

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungstitel: Transformator

Betreuer: Alexander Eber

Gruppennummer:

41

Vorbereitung	Durchführung	Protokoll

Σ

Name: Tanja Maier, Johannes Winkler

Kennzahl: 033 678 Matrikelnummer: 11778750, 00760897

Datum: 23. Oktober 2020 WS 20

1 Aufgabenstellung

1. Messen von Primärstrom, Primärspannung, Wirkleistung und Sekundärspannung im Leerlauf sowie Durchführung der Berechnungen von Scheinleistung primär, Leistungsfaktor, Verlustleistung, Blindleistung primär, Wirkleistung sekundär und Wirkungsgrad. Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung.
2. Messen von Primärstrom, Primärspannung, Wirkleistung und Sekundärspannung mit sekundärseitiger Ohm'scher Last sowie Durchführung der Berechnungen von Scheinleistung primär, Leistungsfaktor, Verlustleistung, Blindleistung primär, Wirkleistung sekundär und Wirkungsgrad. Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung.
3. Messen von Primärstrom, Primärspannung, Wirkleistung und Sekundärspannung mit Ohm'scher induktiver Last sowie Erstellung eines Diagramms von Leistung über Lastwiderstand. Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung.

2 Grundlagen und Versuchsaufbau

Ein Transformator (Abbildung 1) wird ein Gerät bezeichnet, dass aus einer Primärspannung U_1 eine Spannung U_2 generieren kann. Es gilt

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

wobei n_1, n_2 die Windungszahlen der Spulen sind, U_1, U_2 jeweils Primär- und Sekundärspannung und I_1, I_2 jeweils Primär- und Sekundärstrom. Diese Gleichung gilt in der Praxis nur näherungsweise, da Transformatoren verlustbehaftet sind.

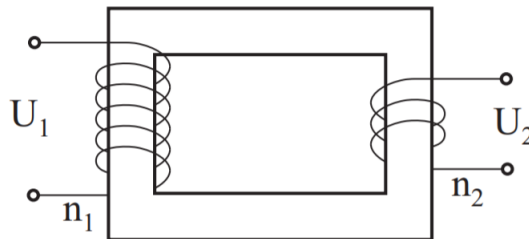


Abbildung 1: Transformator

Es sind folgende Größen relevant.

- Wirkleistung primärseitig: $P_1 = U_1 \cdot I_1$

- Wirkleistung sekundärseitig: $P_2 = U_2 \cdot I_2$
- Phasenverschiebung primärseitig $\cos(\phi) = \frac{P_1}{S_1}$
- Phasenverschiebung sekundärseitig $\cos(\phi) = \frac{P_2}{S_2}$
- Primäre Blindleistung $Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2}$
- Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_2}{P_1}$
- Verlustleistung $P_V = P_1 - P_2$

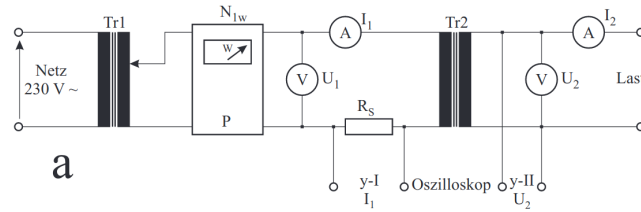


Abbildung 2: Versuchsaufbau Transformator. Tr1 Regeltrenntrafo, Tr2 Messtrafa, R_s Shunt (0.5Ω), I_1 Primärstrom, I_2 Sekundärstrom, U_1 Primärspannung, U_2 Sekundärspannung, N_{1W} Leistungsmessung

3 Geräteliste

Tabelle 1: Liste der verwendeten Geräte

Kürzel	Bezeichnung	Hersteller	Gerätenummer	Unsicherheit
DM	Digitalmultimeter	Leybold		
TF	Transformator	Ruhstrat		
A1	Amperemeter 1	Norma		$\pm 1.5\%$
A2	Amperemeter 2	Norma		$\pm 1.5\%$
V1	Voltmeter 1	Norma		$\pm 0.5\%$
V2	Voltmeter 2	Norma	VII/1121/3	$\pm 0.5\%$
SP	Spule			
WS	Widerstand		VII/695	
LWS	Lastwiderstand			
OS	Oszilloskop	Rigol		
TT	Trenntrafo	Ruhstrat		

4 Durchführung und Messwerte

4.1 Leerlauf

Zuerst wurde die Schaltung gemäß Abbildung 2 aufgebaut, jedoch ohne das Amperemeter für den Sekundärstrom. Dann wurde eine Primärspannung von $U_1 = 160 \text{ V}$ angelegt. Die Unsicherheit bei Voltmetern sind 0.5%, bei Amperemetern 1.5%. Daher gilt insgesamt

$$\begin{aligned}U_1 &= (160 \pm 1) \text{ V} \\U_2 &= (17.6 \pm 0.1) \text{ V} \\I_1 &= (0.20 \pm 0.01) \text{ A} \\P_1 &= (6.9 \pm 0.1) \text{ W}\end{aligned}$$

Da der Transformator im Leerlauf war, ist $I_2 = 0$ zu setzen.

