
E7 Kompensationsmethode

Physikalische Grundlagen

Grundbegriffe
Innenwiderstand von Spannungsquellen
Urspannung
Klemmenspannung
Kirchhoffsche Regeln
Weston-Normalelement

Die Poggendorffsche Kompensationsmethode ist eine Präzisionsmethode zur Messung elektrischer Spannungen. Bei jeder Spannungsquelle muss zwischen der Urspannung U_0 und der Klemmenspannung U_K unterschieden werden, weil jede Spannungsquelle einen Innenwiderstand R_i besitzt (Abb. 6.1a). Schließt man an die Klemmen KK den Außenwiderstand R_a (Abb. 6.1b) an, so fließt in dem Kreis der Strom I und erzeugt sowohl am Innen- als auch am Außenwiderstand einen Spannungsabfall. Nach dem Maschensatz (2. Kirchhoffsche Regel) gilt

$$U_0 = IR_a + IR_i \quad (6.1)$$

und weil für die Klemmenspannung $U_K = IR_a$ gilt, folgt

$$U_K = U_0 - IR_i \quad (6.2)$$

Die Klemmenspannung ist also vom Laststrom abhängig. Sie unterscheidet sich umso weniger von der Urspannung, je kleiner der Laststrom I und der Innenwiderstand R_i sind. Deshalb fordert man von einer Messmethode für die Urspannung einen kleinen fließenden Strom, im Idealfall Stromlosigkeit.

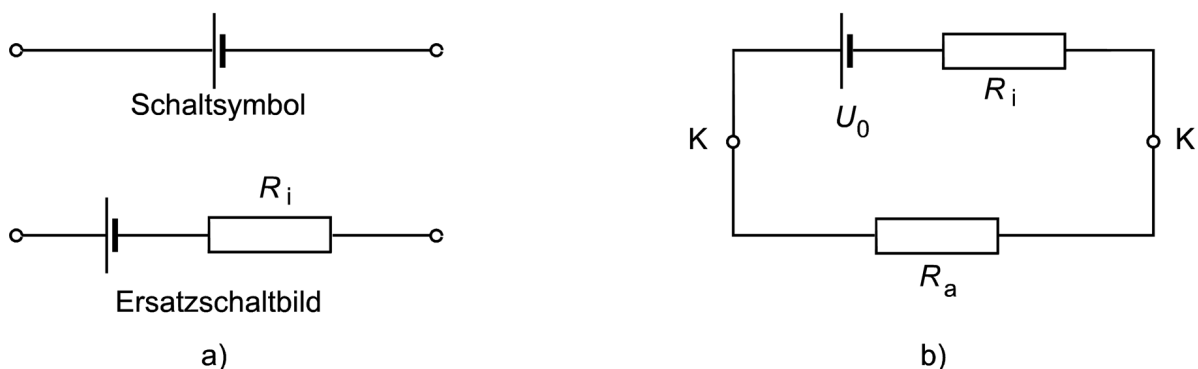


Abbildung 6.1: Innenwiderstand von Spannungsquellen

Bei der Poggendorffschen Kompensationsmethode wird die Forderung der Stromlosigkeit erfüllt, indem man die Urspannung durch eine gleichgroße Spannung kompensiert. Mit Hilfe einer Potentiometerschaltung erzeugt man aus der Spannungsquelle U_2 (Abb. 6.2) die Spannung U_x als Spannungsabfall über dem Widerstand R_x und schaltet sie der Spannungsquelle U_1 entgegen. Man variiert den Widerstand R_x , bis nach Drücken des Tasters T im Galvanometer G Stromlosigkeit angezeigt wird. Die Spannung U_x kompensiert dann die Spannung U_1 und es gilt

$$U_x = U_1, \quad (6.3)$$

wobei U_1 aufgrund der Stromlosigkeit die Urspannung der Spannungsquelle U_1 ist (Gl. (6.2)). Außer zur Messung der Urspannung kann die Kompensationsmethode auch zur Präzisionsbestimmung von Spannungen verwendet werden, z.B. zur Ermittlung der Klemmenspannung einer

