

## Versuchsanleitung E 5 : Innenwiderstand

### 1 Einleitung

Unregelte Gleich- und Wechselspannungsquellen besitzen endliche Innenwiderstände.

Diese sind auf Prozesse zurückzuführen, die neben dem für die jeweilige Spannungsquelle typischen Energieumwandlungsprozess im Inneren der Spannungsquelle ablaufen und Energie verbrauchen, d.h. sie in Wärme umwandeln, wie es vergleichsweise in einem ohmschen Widerstand geschieht.

Derartige "Innenwiderstände" bewirken ein Absinken (Zusammenbrechen) der Klemmenspannung  $U$  bei anwachsender Stromstärke  $I$ .

Die von der Spannungsquelle an einen Verbraucher übertragbare Leistung  $P = U \cdot I$  sollte daher (wenigstens) ein Maximum besitzen, denn im Leerlauf ( $I = 0$ ) und im Kurzschluss ( $U = 0$ ) ist sie jeweils gleich Null.

Im vorliegenden Versuch messen Sie die Strom-Spannungs-Charakteristik einer Spannungsquelle, bestimmen den Innenwiderstand und untersuchen die Bedingungen für die maximale Leistungsübertragung im sogenannten Anpassungsfall.

### 2 Grundlagen

Die Spannungsquelle mit dem Innenwiderstand  $R_i$  und der Urspannung  $U_0$  wird, wie in Bild 1 gezeigt, durch den Verbraucher  $R$  belastet.

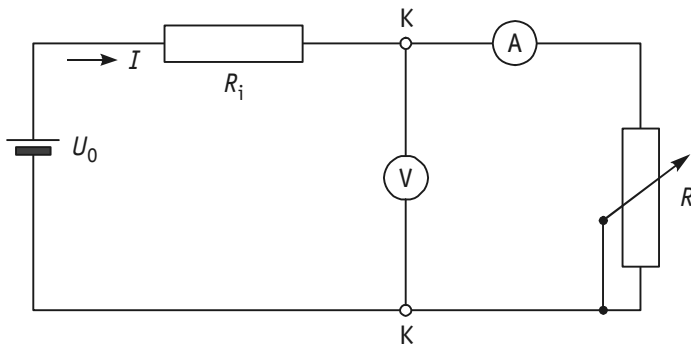


Bild 1 Belastete Spannungsquelle

Obwohl in Bild 1 räumlich getrennt dargestellt, sind  $U_0$  und  $R_i$  experimentell nicht trennbar. Misst man an den Anschlussklemmen  $K$ , so befindet sich  $R_i$  stets im Inneren der Spannungsquelle.

Die Messung der Klemmenspannung  $U$  der belasteten Spannungsquelle kann daher nur ein Ergebnis liefern, das um den inneren Spannungsabfall kleiner als die Urspannung  $U_0$  ist. Es gilt

$$U = U_0 - I R_i \quad (2-1)$$

Wenn  $R_i$  konstant ist, stellt die Gleichung (2-1) im  $U-I$ -Diagramm eine Gerade mit dem Anstieg  $(-R_i)$  dar.

Sie schneidet die Achsen bei der Leerlaufspannung  $U_0$  und dem Kurzschlussstrom  $I_K = \frac{U_0}{R_i}$ .

Experimentell findet man jedoch meist eine Abhängigkeit  $R_i(I)$ , die nur in grober Näherung zu vernachlässigen ist. Dementsprechend weicht (2-1) von einer Geraden ab.

Aus ( 2 - 1 ) folgt mit dem OHMSchen Gesetz  $U = I R$  (nach GEORG SIMON OHM, 1787-1854) für die Stromstärke

$$I = \frac{U_0}{R_i + R} \quad , \quad (2 - 2)$$

für die Klemmenspannung

$$U = \frac{U_0 R}{R_i + R} \quad (2 - 3)$$

und für die dem Verbraucher übertragene Leistung

$$P = I U = \frac{U_0^2 R}{(R_i + R)^2} \quad . \quad (2 - 4)$$

Unterzieht man ( 2 - 4 ) einer Extremwertuntersuchung, so findet man, wie in Kapitel 1 bereits vermutet, ein Leistungsmaximum bei  $R = R_i$  .

Eine Spannungsquelle überträgt die größtmögliche Leistung an den Verbraucher, dessen Widerstand ihrem Innenwiderstand gleich ist. Die Klemmenspannung ist in diesem sogenannten Anpassungsfall gleich der halben Leerlaufspannung, die Stromstärke gleich der halben Kurzschlussstromstärke. Die maximale Leistung beträgt

$$P_{\max} = \frac{U_0^2}{4 R_i} \quad .$$

### **3 Versuchsanordnung**

Der Aufbau der Versuchsanordnung entspricht der Schaltung nach Bild 1.

Untersucht wird eine Wechselspannungsquelle - ein Niederspannungstransformator, dessen Primärspannung stabilisiert wird und der galvanisch getrennt an das Netz angeschlossen ist.

