

Versuchsanleitung E 5 : Innenwiderstand

1 Einleitung

Ungeregelte 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 Ursprungspannung U_0 wird, wie in Bild 1 gezeigt, durch den Verbraucher R belastet.

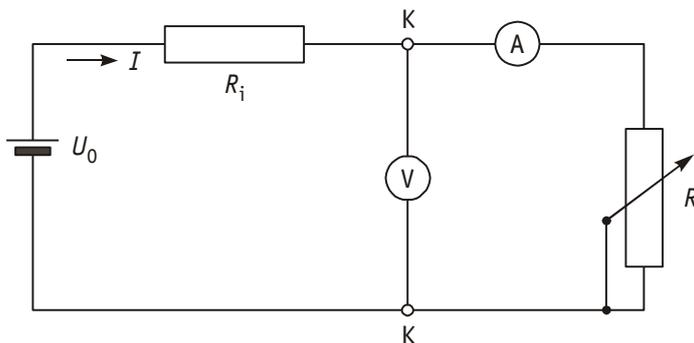


Bild 1 Belastete Spannungsquelle

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 Ursprungspannung U_0 ist. Es gilt

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

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 $U = IR$ (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

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

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 PC ein und erstelle die Grafik der Kennlinie $U(I)$.
- 4.2 Aus der graphischen Darstellung der Leistungskennlinie $P(I)$ ermittle man am PC mittels Kurvenanpassung (Fit Polynomiell) das Maximum der Kurve.
- 4.3 An die Kennlinie $U(I)$ werden bei kleinster und größter Belastung sowie im Leistungsmaximum Ausgleichsgeraden gelegt (Fit Linear). Aus den Parametern der Ausgleichsgeraden 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 Ursprungspannung 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 Ursprungspannung, 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 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] Schenk/Kremer (Hrsg.): Physikalisches Praktikum
Springer Spektrum, Heidelberg, Wiesbaden, 2014 (14. Auflage)
ISBN : 978-3-658-00665-5 (Softcover) / 978-3-658-00666-2 (eBook)
- [2] Hering, E. u.a. : Physik für Ingenieure
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012 (11. Auflage)
ISBN : 978-3-642-22568-0 (Hardcover) / 978-3-642-22569-7 (eBook)