jedem Widerstand liegt eine elektrische Spannung an. Diese ist umso größer, je größer der jeweilige Widerstand ist. Die Spannung U_n an einem

Widerstand R_n berechnet sich nach der Formel:

$$U_n = I \cdot R_n \quad (1.4)$$

In der oben abgebildeten Schaltung berechnen sich die beiden Teilspannungen U_1 und U_2 nach den Formeln:

$$U_1 = I \cdot R_1$$

$$U_2 = I \cdot R_2$$

Da I in der Reihenschaltung gleich groß ist, kann man die Formeln nach I auflösen und gleichsetzen:

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_n}{R_n} \quad (1.5)$$

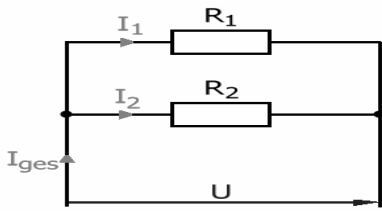
Durch Umformung der Gleichung erhält man:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1.6)$$

Bei der Reihenschaltung verhalten sich die Widerstände, wie die dazu gehörenden Spannungen. Die Gesamtspannung U_{ges} ist gleich die Summe der Einzelspannungen. Damit ergibt sich:

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

1.2.5 Parallelschaltung von Widerständen



Der Gesamtwiderstand R_{ges} einer Parallelschaltung errechnet sich aus den Einzelwiderständen R_1 bis R_n nach der Formel:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \tag{1.7}$$

Der Gesamtwiderstand R_{ges} ist stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand. Bei einer Parallelschaltung aus 2 Widerständen ergibt sich:

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \tag{1.8}$$

An allen Widerständen liegt die gleiche Spannung U an. Die Spannung U ist überall gleich groß.

$$U = U_{R_1} = U_{R_2} = \dots = U_{R_n}$$

$$U = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = \dots = I_n \cdot R_n \tag{1.9}$$

Durch Umformung der Gleichung erhält man:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \tag{1.10}$$

Bei der Parallelschaltung verhalten sich die Widerstände umgekehrt zueinander, wie die dazu gehörenden Ströme. Der Gesamtstrom I_{ges} ergibt sich aus der Summe der Einzelströme, die durch die einzelnen Widerstände fließen:

$$I_{ges} = I_{R_1} + I_{R_2} + \dots + I_{R_n} \tag{1.11}$$

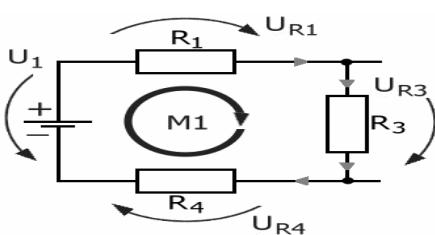
1.2.6 Knotenpunktregel (1. Kirchhoffscher Satz)



In einem Knotenpunkt ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der wegfließenden Ströme. Für das oben stehende Beispiel ergibt sich: $I_1 + I_2 = I_3$ daraus ergibt sich die allgemeingültige Formel: Die Summe aller vorzeichenbehafteten Ströme in einem Knotenpunkt ist gleich Null.

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0 \tag{1.12}$$

1.2.7 Maschenregel (2. Kirchhoffscher Satz)

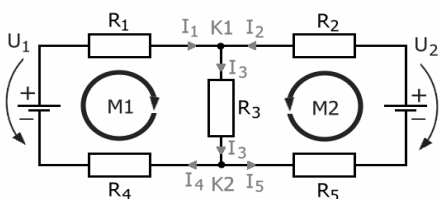


In einer Masche ist die Summe der positiven Spannungen gleich der Summe der negativen Spannungen. Eine Spannung ist positiv, wenn die Umlaufrichtung der Masche in die gleiche Richtung verläuft wie der jeweiligen Spannungszählpfeile (also bei U_{R_3} , U_{R_4} und U_{R_1}). Eine Spannung ist negativ, wenn die Umlaufrichtung der Masche entgegen den jeweiligen Spannungszählpfeilen verläuft (also bei U_1). Für das oben stehende Beispiel ergibt sich:

$U_{R_3} + U_{R_4} + U_{R_1} = U_1$ daraus ergibt sich die allgemeingültige Formel: In einer Masche ist die Summe der Spannungen Null.

