

Protokoll der Physikstunde vom 02.05.2002

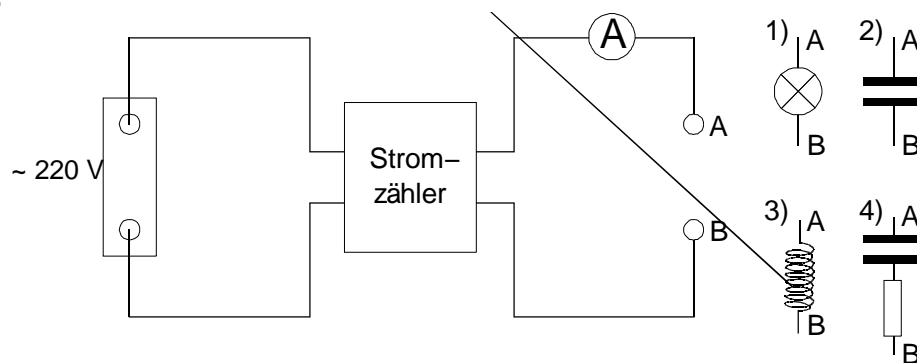
Protokollant: Alexander Rudyk

Die erste Stunde entfiel, da die Schüler in dieser Stunde Kursarbeiten schrieben. In der zweiten Stunde wurde mit einem Experiment mit einem Stromzähler, wie er auch in jedem Keller zur Erfassung der für die Berechnung der an den Energieversorger zu bezahlenden Gebühren nötigen Daten zum Einsatz kommt, begonnen. Vor dem Versuch hielten wir fest, dass ein sogenannter Stromzähler keineswegs den Strom, sondern die genutzte Energie zählt und meist in kWh angibt.

Bei dem in unserem Versuch genutzten Stromzähler entsprechen hierbei 600 Umdrehungen der Zählscheibe genau 1 kWh.

Versuch

Aufbau:



Als Spannungsquelle wird eine normale Steckdose genutzt, die uns 220 V Wechselspannung liefert. Wir setzen zwischen A und B als erstes 1) eine herkömmliche, für 220 V Wechselspannung ausgelegte Glühbirne ein und messen die Zeit, die nach Einschalten der Spannungsquelle vergeht, bis der Stromzähler eine Umdrehung hinter sich gebracht hat.

Anschließend setzen wir 2) einen Kondensator, 3) eine Spule und 4) einen Kondensator mit in Reihe geschaltetem Schiebewiderstand mit einem maximalen Widerstand von 320Ω statt der Glühbirne in die Schaltung ein und beobachten die Anzeige des Amperemeters und des Stromzählers. Den Widerstand schieben wir langsam vom minimalen auf den maximalen Widerstand hoch.

Beobachtung:

- 1) Wir messen 38,5s für eine Umdrehung des Stromzählers und konnten am Amperemeter eine nahezu gleichmäßige Stromstärke von 0,68 A ablesen.
- 2) Die Stromstärke bleibt auch hier bei etwas mehr als 0,6 A, es ist aber nahezu keinerlei Veränderung mehr an der Anzeige des Strommessers erkennbar.
- 3) Die Stromstärke wird auch hier vom Amperemeter mit etwa 0,65 A angegeben, der Stromzähler bewegt sich sehr langsam, aber deutlicher als in 2).
- 4) Die Stromstärke sinkt bei maximalem Widerstand ($R = 320 \Omega$) auf etwa 0,5 A und es

ist eine merkliche Bewegung des Stromzählers erkennbar, die unter der Geschwindigkeit in 1) bleibt, aber die Geschwindigkeiten bei 2) und 3) stark übersteigt. Verringern wir den Widerstand, steigt die Stromstärke, gleichzeitig verringert sich die Bewegung des Stromzählers.

Auswertung:

Mit den in 1) ermittelten Daten kann man einfach auf die Leistung der Glühbirne schließen: Wenn 600 Umdrehungen 1 kWh entsprechen und eine Umdrehung 38,5s dauert, ergibt sich:

- für die gemessene Energie nach einer Umdrehung:

$$\frac{1 \text{ kWh}}{600} = \frac{3,6 \cdot 10^6 \text{ kWs}}{600} = 6000 \text{ kWs}$$

- für die durchschnittliche Leistung im Messzeitraum:

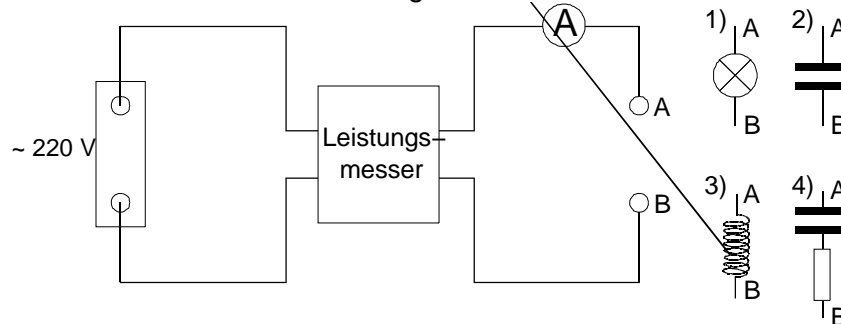
$$P_{\text{Glüh}} = \frac{6000 \text{ Ws}}{38,5 \text{ s}} \approx 156 \text{ W}$$

Der grob gemessene Wert stimmt damit erstaunlich gut mit der angegebenen Leistung der Glühbirne von 150 W überein.

