



## Versuchsanleitung

# Transformator

Nummer: 25  
Kompiliert am: 19. Dezember 2018  
Letzte Änderung: 19.12.2018  
Beschreibung: Bestimmung der physikalischen Eigenschaften eines Transformators.  
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-festkoerperphysik/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-laphys/>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1 Theorie . . . . .	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	2
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
3.1 Messungen im Leerlauf . . . . .	3
3.2 Messungen bei Kurzschluss . . . . .	3
3.3 Messungen bei Belastung . . . . .	3
3.4 Hysteresekurve eines Ferritkerns . . . . .	4
3.5 Häufige Fehler . . . . .	4
<b>4 Versuchszubehör</b>	<b>4</b>
<b>5 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>4</b>
5.1 Versuchsspezifisch . . . . .	4
5.2 Allgemein . . . . .	5
<b>Literatur</b>	<b>6</b>

# 1 Einführung

Für den Transport elektrischer Energie über weite Entfernungen ist es günstig, möglichst hohe Spannungen  $U$  zu wählen, da dann bei vorgegebener zu übertragender Leistung der Verlust durch den Leitungswiderstand  $R$  vergleichsweise klein wird. Möchte man eine elektrische Leistung  $P = U \cdot I$  übertragen, so beträgt der Verlust bei der Übertragung  $\Delta P = I^2 \cdot R$ , wodurch der relative Verlust

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{I^2 \cdot R}{U \cdot I} = \frac{I \cdot R}{U} = \frac{R}{U^2} \cdot P \quad (1)$$

bei vorgegebener Leistung mit steigender Spannung sinkt. Die Umformung von Spannungen geschieht mit Transformatoren, deren Funktion auf dem Faraday'schen Induktionsgesetz beruht. Zwei Spulen mit verschiedenen Windungszahlen  $N_1$  und  $N_2$  werden durch ein gemeinsames Joch verbunden, so dass im Idealfall der magnetische Fluss der vom Primärstrom  $I_1$  durchflossenen Primärspule  $L_1$  die Sekundärspule  $L_2$  vollständig durchsetzt.

Im Experiment beschäftigen wir uns mit der Funktion und mit den grundsätzlichen physikalischen Eigenschaften eines Transformators.

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

- Die Maxwell-Gleichungen in differentieller und integraler Form und ihre physikalische Bedeutung [Dem13]
- Die Kirchhoff'schen Regeln als Grundlage der behandelten Schaltungen [Dem13]
- Wechselstromwiderstände und Zeigerdiagramme [Dem13]
- Magnetismus (spez. Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus) [Dem13]
- Magnetisierung und Suszeptibilität [Dem13]
- Induktivität: Selbst- und Gegeninduktion [Dem13]
- Induktivität der langen Spule [Dem13]
- Wichtige physikalische Eigenschaften des Transformators (Spannungs- /Stromverhältnis belastet und unbelastet, Induktivitäten, Kopplungsgrad) [Dem13]

### 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Galvanische Entkoppelung
- Spannungsumsetzung
- Sperrspannungswandler
- magnetische Messverfahren (Fluxgate)
- Impedanzwandlung

- Railgun

### 3 Versuchsdurchführung

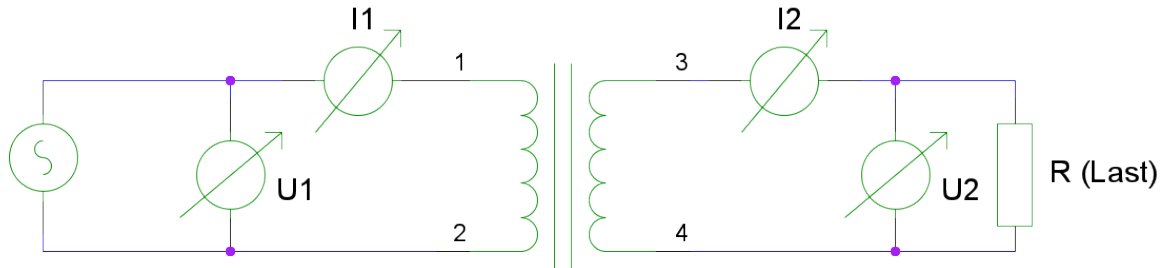


Abbildung 1: Messschaltung mit Transformator.

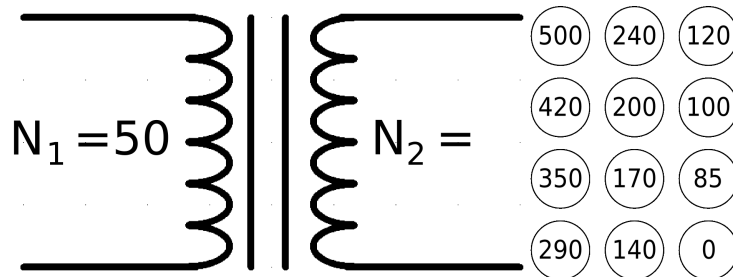


Abbildung 2: Belegungsplan der Abgriffe am Transformator.

#### 3.1 Messungen im Leerlauf

Messen Sie die Primärspannung  $U_1$ , den Primärstrom  $I_1$  und die Sekundärspannung  $U_2$  ohne Lastwiderstand (vgl. Abb. 1). Führen Sie für die Frequenzen 130 Hz und 320 Hz der Primärspannung jeweils eine Messreihe mit ca. 15 verschiedenen Werten für die Sekundärwindungszahl zwischen 15 und 500 Windungen durch.

