

## 16 Der Transformator

Der Transformator ist ein Bauteil, welches uns im täglichen Leben auf Schritt und tritt begleitet, vom Handy-Akku-Ladegerät, der Überlandleitung, über das PC-Netzteil bis hin zum Induktionsofen. Die Transformation elektrischer Spannungen und Ströme ist ein wichtiger Vorgang. Dieser Versuch führt in die Grundlagen des Transformators ein. Der im vorhergehenden Versuch behandelte Ferromagnetismus spielt für dieses Bauteil eine große Rolle.

### 16.1 Stichworte

Transformator im Leerlauf, Spannungswandler, belasteter Transformator, Phasenwinkel bei Belastung, Hysteresekurve, Stromzange, Wirkungsgrad.

### 16.2 Literatur

Gerthsen; NPP; BS-2; BS-6; Wap; Dem-2; Geschke.

### 16.3 Zubehör

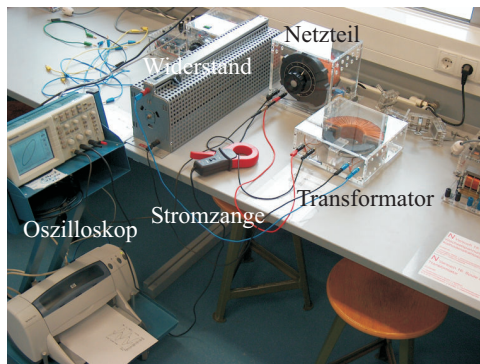


Bild 16.1: Der Versuch »Transformator«.

Bild 16.1 zeigt ein Foto des Versuches mit Zubehör: 1 Ringkern mit 2 Spulen, 1 regelbare Wechselspannungsquelle:  $0 \text{ V} \leq U \leq 260 \text{ V}$ , 2 Schiebewiderstände (0,8 A, 5 A), 1 Widerstand, 3 Schalter, 4 Digitalmultimeter, Digital-Oszilloskop, Stromzange.

### 16.4 Grundlagen

Ein Transformator wandelt niedrige Spannungen in höhere Spannungen um und umgekehrt. Der Transformator besteht aus Primärspule und Sekundärspule, die beide vom gleichen magneti-

schen Fluss durchsetzt werden. Das Schema eines Transformators ist in Bild 16.2 dargestellt, das Magnetfeld von Spule, die Induktion und die ferromagnetischen Eigenschaften spielen eine entscheidende Rolle für den Transformator. Schauen Sie bitte bei den entsprechenden Versuchen nochmal nach.

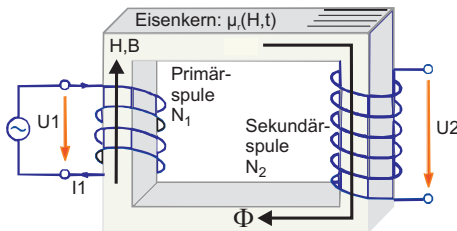


Bild 16.2: Einfaches Schema eines Transformators.

Die Primärwicklung bezeichnet die Spule, an der die zu transformierende (Primär-)Spannung anliegt. Die Sekundärwicklung bezeichnet die Spule, an der die Spannung abgenommen wird. Ein idealer Transformator ist ein Transformator ohne Leistungsverluste. Der Wirkungsgrad von guten realen Transformatoren ist besser als 95%.

Das Übersetzungsverhältnis,  $u$  gibt das Verhältnis der Spannung auf der Primärseite zur Spannung auf der Sekundärseite an. Ist  $u$  größer als 1, so wird die Spannung hinuntertransformiert; ist  $u$  kleiner als 1, so wird die Spannung hinauftransformiert. Die Phasenverschiebung der Spannungen beträgt  $180^\circ$  (Lenzsche Regel). Beim idealen Transformator mit Windungszahlen  $N_1$  und  $N_2$  gilt für das Verhältnis der Spannungen

$$\frac{U_1}{U_2} = u = \frac{N_1}{N_2} \quad (16.1)$$

und für das Verhältnis der Ströme

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{u}. \quad (16.2)$$

Beim belasteten Transformator wird die Sache etwas komplizierter. Das Praktikumsbuch »Geschke« (auch auf CD) [26] enthält eine schöne Abhandlung über den belasteten Transformator.

Die Schaltung für die Messung im Versuch zeigt die Bild 16.3 Das Oszilloskop und die Stromzange sind hier nicht eingezeichnet, Die Stromzange wird verwendet um auch große Ströme einfach messen zu können.

