Protokoll zum Versuch 1
Oszilloskop

Tim Paehler Daniel Bühne Wolfram Catenhusen
Thiemo Sieger

1.Mai 1997

Inhaltsverzeichnis

1 Schematischer Aufbau des Oszilloskops

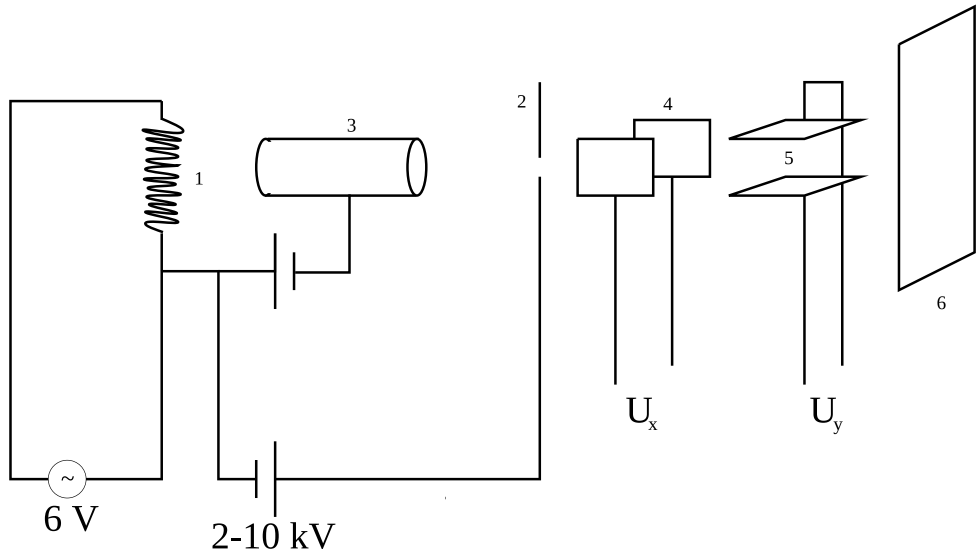

Abb. 1 Aufbau Oszilloskop

An einer Glühkathode (1) wird durch Anlegen einer negativen Spannung gegenüber der Anode (2) der Austritt von Elektronen hervorgerufen, die im evakuierten Raum durch das vorliegende E-Feld zur Kathode hin beschleunigt werden. Um dabei eine räumliche Fokussierung zu erreichen, wird zwischen Kathode und Anode ein negativ geladener Hohlzylinder, ein "Wehneltzylinder" positioniert.
Die auf diese Weise beschleunigten Elektronen können nun durch jeweils senkrecht zueinander stehenden Kondensatorplattenpaare (4 und 5) in ihrer ansonsten geradlinigen Bewegung abgelenkt werden. wobei die Ablenkung in der jeweiligen Richtung proportional zu der angelegten Spannung U_x bzw. U_y ist. Fängt man die Elektronen nun mit einem Bildschirm (6) auf, so läßt sich auf diese Weise ein Verhältnis der Spannungen U_x und U_y grafisch darstellen, was eine Vielzahl von interessanten Anwendungen erlaubt.
Neben der Darstellung von reinen Spannungsverhältnissen lassen sich mit einem Oszilloskop auch zeitabhängige Spannungsfunktionen $U(t)$ zeichnen. Dazu wird am Eingang der Spannung für die x-Komponente U_x ein Sägezahnsignal angelegt, welches sich in Frequenz und Amplitude regeln läßt.
Zusätzlich zu diesen Darstellungsmöglichkeiten verfügen viele Oszilloskope über eine Zweistrahl-Einstellung, die die Darstellung von 2 Spannungsfunk-

tionen in Abhängigkeit von der Zeit ermöglicht, also die gleichzeitige Darstellung von $U_x(t)$ und $U_y(t)$.

2 Versuche mit dem Oszilloskop

2.1 Untersuchung einer Wechselspannung

Problem: Eine Wechselspannung unbekannter Frequenz und Amplitude liegt vor.

In diesem Versuch untersuchen wir die durch einen Netztransformator erzeugte Wechselspannung. Dabei gehen wir von einer sinusförmigen Spannungskurve aus:

$$U(t) = U_0 \cdot sin(\omega t + \phi) \tag{1}$$

Um U_0 und ω zu bestimmen, schließen wir den Ausgang des Transformators an den U_y-Eingang des Oszilloskops an und messen zunächst die Auslenkung d auf dem Bildschirm. Aus ihr und der Angabe auf der Einstellungsanzeige errechnen wir damit U_0:

$$d = 1.8cm \qquad \Rightarrow \qquad U_0 = 1.8cm \cdot \frac{5V}{cm} = 9V \tag{2}$$

Bei dem Versuch, die Frequenz durch Ausmessen der Länge einer vollen Schwingung auf dem Schirm zu bestimmen, stellt sich uns zunächst das Problem, daß die Schwingung aufgrund der Frequenzdifferenz zum Zeitachsen-Sägezahn eine Bewegung auf dem Bildschirm vollführt. Abhilfe schafft der für diese Zwecke geschaffene Trigger-Mechanismus: Eine neue Periode des Sägezahns wird dabei erst dann eingeleitet, wenn die Spannung im y-Eingang einen bestimmten Schwellenwert, über- oder unterschreitet. Dadurch werden die Frequenzen der beiden Signale synchronisiert und es erscheint ein stehendes Bild auf dem Monitor des Oszilloskops.

