

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

# **LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK**

Übungsnummer: 15

Übungstitel: Transformator / Hysterese (TU)

Betreuer: Kilian Klustemann

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 10.11.2023

WS 2023/2024

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2 Voraussetzungen &amp; Grundlagen</b>	<b>4</b>
<b>3 Versuchsanordnung</b>	<b>5</b>
<b>4 Geräteliste</b>	<b>7</b>
<b>5 Versuchsdurchführung &amp; Messergebnisse</b>	<b>8</b>
5.1 Leerlauf . . . . .	8
5.2 Ohm'sche Last sekundärseitig . . . . .	9
5.3 Ohm'sche-induktive Last . . . . .	10
<b>6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse</b>	<b>10</b>
6.1 Leerlauf . . . . .	10
6.2 Ohm'sche Last sekundärseitig . . . . .	11
6.3 Ohm'sche-induktive Last . . . . .	11
<b>7 Diskussion</b>	<b>12</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>12</b>
8.1 Leerlauf . . . . .	12
8.2 Ohm'sche Last sekundärseitig . . . . .	12
8.3 Ohm'sche-induktive Last . . . . .	12
<b>Literatur</b>	<b>12</b>

# 1 Aufgabenstellung

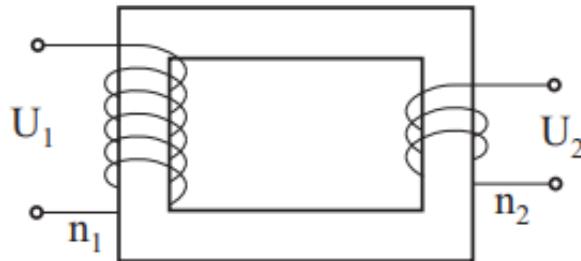
Der Versuch Transformator / Hysterese behandelt, wie aus dem Namen bereits hervorgeht, den Funktionsbereich des Transformatoren, in welchem in erster Linie die Umwandlung von elektrischen Spannungen hineinfällt. Anhand von einer elektrischen Schaltung, welche im weiteren Verlauf des Experimentes immer wieder erweitert wird, soll die Rolle des Transformatoren veranschaulicht werden. Zu erledigen war dabei folgender Versuchsauftrag:

- Schaltung im Leerlauf
  - Primärstrom  $I_1$
  - Primärspannung  $U_1$
  - Wirkleistung  $P_1$
  - Sekundärspannung  $U_2$
  - Sekundärstrom  $I_2$
  - Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung
- Schaltung mit Ohm'scher Last sekundärseitig
  - Primärstrom  $I_1$
  - Primärspannung  $U_1$
  - Wirkleistung  $P_1$
  - Sekundärspannung  $U_2$
  - Sekundärstrom  $I_2$
  - Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung
- Schaltung mit Ohm'sch-induktiver Last (für ca. 20 Widerstandswerte)
  - Primärstrom  $I_1$
  - Primärspannung  $U_1$
  - Wirkleistung  $P_1$
  - Sekundärspannung  $U_2$
  - Sekundärstrom  $I_2$
  - Oszillographische Darstellung der Sekundärspannung an der Stelle mit der größten Wirkleistung
- Schaltung mit Ohm'sch-kapazitiver Last
- Unsicherheitsberechnung für alle Punkte

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [1].

## 2 Voraussetzungen & Grundlagen

Wie im vorherigen Kapitel bereits eingeleitet dient ein Transformator dazu, von einer elektrischen Spannung auf eine andere zu transformieren. Im Aufbau sieht er dabei vereinfacht so aus:



**Abb. 1:** Grundlegender Aufbau eines Transformators [1]

Wie sich in Abbildung 1 erkennen lässt, besteht der Transformator aus zwei Spulen, welche über einen Eisenjoch miteinander verbunden sind. Die Umwandlung der Spannungen basiert auf dem Faraday'schen Gesetz