## 16.5 Fragen

1. Warum macht man sich die Mühe der Spannungstransformation?
2. Erläutern sie Aufbau und Wirkungsweise eines Transformators.
3. Gehen Sie auf die Begriffe belasteter und unbelasteter Transformator ein. Welche Unterschiede ergeben sich?
4. Leiten Sie die Beziehungen zwischen Strömen und Spannungen an Primär- und Sekundärseite des Transformators her. Von welcher Grundbeziehung geht man hierbei aus? Welche

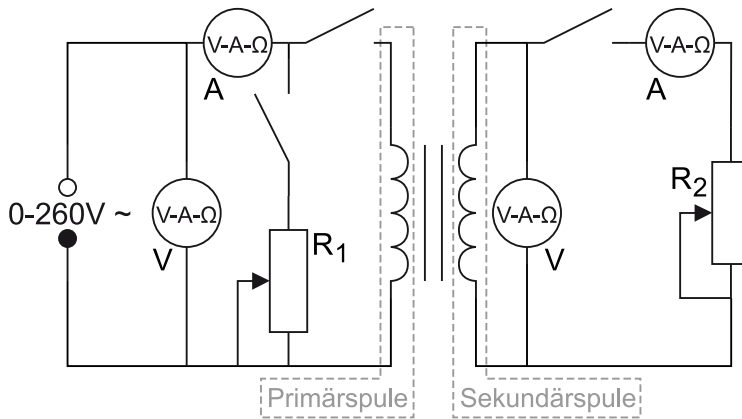


Bild 16.3: Schaltung des Transformators.  $R_1$ : Schiebewiderstand  $\geq 500 \Omega$ ,  $R_2$ : Schiebewiderstand  $49 \Omega$ .

Eigenschaften muss demnach das Kernmaterial eines Transformators besitzen?

5. Welche Verluste treten im Trafo auf, und wie werden sie minimiert?
6. Was ist die Verlustleistung und was die Wirkleistung?
7. Erläutern Sie die Verwendung eines Transformators als Spannungswandler, z.B. in Wechselspannungsmessgeräten.
8. Wie funktioniert die Stromzange?

## 16.6 Durchführung

*Vorsicht: Bei diesem Versuch arbeitet man mit hohen Strömen, daher gilt noch mehr als sonst: Erst die Spannung runter, dann an der Schaltung etwas umstecken oder Schalter betätigen!*

1. Man messe  $U_1$  in Abhängigkeit von  $I_1$  bei unbelastetem Transformator, d.h. bei geöffnetem Sekundärkreis. Die Regelung erfolgt über die Wechselspannungsquelle, nicht etwa über den regelbaren Widerstand.<sup>1</sup> Der Index bezeichnet immer die verwendete Spule, hier also Spule 1. Bitte nehmen Sie mindestens 20 Werte auf und achten Sie darauf, auch bis zu hohen Spannungen zu messen.
2. Der Transformator ist weiterhin unbelastet!
  - a. Sei Spule 1 Primärspule und Spule 2 Sekundärspule, so messe man  $U_2$  in Abhängigkeit von  $U_1$ .
  - b. Durch Vertauschen der Anschlüsse wird Spule 2 zur Primärspule und Spule 1 zur Sekundärspule. Man messe nun die Spannung der Sekundärspule ( $U_1$ ) in Abhängigkeit von der Primärspannung ( $U_2$ ). ( $U_2 \leq 20 \text{ V}$ )

<sup>1</sup> In diesem Versuchsteil sind keine Widerstände in Betrieb.

3. Spule 1 sei wieder Primärspule, dementsprechend ist Spule 2 wieder Sekundärspule. Jetzt wird der belastete Transformator gemessen, d.h. der Sekundärkreis ist geschlossen<sup>2</sup>. Wichtig ist hier, dass die Spannung jedesmal vor Öffnen oder Schliessen eines Schalters auf Null herunter geregelt wird. Wird dies nicht beachtet, treten hohe Induktionsströme auf, die die Sicherungen der Messgeräte nicht überleben lassen.  
Der Stromkreis sei ohne  $R_1$  geschaltet und an Spule 1 liege eine Spannung von 200 V an. Man regelt nun den Sekundärstrom  $I_2$  mit Hilfe des Schiebewiderstandes  $R_2$  auf einen schönen Wert innerhalb des Intervalls von  $0 \text{ A} \leq I_2 \leq 5 \text{ A}$ . Die Stromstärke  $I_1$ , die dabei durch den Primärkreis fließt, ist zu notieren.  
Dann schaltet man anstelle des Transformators den Schiebewiderstand  $R_1$  in den Primärkreis und verstelle ihn solange, bis die Stromstärke  $I_R$  durch den Schiebewiderstand mit dem notierten Wert  $I_1$  übereinstimmt. (Spannung auf Null regeln, bevor der Griff zum Schalter erfolgt! Alles umgelegt? Dann wieder auf 200 V einstellen.)  
Nun hat man den Gesamtstrom  $I_{\text{ges}}$  zu bestimmen. Dies geschieht dadurch, dass man die Primärspule des Transformators parallel zum Schiebewiderstand schaltet (die Stromstärke  $I_{\text{ges}}$  ist am Messgerät  $I_1$  abzulesen). Die ganze Messung erfolgt bei festem Spulenstrom  $I_2$ . Hat man  $I_1$  und  $I_{\text{ges}}$  bestimmt, so verfährt man analog bei fünf weiteren Sekundärströmen (1, 2, 3, 4, 5 A) und auch für  $I_2=0$  (letzteres bei geöffnetem Sekundärkreis).
4. Die Phasenverschiebung zwischen Primärspannung und Primärstrom wird direkt mit dem Oszilloskop beobachtet und ausgedruckt. Legen sie die Primärspannung des Transformators über den Tastkopf (10x) an den Eingang 1 des Oszis. Der Primärstrom wird an Eingang 2 des Oszis anlegt. Für das Oszilloskop gibt es hierfür eine so genannte »Stromzange«, die hierfür verwendet werden soll. (Für diese Messung ist der vorher verwendete Widerstand natürlich nicht im Primärkreis).
5. Schalten Sie das Oszis nun in den »x-y-Mode«. Beobachten Sie die Änderungen der Kurve bei Veränderung der Last. Führen Sie diese Messung für die gleichen  $I_2$  Werte wie oben durch (auch  $I_2 = 0 \text{ A}$ !). Drucken Sie die entsprechenden 6 Osz-Bilder bitte aus.