Wir schalten nun also den Triggermechanismus auf dem y-Eingang ein und messen die Länge einer vollen Schwingung, woraus wir dann die Periode τ und die Frequenz f der Schwingung berechnen:

$$\tau = 4.2cm \cdot \frac{5ms}{cm} = 21ms \qquad \Rightarrow \qquad f = 47,6Hz \tag{3}$$

Die experimentell ermittelten Größen decken sich dabei in etwa mit den erwarteten Werten $f = 50Hz$ und $U_0 = 6 \cdot \sqrt{2}V = 8,49V$.

2.2 Untersuchung von Schwingkreiselementen im Wechselstromkreis

Problem: Das Verhalten von Strom und Spannung in einem Wechselstromkreis soll untersucht werden. Dabei möchte man z.B. die Kapazität eines Kondensators aus den mit dem Oszilloskop gemessenen Werten ermitteln.

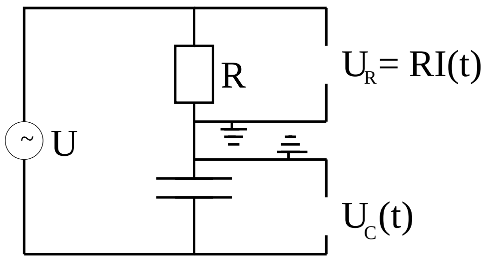

Abb. 2 Wechselstromkreis

Wir bauen nun eine Schaltung nach Abb. 2 auf und schließen die beiden Spannungsausgänge an das Oszilloskop. Dabei verwenden wir das Oszilloskop im Zweistrahl-Modus, um etwas über die Phasenbeziehungen von Spannung und Strom zu erfahren.
Um eine Vorhersage über das Verhalten von Strom und Spannung zu treffen, betrachten wir zunächst die Kapazitätsgleichung für einen Kondensator:

$$Q = C \cdot U_C \tag{4}$$
$$\Rightarrow \dot{Q} = I = C \cdot \dot{U_C} \tag{5}$$
$$\Rightarrow U_C = \int_0^t I(t')dt' \tag{6}$$

Nimmt man also etwa die Spannung U_C als sinusförmig an, dann würde der Strom I in einem Diagramm mit derselben Zeitachse einen Cosinus beschreiben:

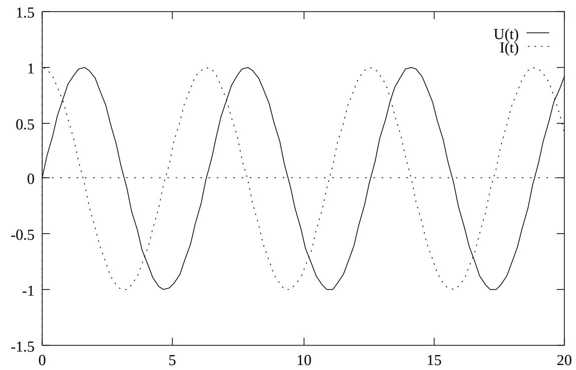

Abb. 3 Phasendiagramm

Wir geben damit die folgende Vorhersage ab:

Die Spannung U "hinkt" dem Strom I um $\frac{\pi}{2}$ hinterher.

Wie aus dem Schaltungsaufbau hervorgeht, messen wir nicht I direkt, sondern - da wir mit dem Oszilloskop nur Spannungen messen können - die an einem Widerstand R abfallende Spannung U_R, die jedoch aufgrund des ohmschen Gesetz proportional zu I ist.
Das Bild auf dem Oszilloskop zeigt nun eine Phasenverschiebung um $-\frac{\pi}{2}$ bzw. $\frac{3\pi}{2}$ an, was zunächst zu der Theorie im Widerspruch zu stehen scheint. Betrachtet man jedoch das Schaltbild in Abb. 2, so erkennt man, daß die Erdung des Widerstandes und des Kondensators derart vorgenommen wurde, daß man die Spannung am Kondensator U_C mit entgegengesetzter Polung, also mit einer Phasendifferenz von 180^o mißt. Berücksichtigt man diese Verschiebung, so bestätigt das Experiment die Theorie.