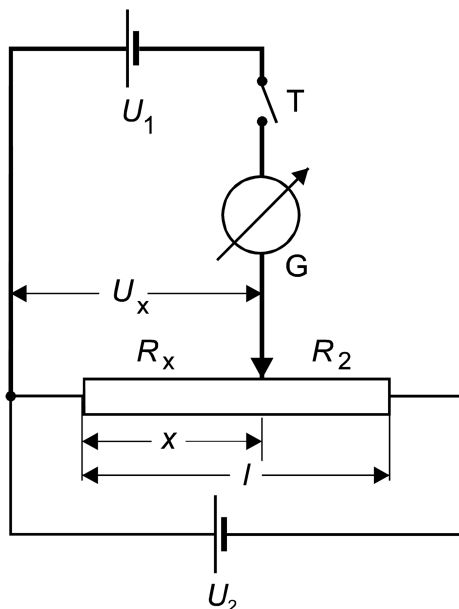


Abbildung 6.2: Poggendorffsche Kompensationsmethode

Spannungsquelle U_2 bei festem Lastwiderstand $R_x + R_2$. Für dieses Messproblem wird ein Spannungsnormal hoher Stabilität und Genauigkeit benötigt und konkret im Versuch wird dafür ein Weston-Normalelement verwendet, das sich im stromlosen Zustand durch hohe Spannungs Konstanz auszeichnet. Das Normalelement wird für eine solche Messaufgabe anstelle der Spannungsquelle U_1 (Abb. 6.2) geschaltet. Der Vorteil der Kompensationsmethode liegt vor allem darin, dass die zu messende Spannungsquelle während der Messung nicht zusätzlich belastet wird, im Gegensatz zur Messung mit einem elektrodynamischen Voltmeter, das stets einen Eigenverbrauch besitzt und deshalb die Spannungsquelle (vgl. Versuch E2) belastet. Weiterhin ist sie eine Nullmethode, bei der auf Stromlosigkeit des Anzeigeinstrumentes (Galvanometer) eingestellt wird, so dass zur Messung zwar ein empfindliches, aber kein absolut geeichtes Instrument benötigt wird. Stromlosigkeit wird natürlich nur im Messzweig (Abb. 6.2, dicke Linien) erreicht, unabhängig von den Strömen in anderen Zweigen der Schaltung.

Aufgaben

1. Bestimmung der Klemmenspannung eines elektronisch stabilisierten Netzgerätes durch Vergleich mit einem Weston-Normalelement.
2. Messung der Klemmenspannung U_K eines Trockenelementes in Abhängigkeit vom Belastungsstrom I .
3. Bestimmung der Urspannung U_0 und des Innenwiderstandes R_i des Trockenelementes sowie Abschätzung der Messunsicherheiten dieser Größen aus der grafischen Darstellung $U_K = f(I)$ (Gl. (6.2)).
4. Kontrolle der grafischen Auswertung durch rechnerischen Geradenausgleich.

Versuchsdurchführung

Zur Erzeugung einer variablen Spannung U_x verwendet man eine Potentiometerschaltung (Abb. 6.2, dünne Linien). Über dem Widerstand R_x liegt die Spannung

$$U_x = U_2 \frac{R_x}{R_x + R_2}. \quad (6.4)$$

Im Versuchsaufbau wählt man als Widerstand einen homogenen Draht der Länge L mit konstantem Querschnitt und einem verschiebbaren Schleifkontakt. Steht dieser an der Stelle x , dann ist

$$U_x = U_2 \frac{x}{L}, \quad (6.5)$$

weil der Widerstand eines Drahtes proportional zur Länge ist.