4.2 Ohm'sche Last

Hier wird derselbe Aufbau verwendet, jedoch zusätzlich mit einem Verbraucher an der Sekundärseite. Es wird hier zusätzlich zur Sekundärspannung auch der Sekundärstrom I_2 gemessen. Der variable Widerstand wurde so gewählt, dass $I_2 < 1 \text{ A}$ ist. Es gilt

$$\begin{aligned}U_1 &= (160 \pm 1) \text{ V} \\U_2 &= (16.6 \pm 0.1) \text{ V} \\I_1 &= (0.24 \pm 0.01) \text{ A} \\I_2 &= (0.68 \pm 0.02) \text{ A} \\P_1 &= (19.3 \pm 0.1) \text{ W}\end{aligned}$$

4.3 Ohm + Induktive Last

Zum vorherigen Aufbau wurde eine Spule ($L = 0.1 \text{ H}$) sekundärseitig in Serie geschaltet. Für die übliche Primärspannung $U_1 = (160 \pm 1) \text{ V}$ wurden 15 Messwerte bei unterschiedlicher Einstellung des Lastenwiderstandes (bis zu $45 \text{ }\Omega$) gemessen.

Es wird der Sekundärstrom I_2 und die Sekundärspannung U_2 gemessen, der variable Widerstand R ergibt sich daraus. Die Leistung kann dadurch direkt berechnet werden. Die Messwerte sind in Tabelle 3 zu finden.

Tabelle 2: Messwerte für Sekundärspannung U_2 , Sekundärstrom I_2 , Widerstand R . Die entsprechenden Unsicherheiten sind in Abschnitt 4.3 zu finden.

	U_2 / V	I_2 / A	R/Ω
1	2.2	0.53	4.2
2	2.7	0.51	5.3
3	3.4	0.49	6.9
4	3.9	0.46	8.5
5	4.2	0.45	9.3
6	4.8	0.43	11.2
7	5.3	0.40	13.3
8	5.9	0.37	15.9
9	6.5	0.32	20.3
10	6.9	0.29	23.8
11	7.1	0.27	26.3
12	7.3	0.25	29.2
13	7.5	0.23	32.6
14	7.6	0.21	36.2
15	7.7	0.2	38.5

5 Auswertung

5.1 Leerlauf

Für die Scheinleistung auf der Primärseite ergibt sich

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 = 32 \text{ W}$$

Die Fehlerrechnung ergibt

$$\Delta S_1 = \Delta U_1 \cdot I_1 + U_1 \cdot \Delta I_1 = 1.68 \text{ W} \approx 2 \text{ W}$$

Die Blindleistung ist

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} \approx 31 \text{ W}$$

Für die Fehlerrechnung gilt

$$\Delta Q_1 = \frac{S_1 \cdot \Delta S_1}{\sqrt{S_1^2 - P_1^2}} + \frac{P_1 \cdot \Delta P_1}{\sqrt{S_1^2 - P_1^2}} \approx 2 \text{ W}$$

Der Leistungsfaktor ist

$$\cos(\phi) = \frac{P_1}{S_1} = 0.22$$

Für die Fehlerrechnung gilt

$$\Delta \cos(\phi) = \frac{\Delta P_1}{S_1} + \frac{P_1}{S_1^2} \cdot \Delta S_1 = 0.01$$

5.2 Ohm'sche Last

Analog zum Leerlauf gilt hier für die Scheinleistung

$$\begin{aligned}S_1 &= 37.6 \text{ W} \\ \Delta S_1 &= 1.7 \text{ W}\end{aligned}$$

Die Blindleistung ergibt

$$\begin{aligned}Q_1 &= 32 \text{ W} \\ \Delta Q_1 &= 2 \text{ W}\end{aligned}$$

Der Leistungsfaktor ist

$$\begin{aligned}\cos(\phi) &= 0.51 \\ \Delta \cos(\phi) &= 0.02\end{aligned}$$

Zusätzlich kann man jetzt die Sekundärseitige Wirkleistung berechnen (unter Annahme der Ohm'schen Last)