$$U_1 + U_2 + \dots + U_n = 0 \tag{1.13}$$

1.2.8 Netzwerke

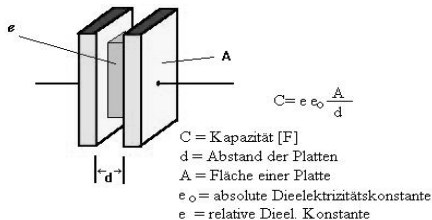


Schaltungen, die aus mehreren Spannungs- bzw. Stromquellen und Widerständen bestehen werden als Netzwerke bezeichnet. Der Schaltplan zeigt eine Schaltung aus den beiden Spannungsquellen U_1 und U_2 und den 5 Widerständen R_1 bis R_5 . Um in einem solchen Netzwerk die Ströme und Spannungen an den Widerständen zu berechnen reichen die Kenntnisse über Reihen- und Parallelschaltung allein nicht mehr aus. Vielmehr wird hier mit sogenannten Maschen und Knotenpunkten gerechnet. Knotenpunkte, im Schaltplan dargestellt durch die beiden Knotenpunkte K_1

und K_2 , sind die Stellen an den sich der Strom verzweigt. Maschen, im Schaltplan dargestellt durch die beiden Maschen M_1 und M_2 , sind die Spannungen, die man erhält wenn man einmal alle Spannungen von einem Knotenpunkt zum selben Knotenpunkt durchläuft. Die Richtungen der Zählpfeile der Spannungen und der Ströme (Spannungsrichtung und Stromrichtung) können im Prinzip beliebig festgelegt werden. Wichtig ist jedoch, dass die einmal angenommene Richtung während der gesamten Rechnung beibehalten wird. Meist legt man die Richtung der Zählpfeile so fest, dass Spannungen an den Spannungsquellen vom Pluspol zum Minuspol verlaufen und der Strom vom Plus- zum Minuspol fließt. Da häufig jedoch erst das Lösen der Aufgabe Aufschluss über die tatsächlichen Strom- und Spannungswerte und damit die Flußrichtungen geben können wie gesagt am Anfang beliebige Richtungen angenommen werden. Stimmt die angenommene Richtung der Spannung bzw. des Stromes überein, dann ist die Spannung bzw. der Strom positiv. Stimmt die angenommene Richtung der Spannung bzw. des Stromes nicht überein, dann ist die Spannung bzw. der Strom negativ. Um derartige Aufgaben lösen zu können sind die Kenntnis der Knotenpunktregel und der Maschenregel erforderlich.

1.2.9 Der Kondensator

Ein Kondensator besteht im Prinzip aus zwei gegenüberliegenden Platten. Sie bestehen aus Metallfolien oder leitendem Material. Zwischen ihnen ist ein Isolator, z. B. Luft oder eine Kunststoffolie.



Legt man an einen Kondensator Spannung an, dann verhält er sich genau umgekehrt wie eine Spule. Bei Gleichspannung fließt kein Strom, bei Wechselspannung und zunehmender Frequenz fließt ein zunehmender Strom. Der Kondensator hat nun einen Widerstand, man nennt ihn: Kapazitiver Widerstand. Man sagt dazu auch Blindwiderstand. Im Blindwiderstand entstehen keine Verluste. Der kapazitive Blindwiderstand wird mit dem Formelzeichen X_C angegeben.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (1.14)$$

mit $\omega = 2\pi \cdot f$ ($\pi = 3,14159$, f = Frequenz in Hz)

C = Kapazität in Farad

X_C = Gesuchter kapazitiver Widerstand in Ohm

1.3 Versuch

Machen Sie sich mit dem Versuchsaufbau und den Komponenten vertraut: Stromversorgung (Netzgerät), Vielfachmessinstrumente (Multimeter), Widerstandswürfel (Rx), Oszilloskop, Funktionsgenerator, Widerstandsdekade, Steckbrett mit Bauteilen.

Ermittlung der Innenwiderstände der Multimeter.

Bestimmen Sie den Innenwiderstand eines Voltmeters für den 5 Volt Gleichspannungsmessbereich. (Aufbau nach Schaltungsskizze 1). Geben Sie am Voltmeter eine Spannung von 3 bis 4 Volt vor und messen Sie mit dem Amperemeter den Strom. Beginnen Sie mit einem hohen Messbereich und schalten Sie dann herunter in einen Bereich, welcher eine brauchbare Anzeige liefert. (Hinweis: Der kleinste Meßbereich des Amperemeters beträgt 50uA).

Ergebnis:

Spannung am Voltmeter ___V

Strom durch das Voltmeter ____A

Innenwiderstand des Voltmeters ____Ohm

Bestimmen Sie den Innenwiderstand für den 5mA Strommessbereich. (Aufbau nach Schaltungsskizze 2). Geben Sie einen Strom von 3..4 mA vor und messen Sie mit dem Voltmeter den Spannungsabfall über das Amperemeter. Wählen Sie einen passenden Messbereich.