$$U_{ind} = -N_{ind} \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

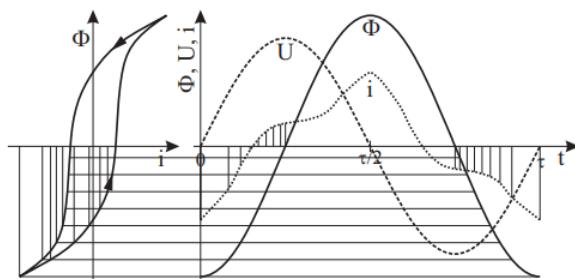
Wenn an der Primärspule eine Wechselspannung angelegt wird, wird ein sich änderndes (aufgrund der Richtungsänderung der Wechselspannung) Magnetfeld an der Primärspule (Eingangsspule) erzeugt. Durch dieses Magnetfeld wird an der Sekundärspule gemäß 1 eine Ausgangsspannung induziert. Die resultierende Spannung ist dabei abhängig vom Wicklungsverhältnis der Spulen, was sich mit dem Ausdruck

$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

beschreiben lässt. Der magnetische Fluss  $\Phi$  setzt sich weiters in folgender Form zusammen:

$$\Phi = BA = \mu \mu_0 H A = \mu \mu_0 \frac{A}{l} n I \quad (3)$$

Sollte die Magnetisierungskurve  $\Phi = \Phi(t)$  eine Hysterese, also eine verzögerte Entmagnetisierung von Ferromagnetischen Stoffen, aufweisen, so wird dem System Leistung entzogen und der Stromverlauf sieht wie folgt aus:



**Abb. 2:** Magentischer Fluss mit Hysterese

Die Fläche innerhalb der in Abbildung 2 gezeigten Hystereseschleife gibt Auskunft über die Hystereseverluste, welche gemeinsam mit den Wirbelstromverlusten die Eisenverluste am Trafo ergeben.

Außerdem werden für die Auswertung noch folgende Zusammenhänge benötigt:

$$P_{S1} = U_1 * I_1 \quad \Delta P_{S1} = \left| \frac{\partial P_{S1}}{\partial U_1} * \Delta U_1 \right| + \left| \frac{\partial P_{S1}}{\partial I_1} * \Delta I_1 \right| \quad (4)$$

$$\cos(\Phi) = \frac{P_1}{S_1} \quad \Delta \cos(\Phi) = \left| \frac{\partial \cos(\Phi)}{\partial P_1} * \Delta P_1 \right| + \left| \frac{\partial \cos(\Phi)}{\partial S_1} * \Delta S_1 \right| \quad (5)$$

$$P_V = P_1 - P_2 \quad \Delta P_V = \left| \frac{\partial P_V}{\partial P_1} * \Delta P_1 \right| + \left| \frac{\partial P_V}{\partial P_2} * \Delta P_2 \right| \quad (6)$$

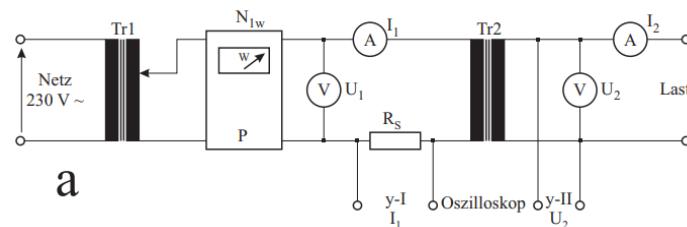
$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} \quad \Delta Q_1 = \left| \frac{\partial Q_1}{\partial S_1} * \Delta S_1 \right| + \left| \frac{\partial Q_1}{\partial P_1} * \Delta P_1 \right| \quad (7)$$

$$P_{W2} = U_2 * I_2 \quad \Delta P_{S1} = \left| \frac{\partial P_{W2}}{\partial U_2} * \Delta U_2 \right| + \left| \frac{\partial P_{W2}}{\partial I_2} * \Delta I_2 \right| \quad (8)$$

$$\eta = \frac{P_2}{S_1} \quad \Delta \eta = \left| \frac{\partial \eta}{\partial P_2} * \Delta P_2 \right| + \left| \frac{\partial \eta}{\partial S_1} * \Delta S_1 \right| \quad (9)$$