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 11.3 \text{ W}$$

Die Fehlerrechnung ergibt

$$\Delta P_2 = \Delta U_2 \cdot I_2 + U_2 \cdot \Delta I_2 = 0.4 \text{ W}$$

Der Wirkungsgrad kann folgend berechnet werden

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_2}{P_1} = 0.58 \\ \Delta \eta &= \frac{\Delta P_2}{P_1} + \frac{P_2}{P_1^2} \cdot \Delta P_1 = 0.02\end{aligned}$$

Es fehlt noch die Verlustleistung und die dazugehörige Fehlerrechnung

$$\begin{aligned}P_V &= P_1 - P_2 = 8.0 \text{ W} \\ \Delta P_V &= \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0.5 \text{ W}\end{aligned}$$

5.3 Ohm + Induktive Last

An dieser Stelle wird die Leistung auf der Sekundärseite ausgewertet. Das Maximum befindet sich bei $U_2 = (5.9 \pm 0.1) \text{ V}$ und $I_2 = (0.37 \pm 0.02) \text{ A}$. Die maximale Leistung ist dann $P_2 = (2.18 \pm 0.16) \text{ W}$.

Tabelle 3: Berechnung der Leistung P_2 aus Sekundärspannung U_2 , Sekundärstrom I_2 und bestimmung des Maximums. Die Unsicherheiten sind aus Abschnitt 5.3 zu entnehmen.

	U_2 / V	I_2 / A	R/Ω	P_2 / W
1	2.2	0.53	4.2	1.17
2	2.7	0.51	5.3	1.38
3	3.4	0.49	6.9	1.67
4	3.9	0.46	8.5	1.79
5	4.2	0.45	9.3	1.89
6	4.8	0.43	11.2	2.06
7	5.3	0.4	13.3	2.12
8	5.9	0.37	15.9	2.18
9	6.5	0.32	20.3	2.08
10	6.9	0.29	23.8	2.00
11	7.1	0.27	26.3	1.92
12	7.3	0.25	29.2	1.83
13	7.5	0.23	32.6	1.73
14	7.6	0.21	36.2	1.60
15	7.7	0.2	38.5	1.54

6 Zusammenfassung

Für den Leerlauf gilt

$$\begin{aligned} S_1 &= (32 \pm 2) \text{ W} \\ Q_1 &= (31 \pm 2) \text{ W} \\ \cos(\phi) &= (0.22 \pm 0.01) \end{aligned}$$

Da $I_2 = 0$ ist, gilt natürlich auch $P_2 = 0$ und $\eta = 0$.
Für die Ohm'sche Last gilt

$$\begin{aligned} S_1 &= (38 \pm 2) \text{ W} \\ Q_1 &= (32 \pm 2) \text{ W} \\ \cos(\phi) &= (0.51 \pm 0.02) \\ P_2 &= (11.3 \pm 0.4) \text{ W} \\ \eta &= (0.58 \pm 0.02) \\ P_V &= (8.0 \pm 0.5) \text{ W} \end{aligned}$$

Für die Ohm'sche Last mit in Serie geschalteter Spule ergibt sich ein Leistungsmaximum von $(2.18 \pm 0.16) \text{ W}$ bei $R = (15.9 \pm 1.1) \Omega$.

7 Diskussion

Primärstrom und Sekundärspannung im Leerlauf wurden in Abbildung 3 dargestellt.

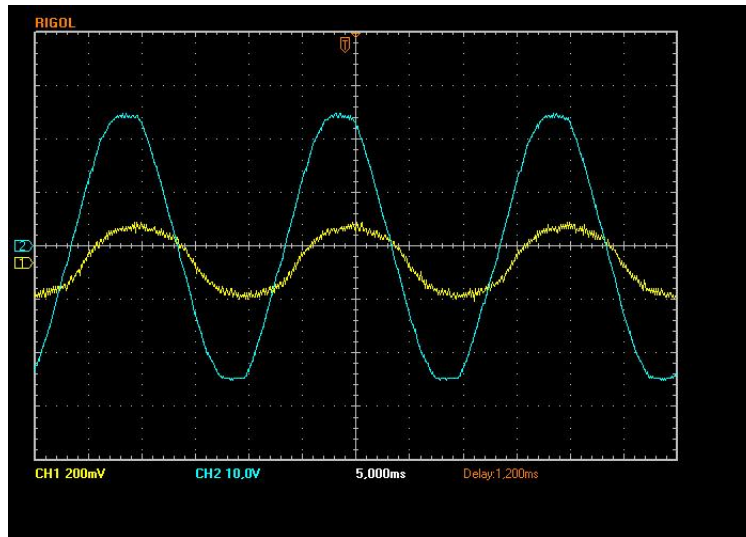


Abbildung 3: Transformator im Leerlauf. Channel 1 ist proportional zum Primärstrom, Channel 2 ist Sekundärspannung

Primärstrom und Sekundärspannung mit Ohm'scher Last wurden in Abbildung 4 dargestellt.