Ergebnis:

Strom durch das Amperemeter: ___mA

Spannung über das Amperemeter: ___V

Innenwiderstand des Amperemeters ____Ohm

Vergleichen Sie die ermittelten Innenwiderstände mit den Daten im Heftchen zum Multimeter: Spannungsmesser, 5V-Messbereich.

Gemessen:
 Datenblatt:
 Strommesser, 5mA-Messbereich.
 Gemessen: Datenblatt:

Widerstandsmessung

Für einen Widerstandswürfel Rx soll der Widerstand bestimmt werden. Beachten Sie bitte, die Messgeräte in den Messbereichen zu betreiben, für die zuvor die Innenwiderstände bestimmt wurden!

Bestimmen Sie den Widerstand des Würfels mit der Stromfehlerschaltung. Skizzieren Sie den erforderlichen Aufbau. Welches der Messgeräte verursacht den Messfehler? Was wird tatsächlich gemessen?

Gemessene Spannung:
 ___V Gemessener Strom : ___A

Berechnung:

Ergebnis: der Widerstand des Würfels beträgt ___Ohm

Bestimmen Sie den Widerstand des Würfels mit der Spannungsfehlerschaltung. Skizzieren Sie den erforderlichen Aufbau. Welches der Messgeräte verursacht den Messfehler? Was wird tatsächlich gemessen?

Gemessene Spannung: ___V
 Gemessener Strom : ___A

Berechnung:

Ergebnis: der Widerstand des Würfels beträgt ___Ohm

Wann ist welche Schaltung zu bevorzugen? Stromfehlerschaltung bei niedrigen []/hohen []Widerstandswerten. Spannungsfehlerschaltung bei niedrigen[]/hohen []Widerstandswerten.

Messbrücke

Bauen Sie eine Wheatstone'sche Messbrücke auf. Sie benötigen hierzu die Widerstandsdekade und das Kästchen mit dem Null-Instrument und dem Wendepotentiometer. Als Aufbauhilfe liegt eine Skizze am Versuchsplatz. Das Wendepotentiometer bildet mit seinen beiden Teilwiderständen einen Brückenarm, die Widerstandsdekade und der Würfel Rx die zweite Brückenhälfte. Stellen Sie das Wendepotentiometer auf die Skalenposition 5,0 ,somit befindet sich der Schleifer in der Mitte und beide Teilwiderstände sind gleich groß. Führen Sie den Abgleich durch, indem Sie an der Widerstandsdekade Widerstände hinzuschalten. Beginnen Sie mit großen Werten, nehmen Sie den Widerstand zurück, wenn der Wert zu hoch war (Nach dem Prinzip der Balkenwaage). Wenn das Nullinstrument nahe Null ist, kann mit einem Umschalter die Empfindlichkeit von „grob“ nach „fein“ geschaltet werden.

Ergebnis:

Summe der an der Widerstandsdekade geschalteten Widerstände ___Ohm

Der Widerstandswert des Würfels beträgt: ___Ohm

Schalten Sie das Nullinstrument wieder auf „grob“ und setzen Sie an der Widerstandsdekade alle Widerstände zurück. Verstellen Sie das Wendepotentiometer auf Skalenposition 3,0. Dieser Brückenarm ist somit unsymmetrisch 3 zu 7. Führen Sie en Abgleich erneut durch.

Ergebnis:

Summe der an der Widerstandsdekade geschalteten Widerstände ___Ohm

Unter Berücksichtigung der Unsymmetrie ergibt sich ein Wert von ___Ohm für den Würfel.

Wiederholen Sie die letzte Messung für die Skalenstellung 7,0.

Ergebnis:

Summe der an der Widerstandsdekade geschalteten Widerstände ___Ohm

Unter Berücksichtigung der Unsymmetrie ergibt sich ein Wert von ___Ohm für den Würfel.

Bestimmen Sie den Wert des Widerstandswürfels anhand der Farbkennzeichnungen der einzelnen Widerstände. Als Hilfe dient diese Skizze der Verdrahtung: (Zeichnung im Anhang)

Ergebnis: Der Widerstand beträgt ___Ohm

Frequenzabhängige Widerstände

Bauen Sie folgende Schaltung auf dem Steckbrett auf. (Zeichnung: RC-Tiefpass)

Versorgen Sie die Schaltung mit dem Sinussignal des Funktionsgenerators und messen Sie das Ausgangssignal mit dem Oszilloskop. Stellen Sie eine Frequenz von 1000Hz und eine Amplitude von 2V_{ss} ein. Erhöhen Sie die Frequenz jeweils um das doppelte und messen Sie die Amplitude, passen Sie bei Bedarf die Empfindlichkeit und die Zeitbasis des Oszilloskops an.