Der Innenwiderstand der Spannungsquelle wird hier durch Stromwärmeverluste (infolge Reibungsarbeit der fließenden Ladungsträger - JOULEsche Wärme ) und durch Magnetisierungsverluste verursacht.

Der Lastwiderstand  $R$  ist eine Reihenschaltung aus zwei Widerständen:

- einem Schiebewiderstand zur Grobeinstellung von  $R$  (größerer Widerstandswert)
- einem Schiebewiderstand zur Feineinstellung von  $R$  (kleinerer Widerstandswert)

Zusätzlich wirksam sind der Innenwiderstand der Anschluß- und Verbindungsschnüre und die Übergangswiderstände an den Steckkontakten.

Die Klemmenspannung  $U$  wird mit einem in die Messapparatur integrierten Digitalvoltmeter gemessen. Die Spannungsmessung erfolgt ohne schaltungsbedingten systematischen Fehler.

Zur Messung der Stromstärke  $I$  beinhaltet die Messapparatur eine spezielle elektronische Schaltung welche (mittels eines Strom-Spannungs-Wandlers unter Verwendung von Leistungs-Operationsverstärkern) ein ideales weil praktisch innenwiderstandsloses Amperemeter realisiert. Auch durch den Spannungsmesser wird (aufgrund der ausgewählten Geräteparameter) die Strommessung nicht nennenswert verfälscht.

Angaben zur Messgenauigkeit befinden sich am Arbeitsplatz.

Zur Auswertung der Messwerte steht ein PC zur Verfügung.

#### 4 Aufgaben

- 4.1 Man messe die Strom-Spannungs-Kennlinie der Spannungsquelle, gebe die Messwerte in den Rechner ein und erstelle die Graphik der Kennlinie  $U(I)$ .
- 4.2 Man berechne die Leistung  $P(I)$ , stelle sie graphisch dar und ermittle das Maximum der Kurve.
- 4.3 An die Kennlinie  $U(I)$  werden bei kleinster und größter Belastung sowie im Leistungsmaximum Ausgleichsgeraden gelegt. Aus den Parametern derselben sind in geeigneter Weise der Innenwiderstand bei Anpassung zu berechnen sowie Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom abzuschätzen.
- 4.4 Man berechne für das Leistungsmaximum den Lastwiderstand  $R$  und vergleiche ihn mit  $R_i$ .
- 4.5 Für einen Messpunkt nahe dem Leistungsmaximum sind die Fehler von  $I$ ,  $U$ ,  $P$  und  $R$  abzuschätzen.

#### 5 Fragen

- 5.1 Skizzieren Sie die Versuchsschaltung mit dem Ersatzschaltbild der Spannungsquelle, dem Lastwiderstand und den Messgeräten.
- 5.2 An einem Widerstand  $R$  sollen gleichzeitig Stromstärke und Spannung gemessen werden. Skizzieren Sie die stromrichtige und spannungsrichtige Schaltung und geben Sie an, welche Größe dabei jeweils systematisch zu groß oder zu klein gemessen wird.
- 5.3 Geben Sie die KIRCHHOFFSchen Gesetze an und erläutern Sie diese an je einem Beispiel.
- 5.4 Drücken Sie die Größen Stromstärke, Klemmenspannung und Verlustleistung (an  $R$ ) jeweils als Funktion von  $U_0$ ,  $R$  und  $R_i$  aus.
- 5.5 Geben Sie den Zusammenhang zwischen Urspannung  $U_0$ , Klemmenspannung  $U$  und Stromstärke  $I$  bei lastunabhängigem Innenwiderstand  $R_i$  an und stellen Sie ihn in der Form  $U(I)$  graphisch dar.
- 5.6 Wie bestimmt man aus dem  $U-I$ -Diagramm (vgl. Frage 5.5) die Urspannung, die Klemmenspannung und den Kurzschlussstrom?
- 5.7 Durch einen Widerstand  $R$  fließt ein Strom der Stärke  $I = 5 \text{ A}$ . Wie groß darf  $R$  werden, damit in ihm höchstens  $200 \text{ W}$  in Wärme umgesetzt werden?
- 5.8 Bei welchem Lastwiderstand  $R$  gibt eine Spannungsquelle ( $U_0$ ,  $R_i$ ) an diesen die maximale Leistung ab? (Der Extremwert ist zu berechnen!)
- 5.9 Welchen Kurzschlussstrom hat ein Bleiakku ( $U_0 = 12 \text{ V}$ ,  $R_i = 80 \text{ m}\Omega$ )? Welcher Strom fließt beim Lastwiderstand  $R = 0,8 \Omega$ ?
- 5.10 Welche Leistung kann der Bleiakku aus Frage 5.9 maximal abgeben? Wie groß sind in dem Fall Klemmenspannung und Stromstärke?

#### Literatur

- |       |   |
|-------|---|
| [ 1 ] | Geschke, D. (Hrsg.):<br>Physikalisches Praktikum<br>Teubner-Verlag, Leipzig, 2001<br>ISBN 3-519-10206-4 |
| [ 2 ] | Hering, E. u. a. :<br>Physik für Ingenieure<br>Springer-Verlag, Berlin, 2004<br>ISBN 3-540-21036-9      |