

# **Verbundstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (Bachelor)**

## **Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik**

### **Versuch 4 Transformator**

Teilnehmer:

Name	Vorname	Matr.-Nr.

Datum der Versuchsdurchführung: \_\_\_\_\_

# Transformator

## Grundlagen

### 1. Aufbau und Funktion eines Transformators

Bringt man auf einen geblechten Eisenkern nach Bild 1 zwei Wicklungen auf, so erhält man eine Anordnung, die man als **Transformator** bezeichnet.

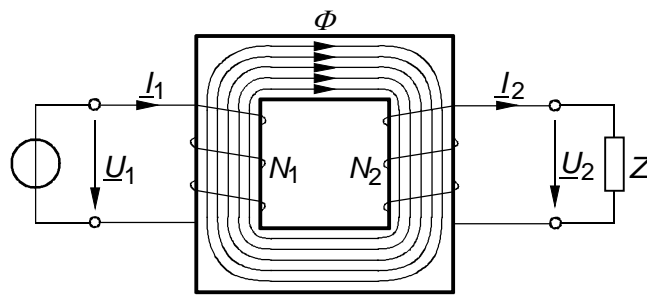


Bild 1: Aufbau eines Transformators ( $Z = \text{Belastungswiderstand}$ )

Er ermöglicht die **Herabsetzung** oder die **Heraufsetzung** einer **Wechselspannung**. Darüber hinaus wird zwischen den beiden Stromkreisen eine **galvanische Trennung** hergestellt. Beide Kreise sind also voneinander isoliert. Man bezeichnet (allgemein) diejenige Spule, die mit der Spannungsquelle (Versorgungsquelle) verbunden ist und somit Leistung aufnimmt, als **Primärwicklung**. In Bild 1 ist das die linke Wicklung. Die andere Spule heißt **Sekundärwicklung**. Der in Bild 1 dargestellte Widerstand  $Z$  stellt einen **Belastungswiderstand (Verbraucher)** für den Transformator dar.

Die in der Sekundärwicklung des Transformators (Bild 1) erzeugte Spannung wird dadurch verursacht, dass der vom primärseitigen Wechselstrom ( $I_1$ ) im Eisenkern verursachte **magnetische Fluss**  $\Phi$  durch die Sekundärwicklung geführt wird. Da sich der Fluss dauernd **ändert**, induziert (erzeugt) er in der Sekundärwicklung eine Spannung (eine Wechselspannung). Schließt man an die Sekundärwicklung nach Bild 1 einen Widerstand  $Z$  an, so verursacht die induzierte Spannung in dem betreffenden Stromkreis einen Strom ( $I_2$ ).

Bei einem Transformator nach Bild 1 gilt (näherungsweise) für das Verhältnis der Spannungen:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (1)$$

Hierin sind  $N_1$  und  $N_2$  die Windungszahlen der Wicklungen. Die in Gl. (1) angegebene Beziehung besagt, dass bei einem Transformator sich die Spannungen zueinander verhalten wie die Windungszahlen. Man bezeichnet das in Gl. (1) angegebene Verhältnis auch als **Übersetzungsverhältnis** ( $\ddot{u}$ ) des Transformators, so dass gilt

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (2)$$

Ist  $\ddot{u}$  größer als eins, so setzt ein Transformator eine angelegte Wechselspannung herab. Bei einem Übersetzungsverhältnis unterhalb von eins wird die Wechselspannung heraufgesetzt. Durch eine entsprechende Wahl von  $\ddot{u}$  in Gl. (2) kann man eine gegebene Wechselspannung im Prinzip beliebig herab- oder heraufsetzen.

Für einen Transformator im *belasteten* Zustand nach Bild 1 gilt (näherungsweise):

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}. \quad (3)$$

Das bedeutet, dass sich die Ströme umgekehrt zueinander verhalten wie die Windungszahlen.

Bei genauerer Betrachtung des Transformators ist zu beachten, dass die fließenden Ströme an den Wicklungswiderständen Spannungsabfälle verursachen. Das hat in Bild 1 zur Folge, dass die Ausgangsspannung  $U_2$  – bei Belastung des Transformators durch den Widerstand  $Z$  – (leicht) absinkt. Je kleiner (niederohmiger) in Bild 1 der Widerstand  $Z$  ist, umso höher sind die Ströme  $I_1$  und  $I_2$ , und umso mehr sinkt die Ausgangsspannung  $U_2$  ab.