Für Aufgabe 1 (Schaltung nach Abb. 6.2) entnimmt man die Spannung U_2 einem Netzgerät, die Spannung U_1 einem Weston-Normalelement. Die Normalspannung des Elementes ist für die gemessene Temperatur der beigelegten Tabelle zu entnehmen. Da das Normalelement nicht belastet werden darf, ist der Taster T nur kurzzeitig zu betätigen. Das Galvanometer wird zunächst auf den unempfindlichen Messbereich geschaltet, der Schieber des Schleifkontaktes in die Mitte des Schleifdrahtes gestellt und geprüft, ob die Schaltung ungefähr abgeglichen ist. Dann erst wird der genaue Abgleich der Kompensationsschaltung durch Verschieben des Schleifkontaktes mit dem empfindlichsten Messbereich des Galvanometers durchgeführt und der x -Wert abgelesen. Aus 10 verschiedenen Einstellungen wird der Mittelwert \bar{x} bestimmt, die Spannung U_2 berechnet (Gl. (6.5)) und nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz die Messunsicherheit ermittelt. Für die Drahtlänge L nehme man eine Messunsicherheit von $\Delta L = \pm 1 \text{ mm}$ an und für die Spannung des Normalelementes ($U_x = U_1$) schätze man aus dem Temperaturfehler die Messunsicherheit ab.

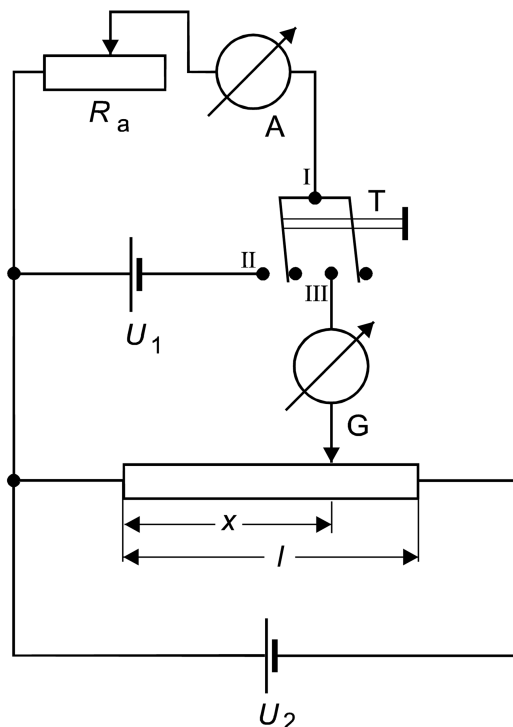


Abbildung 6.3: Schaltung mit Trockenelement

Für Aufgabe 2 wird mit der gleichen, jetzt bekannten Spannung U_2 (Abb. 6.3) des Netzgerätes gemessen. Als Spannungsquelle U_1 verwendet man ein Trockenelement, dessen Innenwiderstand durch einen eingebauten Widerstand erhöht wurde. Man belastete das Trockenelement in Schritten von 0.05 mA im Bereich von 0 bis 0.7 mA mit dem Widerstand R_a und bestimme die jeweilige Klemmenspannung U_K durch Kompensation (Gl. (6.5)). Den Doppeltaster T stelle man so ein, dass zunächst das Trockenelement mit dem Widerstand R_a belastet wird und erst bei erhöhtem Druck auf den Taster dann auch der Galvanometerkreis geschlossen wird.

Für Aufgabe 3 werden die Messunsicherheiten von U_0 und R_i aus der Differenz des kleinst- und des größtmöglichen Anstieges abgeschätzt, die sich aufgrund der Streuung der Messwerte aus der grafischen Darstellung ergibt.

Für Aufgabe 4 steht das Rechnerprogramm „GERA“ zur Verfügung, das auch die zufälligen Fehler für den Anstieg und den Schnittpunkt mit der U_K -Achse berechnet.

Fragen

1. Erläutern Sie die Potentiometerschaltung!
2. Liefert im kompensierten Zustand bei Aufgabe 1 und 2 die Spannungsquelle U_1 (Abb. 6.2 und Abb. 6.3) einen Strom?
3. Ergeben sich bei der Aufgabe 3 für die Bestimmung der Urspannung des Trockenelementes zusätzliche Fehler, wenn sich während der Messung die Hilfsspannung U_2 und/oder die Empfindlichkeit des Galvanometers verändert?
4. Wie berechnet man den Widerstand eines Drahtes mit konstantem Querschnitt aus den Abmessungen des Materials?