
E2 Innenwiderstand von Messgeräten

Physikalische Grundlagen

Grundbegriffe
Elektrische Stromstärke und Spannung
Elektrischer Widerstand
Ohmsches Gesetz
Arbeit und Leistung elektrischer Gleichströme

Legt man an einen elektrischen Leiter eine elektrische Spannung U , so fließt ein Strom I , dessen Größe sich bei konstantem Widerstand R des Leiters nach dem Ohmschen Gesetz

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.1)$$

berechnet. Da Strom und Spannung proportional sind, können im Prinzip dieselben Messinstrumente für Strom- und Spannungsmessung verwendet werden, wobei sich in der Praxis im Allgemeinen Einschränkungen ergeben. Zur Messung von Strom oder Spannung in einer elektrischen Schaltung können alle auftretenden Wirkungen (elektrostatische, elektrodynamische, thermische, elektrolytische) benutzt werden. Nimmt man elektrostatische Instrumente aus, dann basieren alle Messverfahren auf der Tatsache, dass während der Messung aufgrund des endlichen Innenwiderstandes R des Messinstrumentes ein Strom fließt und elektrische Energie verbraucht wird. Die verbrauchte elektrische Leistung (Energie/Zeit) in den Messinstrumenten ist

$$P = I^2 R \quad \text{bzw.} \quad P = \frac{U^2}{R}. \quad (2.2)$$

Der Leistungsverlust ist also gering, wenn der Strommesser einen kleinen und der Spannungsmesser einen großen Innenwiderstand hat. Je besser dies erfüllt werden kann, umso mehr wird der allgemein zu stellenden Forderung entsprochen, durch ein Messgerät möglichst nur eine geringe Störung der ursprünglichen Strom-Spannungs-Verhältnisse zu verursachen. Ein in Reihe in den Stromfluss geschalteter Strommesser bildet einen zusätzlichen Widerstand R_A (Innenwiderstand des Strommessers) und der parallel zum Messobjekt geschaltete Spannungsmesser führt zu einem zusätzlichen Strom über dessen Innenwiderstand R_V . Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, benutzt man gelegentlich so genannte Ersatzschaltbilder. Man kann den realen Strommesser aus einem idealen Strommesser A_{id} mit in Reihe geschaltetem Widerstand R_A (Abb. 2.1a) und den realen Spannungsmesser als Parallelschaltung eines idealen Spannungsmessers V_{id} und eines endlichen Widerstandes R_V (Abb. 2.1b) auffassen.

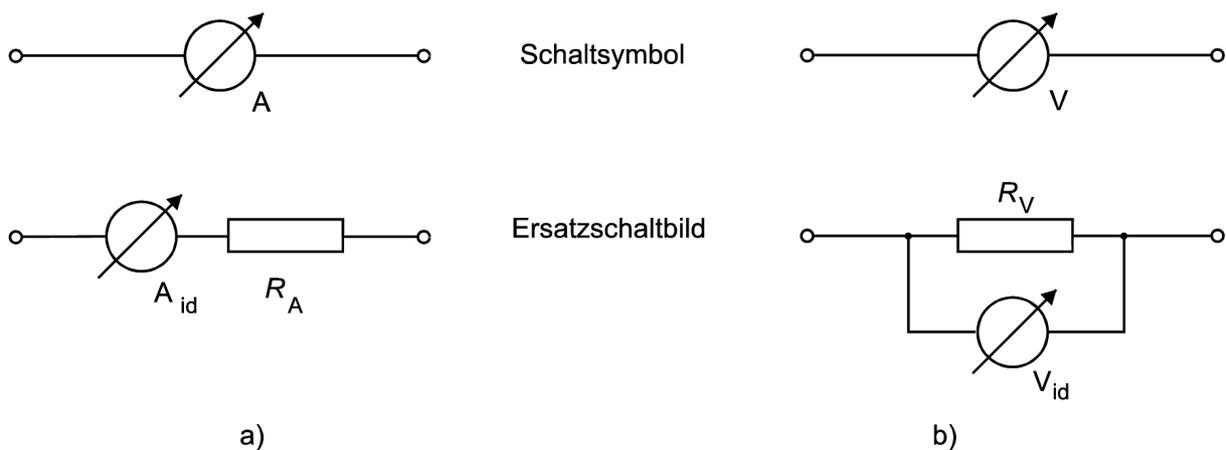


Abbildung 2.1: Schaltbilder für Messgeräte

Aufgaben

1. Bestimmung des Innenwiderstandes R_V eines Spannungsmessers aus der grafischen Darstellung $1/U_V = f(R_x)$ (Gl. (2.3)).
2. Bestimmung des Innenwiderstandes R_A eines Strommessers aus der grafischen Darstellung $1/I_A = f(1/R_x)$ (Gl. (2.4)).
3. Bestimmung des Stromes I_{sowohl} aus der grafischen Darstellung nach Aufgabe 2 als auch aus der direkten Messung.
4. Abschätzung der Fehler R_V und R_A aus der Differenz des kleinst- und größtmöglichen Anstieges, die sich aufgrund der Messwerte aus der grafischen Darstellung ergibt.
5. Kontrolle der grafischen Auswertung durch rechnerischen Geradenausgleich.