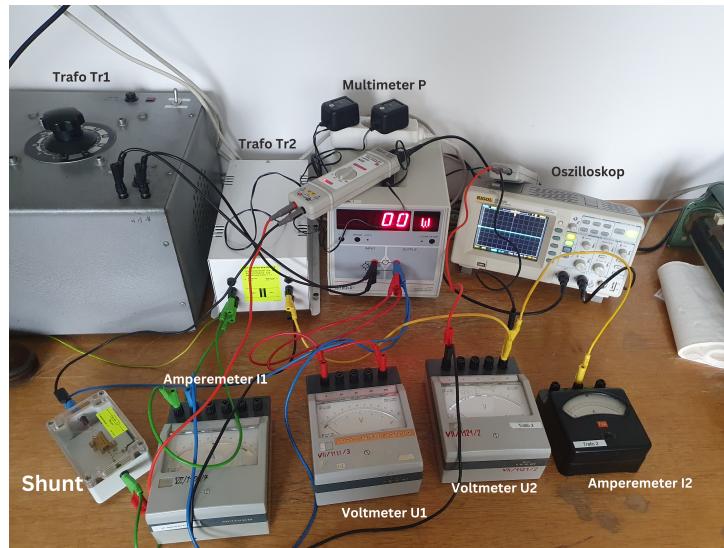
### 3 Versuchsanordnung

Das Herzstück des Versuches ist natürlich der Trafo, wobei bei diesem Experiment gleich zwei zum Einsatz kommen. Der gesamte Versuch basiert auf einer Grundschaltung, welche mit jedem Aufgabepunkt ein wenig erweitert wird.



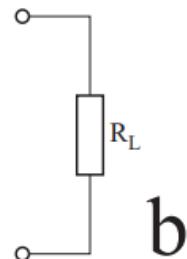
**Abb. 3:** Aufbau der Grundschaltung

In der Realität sieht der Aufbau wie folgt aus:

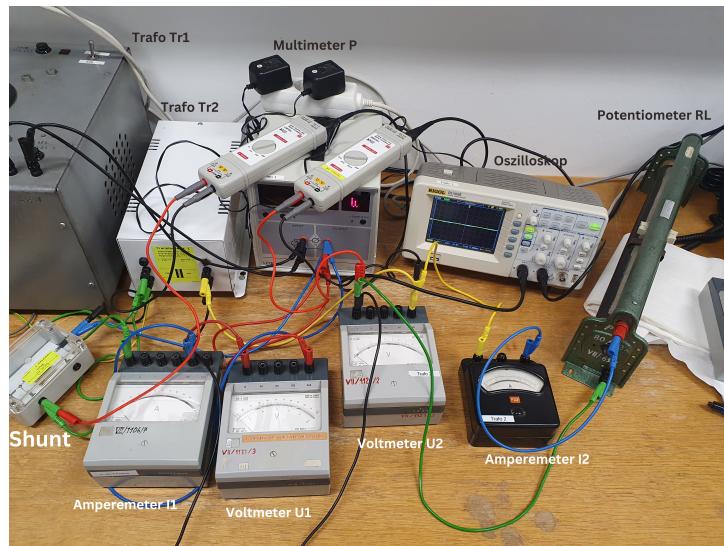


**Abb. 4:** Realer Aufbau der Grundschatzung

Im weiteren Verlauf des Experiments wurde die Schaltung nicht wie in Abbildung 4 im Leerlauf, sondern mit einem Lastwiderstand  $R_L$  betrieben. Dadurch konnte nun auch ein Verbraucherstrom  $I_2$  gemessen werden. Aufgebaut sieht der Versuch nun so aus:

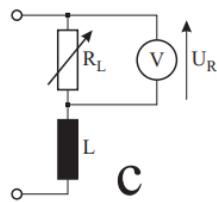


**Abb. 5:** Hinzugefügter Lastwiderstand

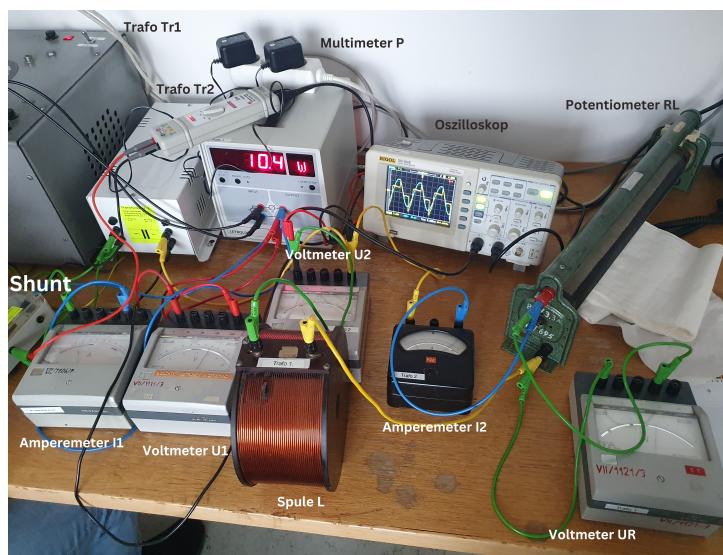


**Abb. 6:** Realer Aufbau mit Lastwiderstand

Für die letzte Erweiterung der Grundschaltung wurde nun noch eine Spule seriell an das Potentiometer angeschlossen. Weiters war nun ein weiteres Voltmeter zur Bestimmung der Spannung  $U_R$ , welche später für die Berechnung der Leistung  $P_2$  noch benötigt wird.



**Abb. 7:** Potentiometer und Spule als zusätzliche Verbraucher



**Abb. 8:** Realer Aufbau mit Potentiometer und Spule

## 4 Geräteliste

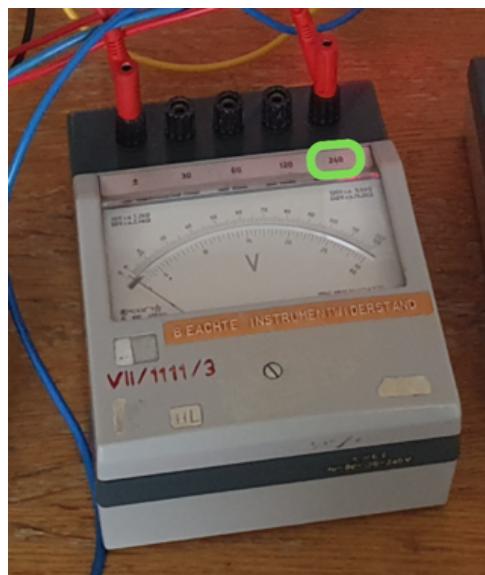
**Tab. 1:** Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerätenummer	Unsicherheit
Oszilloskop	n.a	n.a
Trafo Tr1	n.a	n.a
Trafo Tr2	n.a	n.a
Multimeter P	n.a	$\pm 0.001W$
Potentiometer	n.a	n.a
Shunt	n.a	n.a
Voltmeter U1	n.a	$\pm 0.5\% + 2$ digit
Voltmeter U2	n.a	$\pm 0.5\% + 2$ digit
Voltmeter UR	n.a	$\pm 0.5\% + 2$ digit
Amperemeter I1	n.a	$\pm 1.5\% + 2$ digit
Amperemeter I2	n.a	$\pm 0.5\% + 2$ digit
Spule	n.a	n.a

## 5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

### 5.1 Leerlauf

Zu Beginn des ersten Teiles des Versuches wurde die grundlegende Schaltung laut 3 aufgebaut und vom Betreuer kontrolliert. Wie in der Aufgabenstellung erwähnt befindet sich hier noch kein Lastwiderstand im System, weshalb kein Sekundärstrom  $I_2$  fließt. Sobald der Aufbau abgeschlossen war, wurde der Stromkreis durch einschalten des Trafo 1 geschlossen und es konnten alle benötigten Werte von den Messgeräten abgelesen werden. Hierbei galt noch zu Beachten, dass die angezeigten Werte der alten Volt- und Ampermeter nicht einfach zu übernehmen waren. Der Maximalwert der Skala war gleich dem Wert des jeweiligen Anschlusses (in Abbildung 9 grün markiert):