Weiterhin ist zu beachten, dass die fließenden Ströme zu einer Erwärmung der Wicklungen führen. Zudem verursacht der im Eisenkern verlaufende magnetische Fluss eine Erwärmung des Eisenkerns. Das bedeutet, dass keine verlustfreie Herab- oder Heraufsetzung einer Wechselspannung möglich ist.

## 2. Bestimmung von Kennlinien und Kenngrößen eines Transformators

### 2.1 Leerlaufkennlinie

Wird bei einem unbelasteten Transformator nach Bild 2a die Primärspannung  $U_1$  schrittweise vergrößert, und nimmt man dabei jeweils den primärseitig fließenden Strom (Leerlaufstrom)  $I_1 = I_{10}$  auf, so kann man mit diesen Werten eine Kennlinie  $U_1 = f(I_{10})$  darstellen. Sie hat den in Bild 2b dargestellten Verlauf und wird als **Leerlaufkennlinie** bezeichnet.

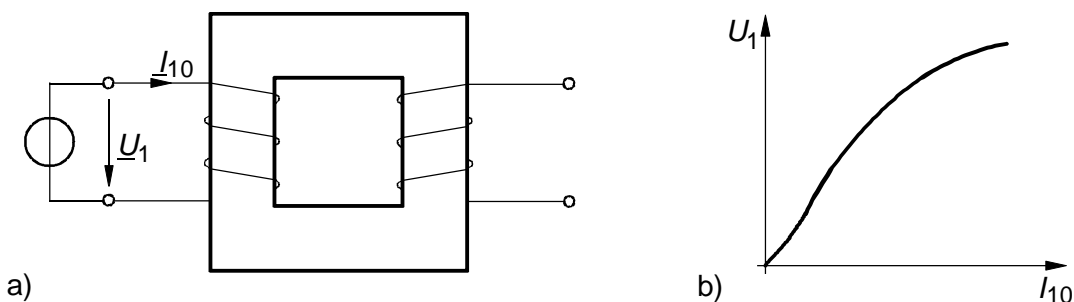


Bild 2: a) Schaltung zur Aufnahme der Leerlaufkennlinie, b) Verlauf der Leerlaufkennlinie

## 2.2 Übersetzungsverhältnis

Zur Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses  $\ddot{u}$  eines Transformators wird dieser nach Bild 3 – bei offener Sekundärwicklung – primärseitig an die **Nennspannung**  $U_{1N}$  gelegt. (**Anmerkung:** Die Nennspannung  $U_{1N}$  ist diejenige Spannung, für die der Transformator primärseitig ausgelegt worden ist.) Gemessen wird die bei dieser Spannung am Ausgang liegende Spannung  $U_2 = U_{20}$ . Daraus erhält man das **Übersetzungsverhältnis**

$$\ddot{u} = \frac{U_{1N}}{U_{20}}. \quad (4)$$

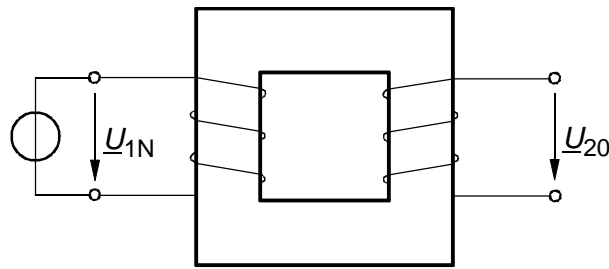


Bild 3: Schaltung zur Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses

## 2.3 Kurzschlussströme

Wird ein Transformator bei voller anliegender Primärspannung sekundärseitig kurzgeschlossen, so fließen in der Regel unzulässig hohe Ströme. Daher ist eine solche Betriebsweise grundsätzlich nicht zulässig. Man kann diese Ströme jedoch dadurch bestimmen, dass man den Transformator nach Bild 4 sekundärseitig kurzschließt und primärseitig eine *niedrige* Spannung anlegt.