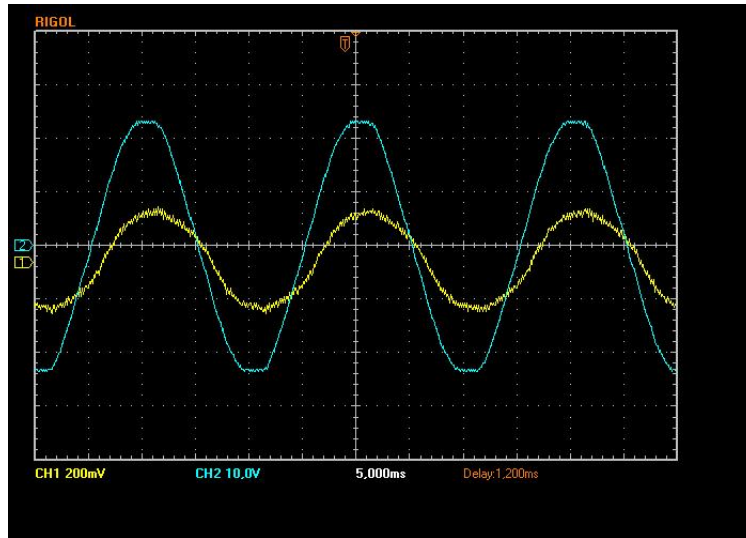


Abbildung 4: Transformator mit Ohm'scher Last. Channel 1 ist proportional zum Primärstrom, Channel 2 ist Sekundärspannung

Primärstrom und Sekundärspannung mit Ohm'scher induktiver Last wurden in Abbildung 5 dargestellt.

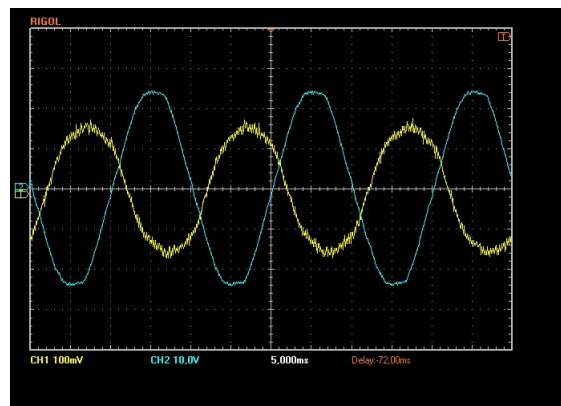


Abbildung 5: Transformator mit Ohm'scher und induktiver Last. Channel 1 ist proportional zum Primärstrom, Channel 2 ist Sekundärspannung

Betrachtet man die Darstellungen von Primärstrom und Sekundärspannung am Oszillator für alle drei Fälle, so wird ersichtlich, dass der Primärstrom immer gleichbleibt und die Sekundärspannung zunehmend verstärkt wird. Diese Beobachtung passt auch mit dem Diagramm von Leistung und Widerstand als Kurve zusammen. Beim Leistungsmaximum ist die Sekundärspannung am höchsten.

Die Phasenverschiebung fällt bei jener Variante mit Ohm'schen Widerstand und Induktivität in Serie am ehesten auf. Zwischen Leerlauf und Ohm'scher Last ist keine nennenswerte Phasenverschiebung zwischen Primärstrom und Sekundärspannung zu bemerken.