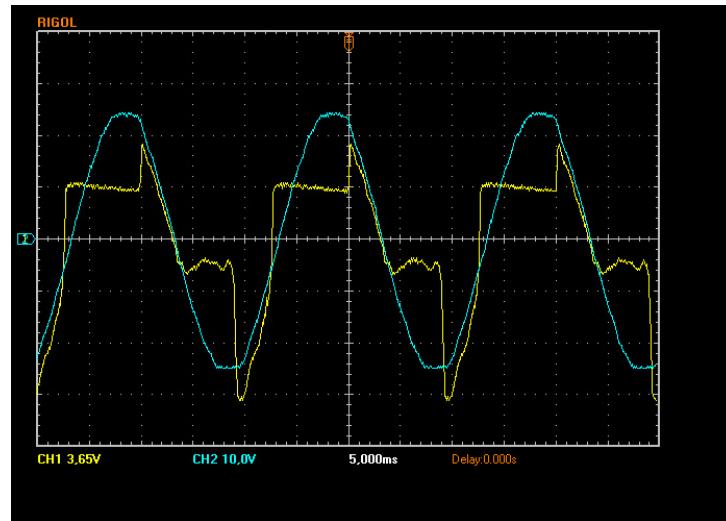
**Abb. 9:** Messgeräte Werte

Somit ergibt sich als Beispiel für dieses Voltmeter aus Abbildung 9 ein Maximalwert von 240V. Wenn der Zeiger also beispielsweise bei der Hälfte wäre, dann hätte die Spannung nicht wie beschriftet 60V, sondern 120V ( $\frac{240}{2}$ ). Diese Umrechnung wurde für die gemessenen Werte bei den jeweiligen Messgeräten bereits durchgeführt und nur die tatsächlichen Zahlen in die Tabelle eingetragen.

**Tab. 2:** Messwerte Leerlauf

Primärstrom $I_1$ / A	Primärspannung $U_1$ / V	Sekundärspannung $U_2$ / V	Wirkleistung $P_1$ / W
$0.17 \pm$	$160 \pm$	$17.25 \pm$	$6.9 \pm$

Die oszillographische Darstellung des Primärstromes und der Sekundärspannung werden in folgender Abbildung grafisch dargestellt.



**Abb. 10:** Oszillographische Darstellung Primärstromes und Sekundärspannung

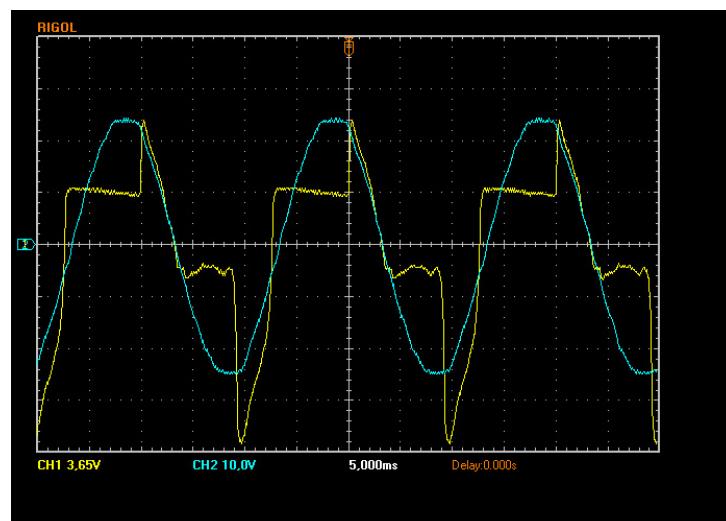
## 5.2 Ohm'sche Last sekundärseitig

Im nächsten Aufgabenteil wurde nun die Grundschaltung mit dem Potentiometer (Abbildung 5) erweitert. Nachdem die Schaltung wieder kontrolliert wurde, konnten die Werte mit dem selben System wie im vorherigen Punkt abgelesen und umgerechnet werden. Jedoch konnte nun auch der Sekundärstrom  $I_2$  bestimmt werden. Der Schieberegler des Potentiometers wurde dabei ungefähr auf die Mitte geschoben, was einem Widerstand von etwa 42 Ohm entspricht.

**Tab. 3:** Messwerte Ohm'sche Last

P. Strom $I_1$ / A	P. Spannung $U_1$ / V	Strom $I_2$ / A	S. Spannung $U_2$ / V	Wirkleistung $P_1$ / W
$0.195 \pm$	$160 \pm$	$0.64 \pm$	$17 \pm$	$17.9 \pm$

Die grafische Darstellung des Primärstromes und der Sekundärspannung mittels Oszilloskop sind in folgendem Bild ersichtlich.



