

Versuch E2

Die Stromrichtung ist definiert durch die Bewegungsrichtung der positiven Ladungsträger.

Kirchhoff-Regeln

Knotenregel

Bei einer Parallelschaltung von Einzelwiderständen müssen nach dem Gesetz der Ladungserhaltung alle zu einem Stromknoten fließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme sein.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Für eine Parallelschaltung von Widerständen ergibt sich:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Maschenregel

In einem geschlossenen Stromkreis (Masche) ist die Summe aller Quellenspannungen gleich der Summe aller Spannungsabfälle an den Elementen des Netzwerks. Kurz: Die Summe aller Spannungen eines Stromkreises ist Null.

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

Für eine Reihenschaltung von Widerständen ergibt sich:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Strom- und Spannungsmessung

Sollen Stromstärke und Spannung gemessen werden, führt dies bei gleichzeitiger Messung wegen den Einflüssen der Messgeräte zu einer Beeinflussung des Ergebnisses. Daher sollte immer nur eine Größe zu einem Zeitpunkt gemessen werden.

Spannungsrichtige Messung

→ Abbildung spannungsrichtige Messung (siehe Seite 162)

Stromrichtige Messung

→ Abbildung stromrichtige Messung (siehe Seite 162)

Ohmsches Gesetz

Das ohmsche Gesetz formuliert einen proportionalen Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke. Je höher die Spannung bei gleichbleibender Stromstärke oder je niedriger der Strom bei gleichbleibender Spannung, desto höher ist der Widerstand.

$$R = \frac{U}{I}$$

Die Größe R wird als ohmscher Widerstand bezeichnet.

Widerstandsmessung

Die Widerstandsmessung erfolgt mit Hilfe eines Ohmmeters. Ein Ohmmeter erfasst Spannung und Stromstärke eines Elementes und berechnet über das ohmsche Gesetz den Widerstand.

Differentieller Widerstand

Für viele Bauteile gilt das ohmsche Gesetz nicht, da der Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke bei diesen nicht linear ist. Der *differentielle Widerstand* gibt die Stromänderung bei geringfügiger Änderung der Spannung an. Der differentielle Widerstand ergibt sich durch:

$$r_a = \frac{dU}{dI}$$

Widerstände

Thermistor

Kaltleiter bzw. *PTC-Widerstände* (Positive-Temperature-Coefficient) sind stromleitende Materialien, die den Strom bei tieferen Temperaturen besser leiten. Der Widerstand erhöht sich mit zunehmender Temperatur.

Heißleiter bzw. *NTC-Widerstände* (Negative-Temperature-Coefficient) sind stromleitende Materialien, die den Strom bei hohen Temperaturen besser leiten. Der Widerstand erhöht sich mit abnehmender Temperatur.

Varistor

Ein *Varistor* ist ein spannungsabhängiger Widerstand. Oberhalb einer bestimmten Schwellenspannung erhöht sich abrupt die Stromstärke. Der Widerstand wird damit abrupt kleiner.

$$\frac{U}{U_{ref}} = C^* \cdot \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)^{\beta^*}$$

Dabei ist C^* ein Proportionalitätsfaktor. U_{ref} und I_{ref} sind Referenzwerte (werden Datenblatt entnommen). Der Exponent β^* ist immer kleiner 1 und wird als Regelfaktor bezeichnet. Dieser ist abhängig von den Materialeigenschaften des Varistors. Für diesen gilt:

$$U \propto I^{\beta^*}$$

Metallische Leiter & Halbleiter

Bei *metallischen Leitern* führt eine Temperaturerhöhung zu einer Vergrößerung der Schwingungsamplitude der Ionen im Metallgitter. Die Ladungsträgerbewegung wird damit zunehmend behindert (Kaltleiter, PTC). Der temperaturabhängige Widerstand kann durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$R_T = R_0(1 + \beta \cdot \Delta T)$$

mit $\Delta T = T - T_0$ und β (Linearer Temperaturkoeffizient).

Während auch bei Halbleitern bei erhöhten Temperaturen die Schwingungsamplitude der Ionen zunimmt und die Ladungsträgerbewegung beeinträchtigt wird, nimmt auf der anderen Seite die Ladungsträgerkonzentration so stark zu, dass die Widerstandserhöhung überkompensiert wird. Der Widerstand nimmt daher mit zunehmender Temperatur in der Summe ab (Heißleiter, NTC). Für Halbleiter gilt der Zusammenhang:

$$R_T = R^* \cdot \exp\left(\frac{b}{T}\right)$$

mit R^* (Widerstandskoeffizient), T (absolute Temperatur) und b (Materialkonstante).

Beide Formeln sind nur in einem begrenzten Temperaturbereich hinreichend genau.

Aktivierungsenergie

Die Aktivierungsenergie ist diejenige Energie die benötigt wird, um einen Ladungstransport zu ermöglichen. Um die Aktivierungsenergie eines Thermistors zu bestimmen, kann folgender Zusammenhang genutzt werden:

$$R_T = R_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{k_B T}\right)$$

mit E_A (Aktivierungsenergie) und k_B (Boltzmann-Konstante).

Kennlinien

Je für (1) Temperaturunabhängig (linear), (2) PTC, (3) NTC, (4) Varistor

→ Abbildung Strom-Spannung (siehe Seite 163)

→ Abbildung Widerstand-Strom

→ Abbildung Widerstand-Temperatur