1000Hz: 2 V 2000Hz: ____ V 4000Hz: ____ V 8000Hz: ____ V 16000Hz: ____ V Welchen Zusammenhang können Sie erkennen?

Vertauschen Sie auf dem Steckbrett Kondensator und Widerstand miteinander. Stellen Sie das Ausgangssignal bei einer Frequenz von 50 Hz auf eine Amplitude von $2V_{ss}$ ein. Messen Sie die Amplitude des Ausgangssignals für folgende Frequenzen.

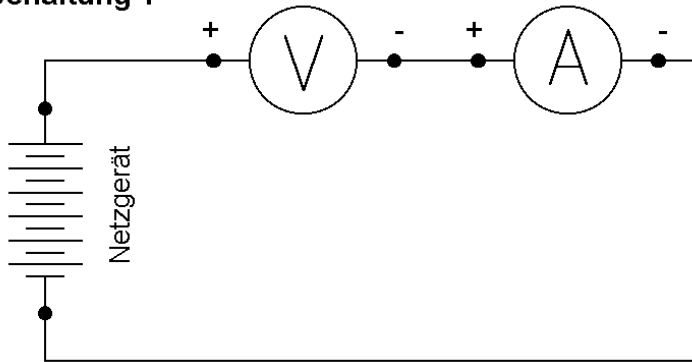
50Hz: 2 V 100Hz: ____ V 200Hz: ____ V 400Hz: ____ V 800Hz: ____ V 1600Hz: ____ V

Was beobachten Sie jetzt?

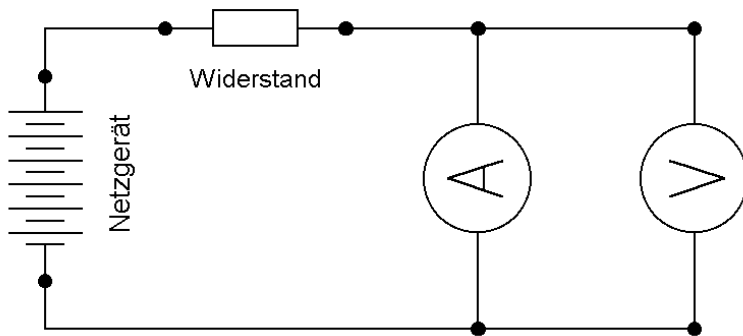
Der Widerstandswert des Kondensators nimmt mit steigender Frequenz zu []/ ab []?

1.4 Anhang/Bilder

Schaltung 1

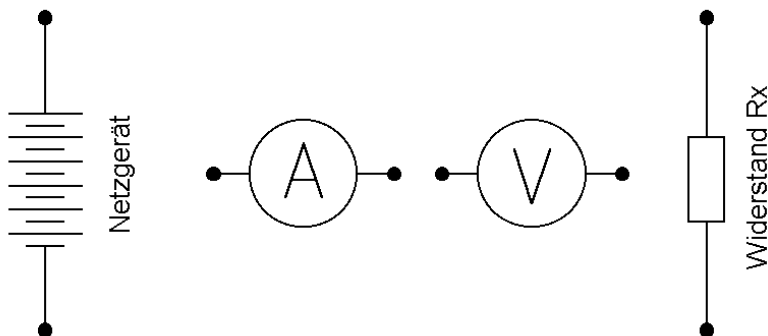


Schaltung 2



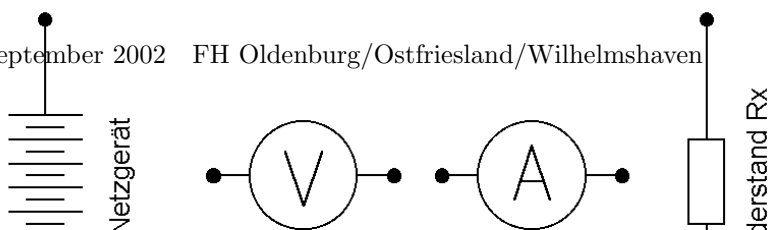
Stromfehlerschaltung

(Bitte vervollständigen!)