Wir wollen nun die Kapazität C des Kondensators aus U_R und U_C berechnen. Dazu betrachten wir zunächst die komplexe Darstellung eines kapazitiven Widerstandes:

$$Z_C = \frac{1}{i\omega C} \qquad \Rightarrow \qquad |Z_C| = \frac{1}{\omega C} \tag{7}$$

Weiterhin gilt:

$$\frac{\hat{U}_C}{\hat{U}_R} = \frac{|Z_C|}{R} \tag{8}$$

Daraus folgt durch Einsetzen:

$$C = \frac{1}{\omega R} \cdot \frac{\hat{U}_R}{\hat{U}_C} \tag{9}$$

Dabei haben wir direkt die Scheitelspannungen $\hat{U}$ als Meßwerte angesetzt, der Faktor $\sqrt{2}$ gegenüber der effektiven Spannung U_{eff} kürzt sich im obigen Bruch heraus.

Wir verwenden einen Widerstand mit $R = 10 \cdot (1 \pm 10\%) k\Omega$, auf dem Oszilloskop lesen wir daraufhin folgende Werte ab:

$$\hat{U}_R = 2.8(1 \pm 3.5\%)V \tag{10}$$
$$\hat{U}_C = 3.6(1 \pm 1.5\%)V \tag{11}$$

Daraus ergibt sich für C:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 50\frac{1}{s} \cdot 10(1 \pm 10\%)k\Omega} \cdot \frac{2.8(1 \pm 3.5\%)V}{3.6(1 \pm 1.5\%)V} \tag{12}$$
$$= 247,7(1 \pm 15\%) \cdot 10^{-9} F \tag{13}$$

Dies entspricht nur ungefähr dem auf dem Kondensator angegebenen Wert von $C = 100nF$, offenbar ist entweder dieser Wert mit einem hohen Fehler behaftet, oder ein systematischer Fehler wurde nicht erkannt und ausgeschlossen.

2.3 Differenzier- und Integrierschaltungen

Problem: Man möchte die Ableitung oder das Integral einer bestimmten Spannungskurve darstellen.

Da im Mathematik- und Physikunterricht der Oberstufe der Begriff der Ableitung und des Integrals einer Funktion von entscheidender Bedeutung ist, dürfte eine grafische Darstellung zu diesem Thema mit einfachen elektronischen Bauteilen ein interessanter Versuch sein.
Wir schließen dazu einen Frequenzgenerator an eine der in Abb. 4 dargestellten Schaltungen an.

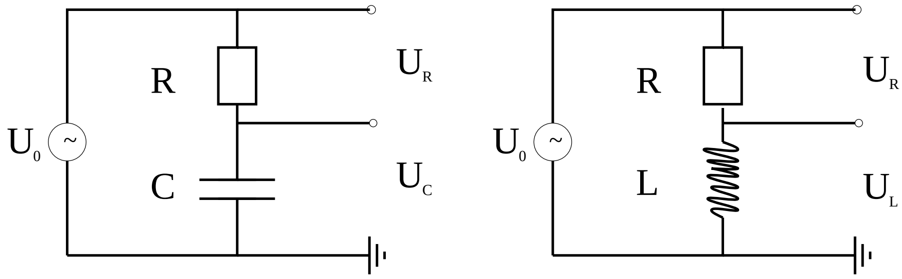

Abb. 4 Differenzier- und Integrierschaltung

Betrachtet man nun U_0 in der Fourierdarstellung, so gilt:

$$U_0 = \sum_{k=0}^{\infty} U_k e^{i(\omega_k t+\delta_k)} \tag{14}$$

$$\Rightarrow \int U_0 dt = \sum_{k=0}^{\infty} U_k \frac{1}{i\omega_k} \cdot e^{i(\omega_k t+\delta_k)} \tag{15}$$

Berechnet man nun über die komplexe Fortsetzung des Ohmschen Gesetz die Spannung am Kondensator U_C, so ergibt sich nach einigen Umformungen:

$$U_C = -\sum_{k=0}^{\infty} \frac{U_k e^{i(\omega_k t+\delta_k - arctan R\omega_k C)}}{\sqrt{1+R^2\omega_k^2 C^2}} \tag{16}$$

$$\tag{17}$$

womit sich für $R\omega_1 C >> 1$ (ω_1: Kreisfrequenz der langsamsten Teilschwingung) ergibt:

$$U_C = -\sum_{k=0}^{\infty} \frac{iU_k e^{i(\omega_k t+\delta_k)}}{R\omega_k C} \tag{18}$$

$$= \frac{1}{RC}\sum_{k=0}^{\infty} \frac{U_k e^{i(\omega_k t+\delta_k)}}{i\omega_k} \tag{19}$$

$$= \frac{1}{RC}\int U_0 dt \tag{20}$$

Damit stellt (bei geeigneter Wahl von R und C) U_C das zeitliche Integral der Eingangsspannung U_0 dar, was sich mit einem Oszilloskop experimentell verdeutlichen läßt.
Analog gilt für die Integrierschaltung:

$$U_L = \frac{L}{R}\frac{dU_0}{dt} \tag{21}$$

womit sich in obiger Schaltung die Ableitung der Spannungsfunktion U_0 durch Abgriff von U_L auf dem Oszilloskop darstellen läßt.