**Abb. 11:** Oszillographische Darstellung Primärstromes und Sekundärspannung

### 5.3 Ohm'sche-induktive Last

Beim dritten Abschnitt des Versuches wird die Schaltung wieder etwas erweitert. Nun kommt zum Potentiometer noch eine Spule L (Abbildung 7) hinzu. Außerdem wird nun kein fester Widerstand am Potentiometer eingestellt, sondern dieser wird Schrittweise verschoben, sodass 22 Messungen entstehen. Weiters wurde zur späteren Bestimmung der Wirkleistung  $P_2$  die Spannung  $U_R$  am Potentiometer gemessen.

**Tab. 4:** Messwerte Ohm'sche und induktive Last

Nr.	$I_1 / A$	$U_1 / V$	$I_2 / A$	$U_2 / V$	$P_1 / W$	$U_R / V$
1	0.1800 ±	160 ±	0.22 ±	17.00 ±	10.4 ±	15.2 ±
2	0.1825 ±	160 ±	0.22 ±	17.00 ±	10.5 ±	15.2 ±
3	0.1850 ±	160 ±	0.23 ±	17.00 ±	10.6 ±	15.0 ±
4	0.1850 ±	160 ±	0.24 ±	17.00 ±	10.6 ±	15.0 ±
5	0.1885 ±	160 ±	0.24 ±	17.00 ±	10.7 ±	14.9 ±
6	0.1885 ±	160 ±	0.25 ±	17.00 ±	10.8 ±	14.8 ±
7	0.1885 ±	160 ±	0.25 ±	17.00 ±	10.8 ±	14.6 ±
8	0.1885 ±	160 ±	0.26 ±	17.00 ±	10.9 ±	14.4 ±
9	0.1875 ±	160 ±	0.27 ±	17.00 ±	11.0 ±	14.3 ±
10	0.1900 ±	160 ±	0.28 ±	17.00 ±	11.1 ±	14.1 ±
11	0.1900 ±	160 ±	0.29 ±	17.00 ±	11.3 ±	13.8 ±
12	0.1900 ±	160 ±	0.30 ±	17.00 ±	11.4 ±	13.6 ±
13	0.1925 ±	160 ±	0.32 ±	17.00 ±	11.5 ±	13.2 ±
14	0.1950 ±	160 ±	0.33 ±	17.00 ±	11.5 ±	13.0 ±
15	0.1950 ±	160 ±	0.34 ±	17.00 ±	11.6 ±	12.6 ±
16	0.1975 ±	160 ±	0.36 ±	17.25 ±	11.7 ±	12.2 ±
17	0.2000 ±	160 ±	0.38 ±	17.00 ±	11.8 ±	11.6 ±
18	0.2025 ±	160 ±	0.40 ±	17.00 ±	11.8 ±	11.0 ±
19	0.2050 ±	160 ±	0.42 ±	17.00 ±	11.7 ±	10.4 ±
20	0.2050 ±	160 ±	0.43 ±	17.00 ±	11.8 ±	10.0 ±
21	0.2100 ±	160 ±	0.45 ±	17.00 ±	11.7 ±	9.3 ±
22	0.2150 ±	160 ±	0.48 ±	17.00 ±	11.4 ±	8.0 ±

## 6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

### 6.1 Leerlauf

Mittels Formeln 4, 5 und 7 werden nun gemeinsam mit den gemessenen Werten aus Tabelle 2 die Scheinleistung  $P_{S1}$ , die Blindleistung  $P_{Q1}$  und der Leistungsfaktor  $\cos(\Phi)$  berechnet.

**Tab. 5:** Berechnungen Leerlauf

$P_{S1}$ / W	$P_{Q1}$ / W	$\cos(\Phi)$ /
27.2 ±	26.31 ±	0.25367 ±

## 6.2 Ohm'sche Last sekundärseitig

Auch hier sollen mit den Formeln 4, 5, 7, 6, 8 und 9 werden nun gemeinsam mit den gemessenen Werten aus Tabelle 3 die Scheinleistung  $P_{S1}$ , die Blindleistung  $P_{Q1}$ , der Leistungsfaktor  $\cos(\Phi)$ , die Verlustleistung  $P_V$ , die sekundärseitige Wirkleistung  $P_2$  und der Wirkungsgrad  $\eta$  berechnet.