Zur Auswertung der anderen teils erstaunlichen Ergebnisse greifen wir auf einen Leistungsmesser zurück, der uns eine präzise Auskunft über die Effektivleistung eines Stromkreises liefern kann.

Versuch

Wir greifen auf die schon im ersten Versuch gebrauchte Anordnung und Versuchsdurchführung zurück, ersetzen jedoch den einfachen aus dem eigenen Keller bekannten Stromzähler durch den Leistungsmesser:



Beobachtung:

- 1) Wir lesen am Amperemeter erneut 0,68 A ab, der Leistungsmesser zeigt uns 151 W an.
- 2) Auch nach Einsatz des Kondensators bleibt der Strom konstant auf etwa 0,6A. Der Leistungsmesser zeigt uns allerdings nur noch sehr geringe 3,5 W an.
- 3) Nach Einsatz der Spule lesen wir ebenfalls 0,6 A und immerhin 15 W ab.
- 4) Bei Einsatz des Widerstands mit dem Kondensator stellen wir fest, dass bei

steigendem Widerstand (durch Hochregeln des Schiebers) die Leistung erheblich ansteigt – bei vollen 320 Ω liegt die Leistung bei fast 90W – und gleichzeitig, wie zu erwarten, die Stromstärke auf unter 0,5 A abfällt.

Auswertung:

Für die Auswertung rekapitulieren wir die Gesetzmäßigkeiten für die Beziehung zwischen Leistung und Energie, wobei für die Leistung gilt:

$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

Die Energie lässt sich als Integral von P(t) darstellen:

$$W(t) = \int U(t) \cdot I(t) dt$$

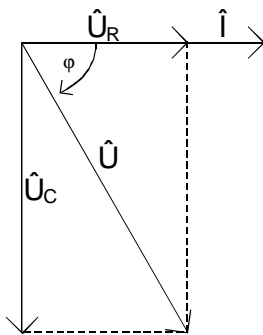
Der Leistungsmesser gibt uns dabei nicht wie diese Formel den momentanen Energiefluss an, sondern einen Effektivwert, einen durchschnittlichen Energiefluss über den Zeitraum T an:

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U(t) \cdot I(t) dt$$

Besonderere Aufmerksamkeit wurde bei unserer Analyse der Messung 2) und 4) zuteil, weil hier das sich schon im ersten Versuch andeutende Phänomen genauer zu erkennen ist: Aufgrund der Beziehung $P(t) = U(t) \cdot I(t)$ liegt es nahe zu vermuten, dass bei fallender Stromstärke und gleichbleibender Eingangsspannung die Leistung abfällt und nicht, wie bei 4) zu beobachten, ansteigt.

Wir stellen fest, dass der Grund für diese Auffälligkeit in der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke zu suchen ist. Die Gesamtspannung ist gegenüber der Stromstärke um den Winkel φ verschoben, also kann für die Leistungsbetrachtung eigentlich nur die am Widerstand abfallende Spannung, die mit der Stromstärke in Phase liegt, herangezogen werden – und die nimmt bei steigendem Widerstand nach den im Reihenschaltkreis geltenden Gesetzmäßigkeiten zu:

$$\bar{P} = I_{eff} \cdot U_{R eff}$$



Wir visualisieren diesen Zusammenhang am Zeigerdiagramm (links) und untersuchen dabei auch, ob es für das Zeigerdiagramm bedeutsam ist, ob dort die Effektiv- oder Maximalwerte abgetragen werden. Wir stellen fest, dass sich die Zeigerdiagramme in jedem Falle ähnlich sind, das mit den Effektivwerten erstellte Diagramm ist um den Faktor $\sqrt{2}$ kleiner.

Im Zeigerdiagramm kann man die Beziehung von $U_{R eff}$ und U_{eff} ablesen:

$$\cos \varphi = \frac{U_{R\text{eff}}}{U_{\text{eff}}}$$

Daraus folgt für die Leistung:

$$\bar{P} = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$$

Das bestätigt unsere Beobachtungen: Bei Einsatz eines reinen Kondensators beträgt die Phasenverschiebung 90° , damit ist $\cos \varphi = 0$ und damit auch die Leistung nahezu gleich null. Setzen wir einen Widerstand ein, der stark genug ist, wirkt dieser fast als reiner Widerstand, bei einem reinen Widerstand besteht aber keine Phasenverschiebung, damit ist $\cos \varphi = 1$ und es gilt wieder $P = U \cdot I$.

Obwohl in Fall 2) nur mit Kondensator in unserem Versuch also ein Effektivstrom von 0,6 A floss, wurde keine Energie aus dem Netz genommen: Sie ist vielmehr wie bereits erörtert "hin- und hergeschwappt". Da die Energieversorger nach dem Netz entnommener Energie berechnen, sind das Netz belastende, aber keine Einnahmen bringende Verbraucher unerwünscht. Deswegen finden sich in großen Firmen, die in großem Maße dafür anfällige Geräte wie etwa Elektromotoren einsetzen, eigene Messgeräte, die die Phasenverschiebung und den damit der Leistung voranstehenden Faktor $\cos \varphi$ messen. Fällt dieser Faktor zu stark ab, müssen zusätzliche Zahlungen an die Elektrizitätswerke entrichtet werden, deswegen sollte dieser Faktor immer einen möglichst hohen Wert behalten. Damit endete die Physikstunde, um diese Zusammenhänge weitergehend zu verinnerlichen, sollen wir als Hausaufgabe die entsprechenden Abschnitte des Buches durcharbeiten und dazugehörige Übungsaufgaben bearbeiten.