Zu messende Größen:

1.  $U_1 = f(I_1)$
2.  $U_2 = f(U_1)$ ,  $U_1 = f(U_2)$
3.  $I_1 = f(I_2)$  und  $I_{\text{ges}} = f(I_2)$  für 6 verschiedene  $I_2$  (incl.  $I_2=0 \text{ A}$ )
4. Beobachtung der Phasenverschiebung mit wechselnder Belastung.
5. 6 Osz-Ausdrucke für die gleichen  $I_2$  Werte wie oben (auch  $I_2 = 0 \text{ A}$ ).

## 16.7 Auswertung

1. Man stelle  $U_1 = f(I_1)$  grafisch dar und diskutierte den Verlauf der Funktion im Hinblick auf das Verhalten eines idealen Transformators.
2. Man trage  $U_2 = f(U_1)$  und  $U_1 = f(U_2)$  grafisch auf und ermittle daraus das Übersetzungsverhältnis  $u$  des Transformators.

---

<sup>2</sup> Dieser Durchführungspunkt kann im Prinzip mit Punkt 5 gleichzeitig durchgeführt werden, indem das Oszis bei jedem Stromwert zwischen »x-y-Mode« und »x-t-Mode« umgeschaltet wird.

3. Man zeichne das Vektordiagramm und zeige folgenden Zusammenhang:

$$\cos(\phi/2) = \frac{I_{\text{ges}}}{2I_R} \quad (16.3)$$

mit  $I_R = I_1$ .

4. Man berechne aus 5 den Phasenwinkel  $\phi$  zwischen Primärspannung  $U_1$  und Primärstrom  $I_1$  in Abhängigkeit von der Sekundärbelastung  $I_2$ . (Die Bilder werden auch als Lissajous-Figuren bezeichnet.)
5. Man trage  $\phi = \phi(I_2)$  grafisch auf. In das Diagramm trage man die theoretische Kurve ein, die aus

$$\tan(\phi) = \frac{I_0 \sin(\phi_0)}{I_1 + I_0 \cos(\phi_0)} \quad (16.4)$$

berechnet wird, mit  $I_0$  und  $\phi_0$  als Strom und Phase bei unbelastetem Transformator und

$$I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2 \quad (16.5)$$

Die Formel ist herzuleiten, wobei man sich das Zeigerdiagramm in Bild 16.4 zunutze machen kann.

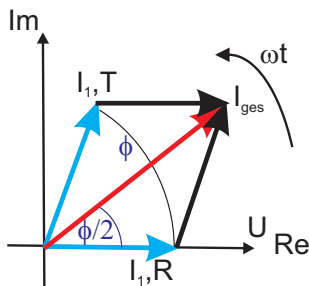


Bild 16.4: Schematisches Zeigerdiagramm des Transformators für diesen Versuchsteil.

6. Welche Wirkleistung und welche Verlustleistung hat der Trafo bei 5 A Laststrom?
7. **Energieverschwendung eines Handyladegerätes:** Bestimmen Sie die Leerlauf-Leistung des unbelasteten Transformators ( $I_2 = 0$  A). Was müssen Sie dem Elektrizitätsversorger auch bei unbelastetem Transformator pro Jahr bezahlen, wenn z.B. Ihr Handyladegerät in der Steckdose verbleibt (0,20 €/kWh)? Rechnen Sie mit den von Ihnen erhaltenen Trafowerten.

## 16.8 Bemerkungen

**Vorsicht:** Bei diesem Versuch arbeitet man mit hohen Strömen und/oder hohen Spannungen, daher gilt, noch mehr als sonst, erst die Spannung runterdrehen, dann an der Schaltung etwas umstecken! Dies gilt auch für den Messbereichswchsel beim Ampèremeter, da dann der Strom kurzfristig unterbrochen wird und somit große Induktionsspannungen erzeugt werden können,

---

die andere Messgeräte beschädigen können. Also auch hier vor dem Umschalten bitte zuerst die Spannung runterdrehen.