#### 3.2 Messungen bei Kurzschluss

Schließen Sie die Sekundärseite über ein Amperemeter kurz und messen Sie, analog zu Teil 3.1, die Primärspannung  $U_1$ , den Primärstrom  $I_1$  und den Sekundärstrom  $I_2$  bei den beiden Frequenzen für ca. 15 verschiedene Windungszahlen.

#### 3.3 Messungen bei Belastung

Belasten Sie nun den Transformator durch einen Widerstand  $R$  im Sekundärkreis und messen Sie wieder  $U_1$ ,  $I_1$  und  $I_2$  bei den beiden Frequenzen für ca. 15 verschiedene Windungszahlen

pro Widerstand. Führen sie diese Messungen bei mindestens 2 verschiedenen Widerständen  $R$  zwischen  $100 \Omega$  und  $3 \text{ k}\Omega$  durch. Messen Sie zusätzlich mit einem Multimeter den ohmschen Widerstand der Sekundärspule mit 500 Windungen.

### 3.4 Hysteresekurve eines Ferritkerns

Messen Sie parallel zu den oben genannten Messungen an einem weiteren Versuchsaufbau die Hysteresekurve eines Ferritkerns mit Hilfe eines Oszilloskops aus. Dazu erhitzen Sie den anfangs auf Zimmertemperatur befindlichen Ferritkern in mehreren Schritten (circa 10-15 Messungen) in einer Wärmekammer, bis die Hysteresekurve am Oszilloskop verschwunden ist. Verwenden Sie als Messpunkt für die Hysteresekurve die beiden Remanenzpunkte der Kurve.

### 3.5 Häufige Fehler

- Wahl und Dokumentation der Messbereiche für die Fehlerrechnung

## 4 Versuchszubehör

- 1 Transformator
- 3 Multimeter
- 2 Widerstände
- 1 Widerstandsdekade
- 1 Zusatzaufbau zur Messung von Hysteresekurven an einem Ferritkern

## 5 Hinweise zur Ausarbeitung

### 5.1 Versuchsspezifisch

- Berechnen Sie für alle Messwerte der Leerlauf- und Kurzschlussmessungen die Primär- ( $L_1$ ), Sekundär- ( $L_2$ ) und Gegeninduktivität ( $L_{12}$ ), sowie den daraus resultierenden Kopplungsgrad ( $\kappa$ ).
- Grafische Auswertungen:
  - Tragen Sie für die Leerlaufmessungen das Spannungsverhältnis  $U_2/U_1$  gegenüber dem Windungszahlverhältnis  $N_2/N_1$  auf.
  - Tragen Sie für die Kurzschlussmessung das Stromverhältnis  $I_1/I_2$  gegenüber dem Windungszahlverhältnis  $N_2/N_1$  auf.
  - Tragen Sie für die Messungen am belasteten Transformator das Spannungsverhältnis  $U_2/U_1$  gegenüber dem Windungszahlverhältnis  $N_2/N_1$  auf. Tragen Sie außerdem die Theoriekurve für das Spannungsverhältnis in das Diagramm ein. Für das

Spannungsverhältnis am belasteten Transformator verwenden Sie für die Theoriekurve zunächst die Näherung  $U_2/U_1 \approx L_{12}/L_1$ .

Führen Sie bei allen drei Aufgabenteilen (grafisch) eine lineare Regression durch und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Theoriekurve. Tragen Sie in die Diagramme auch die Fehlerbalken Ihrer Messwerte mit ein.

- Diskutieren Sie den Einfluss der ohmschen Widerstände der Spulenwicklungen auf die gemessenen Übersetzungsverhältnisse anhand eines geeigneten Ersatzschaltbilds für den realen Transformator. Schätzen Sie die auftretenden Widerstände durch den gemessenen Widerstand auf der Sekundärseite ab. Berechnen Sie für die Messung des Spannungsverhältnisses unter Last für mindestens einen von der Theoriekurve abweichenden Wert einen korrigierten Theoriewert  $\left(\frac{U_{2,\text{korr}}}{U_{1,\text{korr}}}\right)$ , der diese Einflüsse berücksichtigt. Tragen Sie diesen Wert ebenfalls in das entsprechende Diagramm ein. Es müssen  $R_{i,1}$  und  $R_{i,2}$  aus  $R_i(N = 500)$  berechnet werden:  $R_i(N) = \frac{R_i(N=500)}{500} \cdot N$ . Zudem gilt

$$U_{2,\text{korr}} = (Z_{\text{Last}} + R_{i,2})I_2 \quad (2)$$

und

$$U_{1,\text{korr}} = \frac{U_1}{\left|1 + R_{i,1} \cdot \frac{i\omega L_2 + Z_{\text{Last}}}{i\omega L_1 Z_{\text{Last}}}\right|}. \quad (3)$$

- Berechnen Sie aus den Daten der Messreihen am belasteten Transformator die Sekundärleistungen und stellen Sie Ihre Ergebnisse in einem Diagramm pro Frequenz dar. Tragen Sie dazu die Sekundärleistungen gegenüber der Sekundärwindungszahl auf. Fügen Sie außerdem die Fehlerbalken Ihrer Messwerte mit in die Diagramme ein.
- Tragen Sie die gemessenen Hysteresekurven (bei  $T = RT$  und  $T \approx T_C$ ) in einem Diagramm auf (mit zwei  $y$ -Achsen) und diskutieren Sie die Ergebnisse.
- Tragen Sie in einem Diagramm Ihre Messwerte für die Remanenz gegenüber den Temperaturen des Ferritkerns auf. Ermitteln Sie grafisch die Curie-Temperatur  $T_C$  des Ferrits. Fügen Sie außerdem die Fehlerbalken Ihrer Messwerte mit in das Diagramm ein.

## 5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013