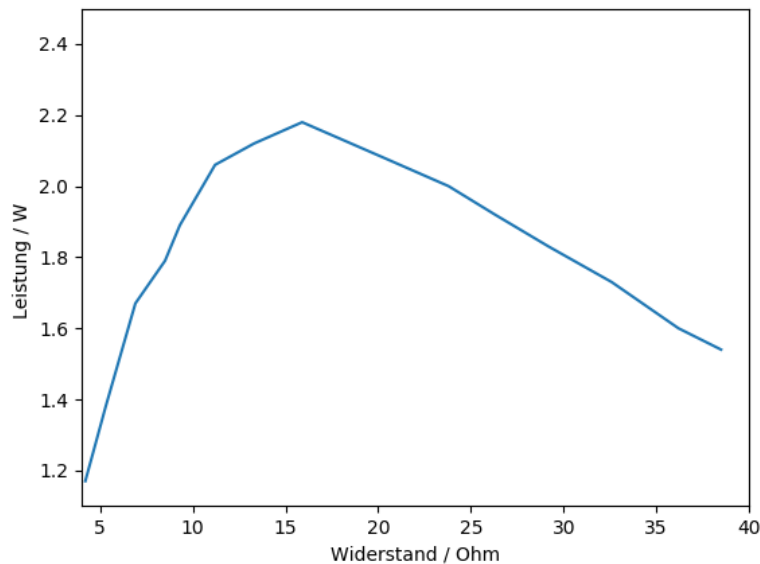


Abbildung 6: Transformator mit mit ohm'scher und induktiver Belastung. Leistung und Widerstand als Kurve dargestellt.

A Python Skript

```
from math import sqrt
from math import sin
from math import cos
from math import pi

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

print("Aufgabe 1:")

U_1 = 160
```

```
Delta_U_1 = 1.2
U_2 = 16.8
Delta_U_2 = 0.12

I_1 = 0.2
Delta_I_1 = 0.009
P_1 = 6.9
Delta_P_1 = 0.1

print("Scheinleistung:")

S_1 = U_1 * I_1
Delta_S_1 = Delta_U_1 * I_1 + U_1 * Delta_I_1

print(str(S_1) + " +- " + str(Delta_S_1))

print("")

print("Blindleistung:")

Q_1 = sqrt(S_1**2 - P_1**2)
Delta_Q_1 = (S_1 * Delta_S_1 + P_1 * Delta_P_1)/Q_1

print(str(Q_1) + " +- " + str(Delta_Q_1))

print("")
print("Leistungsfaktor:")

cos_phi = P_1/S_1
Delta_cos_phi = Delta_P_1/S_1 + P_1/S_1**2 * Delta_S_1

print(str(cos_phi) + " +- " + str(Delta_cos_phi))

print("")
print("")
print("")

print("Aufgabe 2:")

U_1 = 160
```

```
Delta_U_1 = 1.2
U_2 = 16.6
Delta_U_2 = 0.12

I_1 = 0.6/120*47
Delta_I_1 = 0.009

I_2 = 0.68
Delta_I_2 = 0.02 # 0.018

P_1 = 19.3
Delta_P_1 = 0.1

print("Primaerstrom: " + str(I_1))

print("Scheinleistung:")

S_1 = U_1 * I_1
Delta_S_1 = Delta_U_1 * I_1 + U_1 * Delta_I_1

print(str(S_1) + " +- " + str(Delta_S_1))

print("")

print("Blindleistung:")

Q_1 = sqrt(S_1**2 - P_1**2)
Delta_Q_1 = (S_1 * Delta_S_1 + P_1 * Delta_P_1)/Q_1

print(str(Q_1) + " +- " + str(Delta_Q_1))

print("")
print("Leistungsfaktor:")

cos_phi = P_1/S_1
Delta_cos_phi = Delta_P_1/S_1 + P_1/S_1**2 * Delta_S_1

print(str(cos_phi) + " +- " + str(Delta_cos_phi))

print("")

print("Wirkleistung sekundaer, P2: ")
```

```
P_2 = U_2 * I_2
Delta_P_2 = Delta_U_2 * I_2 + U_2 * Delta_I_2

print(str(P_2) + " +- " + str(Delta_P_2))

print("")

print("Wirkungsgrad, eta: ")

eta = P_2/P_1
Delta_eta = Delta_P_2/P_1 + P_2/P_1**2 * Delta_P_1

print(str(eta) + " +- " + str(Delta_eta))

print("")

print("Verlustleistung P_V: ")

print(str(P_1-P_2) + " +- " + str(Delta_P_1 +
    Delta_P_2))

x =
    [4.2,5.3,6.9,8.5,9.3,11.2,13.3,15.9,20.3,23.8,26.3,29.2,32.6,36.2,38.5]

y =
    [1.17,1.38,1.67,1.79,1.89,2.06,2.12,2.18,2.08,2.00,1.92,1.83,1.73,1.60,1.

fig, ax = plt.subplots()

ax.set_xlim(4,40)
ax.set_ylim(1.1,2.5)
ax.plot(x,y)
```

```
ax.set_xlabel('Widerstand / Ohm')  
ax.set_ylabel('Leistung / W')  
  
plt.savefig("kurve.png")
```

Listing 1: Python Skript

B Literaturverzeichnis

- [1] https://www.chemie.de/lexikon/Elektrochemisches_quivalent.html,
22.10.2020 22:53 Uhr
- [2] bereitgestellte Unterlagen zum Versuch aus dem TeachCenter der TU Graz