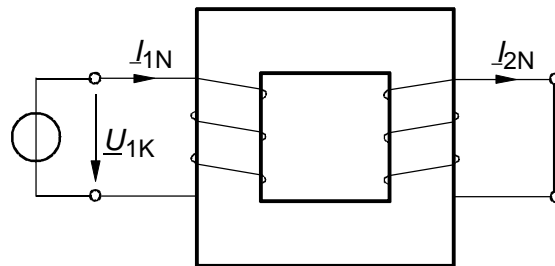


Bild 4: Schaltung zur Bestimmung der relativen Kurzschlussspannung

Dazu stellt man in der Regel die Primärspannung  $U_1$  so ein, dass primärseitig der **Nennstrom** ( $I_{1N}$ ) fließt. (**Anmerkung:** Der Nennstrom  $I_{1N}$  ist diejenige Strom, für den der Transformator primärseitig ausgelegt worden ist.) Die dann primärseitig anliegende Spannung ( $U_{1K}$ ) nennt man **Kurzschlussspannung**. Teilt man diese durch die Nennspannung  $U_{1N}$ , so erhält man eine Größe, die als **relative Kurzschlussspannung** ( $u_K$ ) bezeichnet wird. Es gilt also

$$u_K = \frac{U_{1K}}{U_{1N}}. \quad (5)$$

Mit Hilfe dieser Größe kann man die auftretenden **Kurzschlussströme** ( $I_{1K}$  und  $I_{2K}$ ) unter der Voraussetzung berechnen, dass primärseitig am Transformator die *volle* Spannung (Nennspannung) anliegt. Dabei gelten die Gleichungen

$$I_{1K} = \frac{I_{1N}}{u_K}, \quad (6)$$

$$I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_K}, \quad (7)$$

wobei  $I_{1N}$  und  $I_{2N}$  die **Nennströme** der Primär- und der Sekundärseite des Transformators sind.

## 2.4 Belastungskennlinie

Wird ein Transformator nach Bild 5a mit einem Widerstand  $R$  belastet, so sinkt die Spannung  $U_2$  – wie oben schon erwähnt – infolge der an den Wicklungswiderständen auftretenden Spannungsabfälle leicht ab. Wird  $R$  schrittweise verkleinert, so kann man mit den jeweils auftretenden Werten für die Sekundärspannung  $U_2$  und den Sekundärstrom  $I_2$  eine Kennlinie  $U_2 = f(I_2)$  darstellen. Sie hat den in Bild 5b dargestellten Verlauf und wird als **Belastungskennlinie** des Transformators bezeichnet.

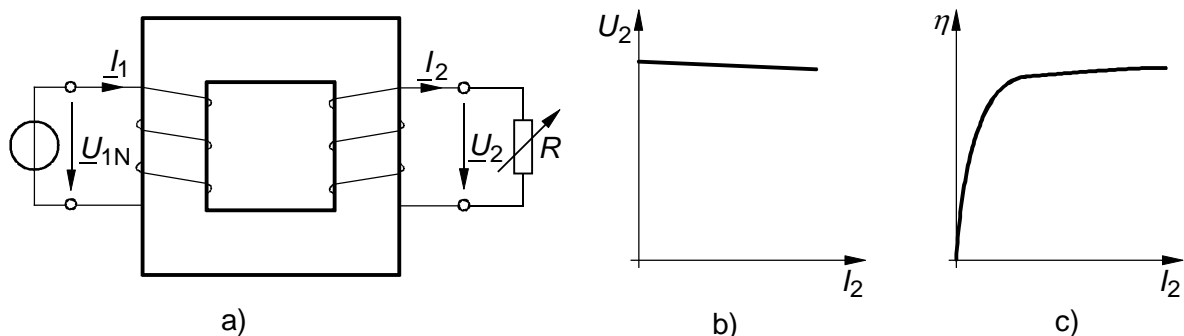


Bild 5: a) Schaltung zur Bestimmung der Belastungs- und der Wirkungsgradkennlinie, b) Verlauf der Belastungskennlinie, c) Verlauf der Wirkungsgradkennlinie

## 2.5 Wirkungsgradkennlinie

Wird in der Schaltung nach Bild 5a der Widerstand  $R$  schrittweise verkleinert, so nehmen sowohl die vom Transformator aufgenommene Wirkleistung  $P_1$  als auch die vom Transformator abgegebene Wirkleistung  $P_2$  zu. Der Quotient

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (8)$$

stellt den jeweiligen **Wirkungsgrad** des Transformators dar. Trägt man diesen in Abhängigkeit von  $I_2$  auf, so erhält man eine Kennlinie  $\eta = f(I_2)$  mit dem in Bild 5c dargestellten Verlauf. Diese Kennlinie heißt **Wirkungsgradkennlinie**.