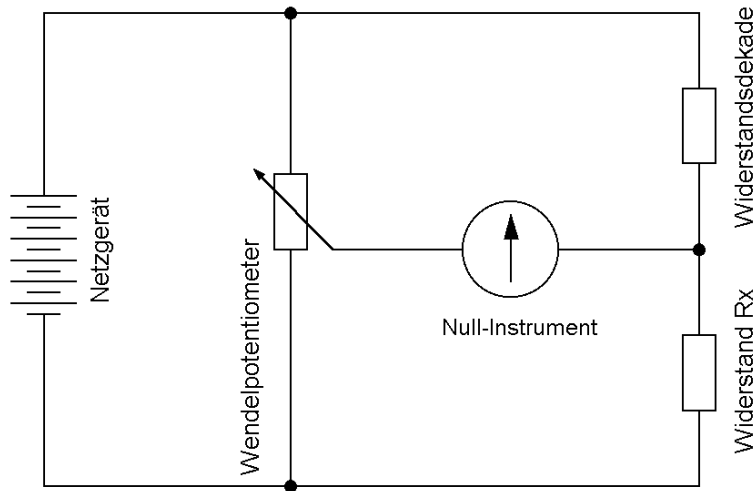


Spannungsfehlerschaltung

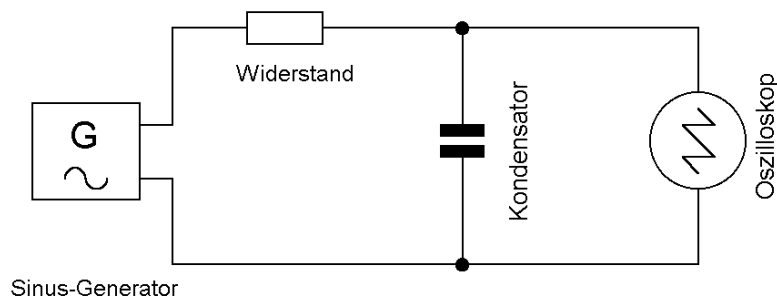
(Bitte vervollständigen!)



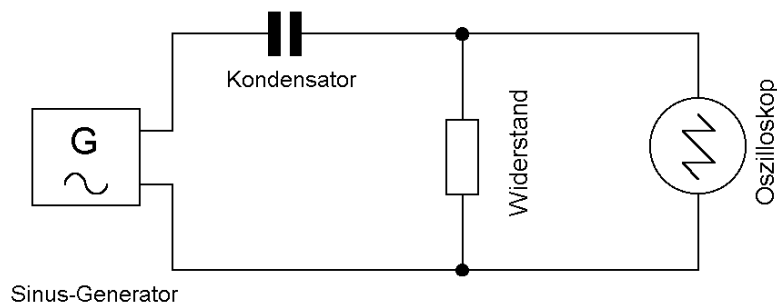
Wheatstone'sche Meßbrücke



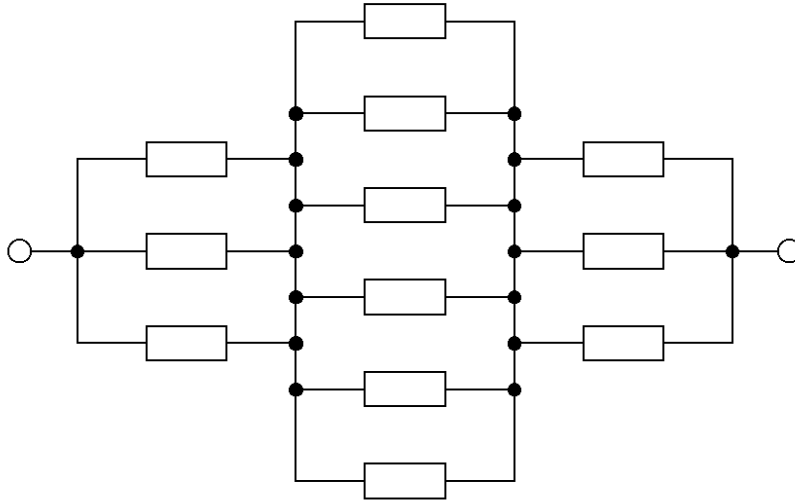
RC-Tiefpaß



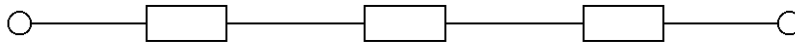
RC-Hochpaß



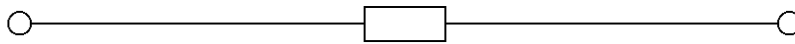
Aufbau des Widerstandswürfels (R_x):



1. Vereinfachung:



2. Vereinfachung:



(Tragen Sie die ermittelten / berechneten Werte in die Widerstände ein)