Versuchsdurchführung

Für Aufgabe 1 schaltet man zum Voltmeter einen variablen Widerstand R_x in Reihe (Abb. 2.2a) und verwendet ein Netzgerät mit konstanter Betriebsspannung U_B . Für den vom Spannungsmesser angezeigten Spannungsabfall U_V an R_V gilt

$$U_V = U_B \frac{R_V}{R_V + R_x}$$

und nach Umformung

$$\frac{1}{U_V} = \frac{1}{U_B} \cdot \frac{R_x}{R_V} + \frac{1}{U_B}. \quad (2.3)$$

Die Werte $1/U_V$ werden grafisch als Funktion der R_x -Werte dargestellt (Gl. (2.3)) und aus dem Anstieg wird der Innenwiderstand R ermittelt.

Zur Realisierung der verschiedenen R_x -Werte stehen verschiedene Einzelwiderstände von 0.5 k Ω bis 50 k Ω zur Verfügung, die sowohl einzeln als auch in Reihen- oder Parallelschaltung verwendet werden können. Man wähle die Widerstände R_x so, dass die 10 erforderlichen Messpunkte etwa äquidistant sind.

Für Aufgabe 2 schaltet man zum Strommesser einen variablen Widerstand R_x parallel (Abb. 2.2b). Durch den Vorwiderstand R_0 wird erreicht, dass das Netzgerät einen nahezu konstanten Strom I liefert. Im Stromkreis findet eine Stromverzweigung statt und es gilt

$$I_A R_A = I_x R_x \quad \text{und} \quad I_x = I_0 - I_A$$

und nach Umformung

$$\frac{1}{I_A} = \frac{1}{I_0} \cdot \frac{R_A}{R_x} + \frac{1}{I_0} \quad (2.4)$$

Unter der Voraussetzung eines konstanten Stromes I_0 kann R_A aus dem Anstieg der grafischen Darstellung $1/I_A = f(1/R_x)$ ermittelt werden. Zur Realisierung der R_x -Werte verfähre man wie bei Aufgabe 1.

Für Aufgabe 3 wird der Strom I_0 direkt gemessen, indem kein Widerstand R_x eingeschaltet wird, d. h. $R_x = \infty$ zu setzen ist (Gl. (2.4)).

Für Aufgabe 5 steht das Rechnerprogramm „GERA“ für die Berechnung der Geradenanstiege $a_V = 1/R_V U_B$ (Gl. (2.3)) und $a_A = R_A/I_0$ (Gl. (2.4)) einschließlich der Vertrauensbereiche zur Verfügung.

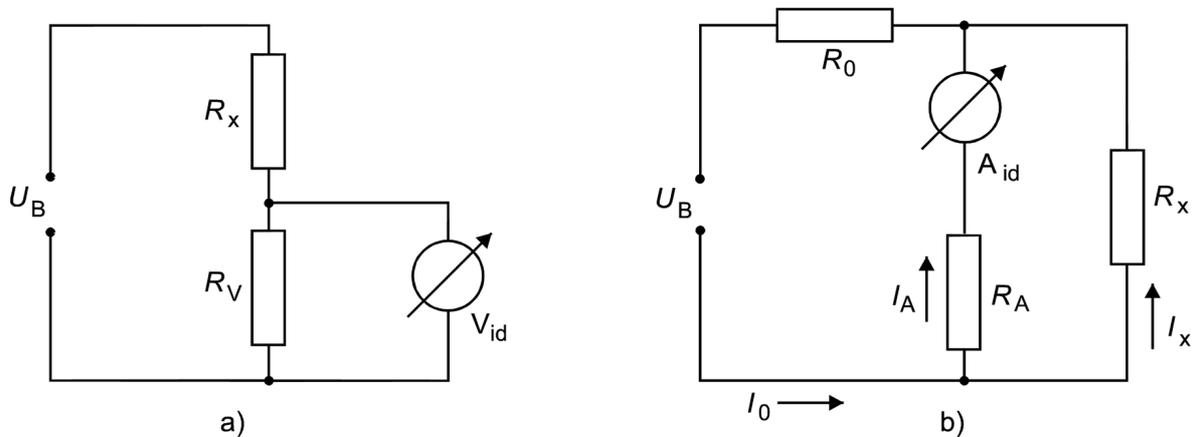


Abbildung 2.2: Bestimmung des Innenwiderstandes

Fragen

1. Durch welche Maßnahmen kann man die Messbereiche von Volt- und Amperemetern erweitern?
2. Wie groß ist der Innenwiderstand bei elektrostatischen Messgeräten?
3. Begründen Sie die Funktion von R_0 in Schaltung 2b. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Größe von R_0 und der Genauigkeit der R_A -Bestimmung?