## Versuchsdurchführung

### 1. Aufnahme der Leerlaufkennlinie eines Transformators

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 6 auf. Erhöhen Sie in der Schaltung schrittweise die Spannung  $U_1$  von 0 V auf 250 V und messen Sie jeweils den zugehörigen **Leerlaufstrom**  $I_{10}$  des Transformators. Tragen Sie die Messwerte direkt in ein Koordinatenkreuz ein, das waagrecht eine Skalierung für den Strom  $I_{10}$  (von 0 bis 200 mA) und senkrecht eine Skalierung für die Spannung  $U_1$  (von 0 bis 260 V) enthält. Verbinden Sie die Punkte, so dass sich die **Leerlaufkennlinie**  $U_1 = f(I_{10})$  des Transformators ergibt.

Empfohlener Maßstab für die waagerechte Achse: 20 cm  $\hat{=}$  200 mA und für die senkrechte Achse: 13 cm  $\hat{=}$  260 V (Millimeterpapier, Querformat). Versehen Sie die Darstellung mit einer *aussagefähigen* Überschrift.

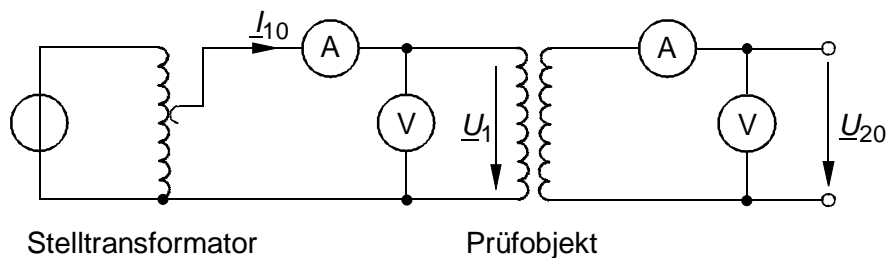


Bild 6: Schaltung zur Aufnahme der Leerlaufkennlinie

### 2. Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses eines Transformators

Stellen Sie in der Schaltung nach Bild 6 die Primärspannung auf  $U_1 = U_{1N} = 230$  V ein und messen Sie die dabei vorhandene Sekundärspannung  $U_{20}$ . Setzen Sie das Ergebnis nachstehend ein und bestimmen Sie das **Übersetzungsverhältnis**  $\ddot{u}$  des Transformators wie folgt:

$$\ddot{u} = \frac{U_{1N}}{U_{20}} = \frac{230 \text{ V}}{\quad} =$$

### 3. Bestimmung der relativen Kurzschlussspannung und der Kurzschlussströme eines Transformators

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 7 auf. Stellen Sie in dieser Schaltung die Primärspannung auf  $U_1 = 0$  V ein, und schließen Sie danach die Sekundärwicklung kurz. Erhöhen Sie hiernach *vorsichtig* die Primärspannung  $U_1$  soweit, bis primärseitig der Nennstrom  $I_{1N} = 1,0$  A fließt.

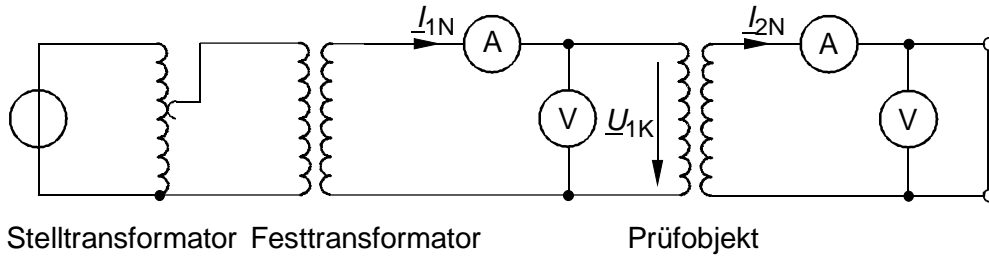


Bild 7: Schaltung zur Ermittlung der relativen Kurzschlussspannung und der Kurzschlussströme