**Tab. 6:** Berechnungen Leerlauf

$P_{S1}$ / W	$P_{Q1}$ / W	$\cos(\Phi)$ /	$P_V$ / W	$P_2$ / W	$\eta$ /
31.2 ±	25.5545 ±	0.5737 ±	7.02 ±	10.88 ±	0.39217 ±

## 6.3 Ohm'sche-induktive Last

Für den letzten Aufgabenpunkt soll nun ein Leistung-Lastwiderstand-Diagramm erstellt werden. Hierzu wird mittels Formel 8 und den gemessenen Werten zu jedem Widerstandswert aus Tabelle 4 die Leistung an den jeweiligen Potentiometerpositionen ermittelt. Außerdem wurde mittels Ohm'schen Gesetz  $R_{Pot} = U_R * I_2$  der eingestellte Widerstand am Potentiometer berechnet.

**Tab. 7:** Berechnete Werte für  $R_{Pot}$  und  $P_2$ 

Nr.	$R_{Pot}$ / Ω	$P_2$ / W
1	69.0909 ±	3.344 ±
2	69.0909 ±	3.344 ±
3	65.2174 ±	3.450 ±
4	62.5 ±	3.600 ±
5	62.0833 ±	3.576 ±
6	59.2 ±	3.700 ±
7	58.4 ±	3.650 ±
8	55.3846 ±	3.744 ±
9	52.963 ±	3.861 ±
10	50.3571 ±	3.948 ±
11	47.5862 ±	4.002 ±
12	45.3333 ±	4.080 ±
13	41.25 ±	4.224 ±
14	39.3939 ±	4.290 ±
15	37.0588 ±	4.284 ±
16	33.8889 ±	4.392 ±
<b>17</b>	<b>30.5263 ±</b>	<b>4.408 ±</b>
18	27.5 ±	4.400 ±
19	24.7619 ±	4.368 ±
20	23.2558 ±	4.300 ±
21	20.6667 ±	4.185 ±
22	16.6667 ±	3.840 ±

Die fett markierte Zeile ist jene mit der höchsten Leistung. Sie stellt weiters das Maximum in dem mit den Werten aus Tabelle ?? erstellten Leistung-Lastwiderstand-Diagramm dar.

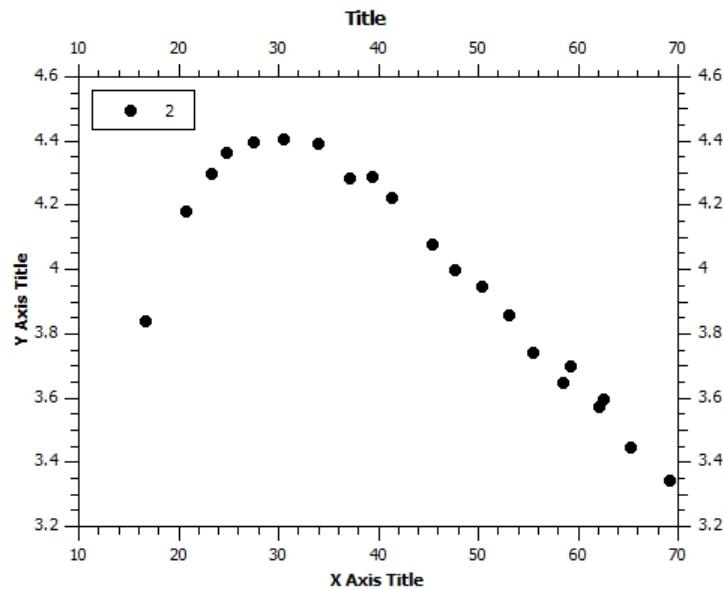


Abb. 12: Leistung-Lastwiderstand-Diagramm

## 7 Diskussion

## 8 Zusammenfassung

### 8.1 Leerlauf

### 8.2 Ohm'sche Last sekundärseitig

### 8.3 Ohm'sche-induktive Last

## Literatur

- [1] TU Graz TeachCenter. "Laborübungen 1: Mechanik und Wärme". Kurs: PHYD20UF. (besucht am 11.11.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=127>.