Lesen Sie hiernach die Werte für  $U_{1K}$ ,  $I_{1N}$  und  $I_{2N}$  ab und setzen Sie die Ergebnisse nachstehend ein. Berechnen Sie die **relative Kurzschlussspannung**  $u_K$  sowie die (bei Nennspannung auftretenden) **Kurzschlussströme**  $I_{1K}$  und  $I_{2K}$  wie folgt:

$u_K = \frac{U_{1K}}{U_{1N}} = \frac{\quad}{230 \text{ V}} =$
$I_{1K} = \frac{I_{1N}}{u_K} = \frac{\quad}{\quad} =$
$I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_K} = \frac{\quad}{\quad} =$

#### 4. Ermittlung der Belastungskennlinie und der Wirkungsgradkennlinie eines Transformators

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 8 auf. Stellen Sie in dieser Schaltung die Primärspannung auf  $U_{1N} = 230 \text{ V}$  ein. Belasten Sie den Transformator mit einem veränderbaren ohmschen Widerstand ( $R$ ). Stellen Sie dabei – nacheinander –  $R$  so ein, dass der Strom  $I_2$  folgende Werte annimmt: 0 A; 0,3 A; 0,5 A; 1 A; 2 A; 4 A; 6 A; 8 A; 10 A. Nach jeder Veränderung von  $R$  ist die Primärspannung auf  $U_{1N} = 230 \text{ V}$  nachzustellen. Messen Sie jeweils folgende Größen und tragen Sie diese in die nachstehende Wertetabelle ein: Sekundärspannung  $U_2$ , primärseitig aufgenommene Wirkleistung  $P_1$ .

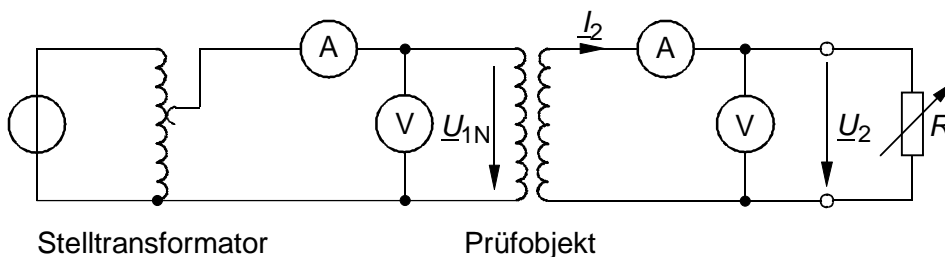


Bild 8: Schaltung zur Ermittlung der Belastungskennlinie und der Wirkungsgradkennlinie eines Transformators

### Wertetabelle

$\frac{I_2}{\text{A}}$	$\frac{U_2}{\text{V}}$	$\frac{P_1}{\text{W}}$	$P_2 = U_2 \cdot I_2$ in W	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
0				
0,3				
0,5				
1				
2				
4				
6				
8				
10				

### Auswertung

- a) Stellen Sie mit Hilfe der für  $I_2$  und  $U_2$  vorhandenen Werte die **Belastungskennlinie**  $U_2 = f(I_2)$  – ohne Unterdrückung des Nullpunktes – dar. Empfohlener Maßstab für die waagerechte Achse: 25 cm  $\hat{=}$  10 A und für die senkrechte Achse: 15 cm  $\hat{=}$  30 V (Millimeterpapier, Querformat). Versehen Sie die Darstellung mit einer *aussagefähigen* Überschrift.
- b) Berechnen Sie aus den für  $U_2$  und  $I_2$  gefundenen Werten die vom Transformator abgegebene Wirkleistung mit Hilfe der Gleichung

$$P_2 = U_2 \cdot I_2$$

und tragen Sie die Ergebnisse in die obige Wertetabelle ein. Berechnen Sie danach mit Hilfe von Gl. (8) aus den für  $P_1$  und  $P_2$  gefundenen Werten den jeweiligen Wirkungsgrad  $\eta$ , und tragen Sie die Ergebnisse ebenfalls in die obige Wertetabelle ein. Stellen Sie danach die **Wirkungsgradkennlinie**  $\eta = f(I_2)$  dar. Empfohlener Maßstab für die waagerechte Achse: 25 cm  $\hat{=}$  10 A und für die senkrechte Achse: 10 cm  $\hat{=}$  1 (Millimeterpapier, Querformat). Versehen Sie die Darstellung mit einer *aussagefähigen* Überschrift.