

331 - Oszilloskop

Das Oszilloskop ist ein unentbehrliches Messgerät in der Elektronik und in weiten Bereichen der Wissenschaft sowie eine grundlegende Komponente vieler moderner Messgeräte. Mit seiner Hilfe kann der zeitliche Verlauf elektrischer Signale dargestellt werden, und man kann darüber hinaus auch beliebige andere Vorgänge, welche sich in elektrische Signale umwandeln lassen, verfolgen. Für den folgenden Versuch steht ein kombiniertes Gerät (digital und analoge Anzeigemöglichkeit) zur Verfügung. Für ein grundlegendes Verständnis wird aber der rein analoge Teil verwendet.

1. Aufgaben

- 1.1 Stellen Sie eine sinusförmige Wechselspannung dar ($f > 1000$ Hz) und zeichnen Sie die Kurve ab (Achsenbeschriftung!). Messen Sie Amplitude und Periodendauer und berechnen Sie daraus Effektivwert und Frequenz! Führen Sie für alle Werte (U_0 oder U_{SS} , T , U_{eff} und f) eine Fehlerbetrachtung durch.
- 1.2 Messen Sie an einem RC-Tiefpass für 3 unterschiedliche Frequenzen (>100 Hz, > 1000 Hz und > 10000 Hz) einer sinusförmigen Wechselspannung Amplitude und Phasenverschiebung. Vergleichen Sie die Phasenverschiebung jeweils mit dem Theoriewert!
- 1.3 Bestimmen Sie die Phasenverschiebung für eine Frequenz von ca. 1050 Hz mittels Lissajous-Figur.
- 1.4 Verwenden Sie anschließend ein Rechtecksignal (Frequenzen entsprechend Aufgabe 1.2). Skizzieren Sie jeweils die Signalform von Ein- und Ausgangssignal und begründen Sie diese kurz.
- 1.5 Nehmen Sie die nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinie einer LED (siehe Versuch 307) auf. Stellen Sie die Kennlinie grafisch dar (Achsenbeschriftung!).

2. Grundlagen

Stichworte:

harmonische Schwingung, Wechselspannung, Ohmsches Gesetz, Spannungsteiler, Tiefpass, Hochpass, Lissajous-Figur, Oszilloskop, Elektronenstrahlröhre

2.1 Aufbau und Wirkungsweise

Der wichtigste Bestandteil des Oszilloskops ist die so genannte Braunsche Röhre, in der Elektronen aus einer geheizten Katode austreten, durch eine hohe Spannung beschleunigt und auf einem Leuchtschirm sichtbar gemacht werden. In der Röhre sind verschiedene Elektroden angebracht, an die eine Spannung angelegt werden kann. Dadurch erfolgt eine Ablenkung des Elektronenstrahls. Da der Strahl nahezu trägheitslos auf Änderungen der angelegten Spannung reagiert, liegt die Stärke des Oszilloskops im Vergleich zu anderen Messinstrumenten vor allem in der Darstellung schnellveränderlicher oder periodischer Signale. Es ergeben sich dabei grundsätzlich zwei Messmöglichkeiten:

- Unter Verwendung des im Oszilloskop vorhandenen Sägezahn-Generators für die X-Auslenkung kann der zeitliche Verlauf einer am Y-Eingang (z.B. CH1) anliegenden Spannung sichtbar gemacht werden.
- Beim gleichzeitigen Anlegen zweier Spannungen (z.B. CH1 und CH2) kann das Zusammenspiel (Überlagerung, z.B. Lissajous-Figuren) beider Signale beobachtet werden.

Abhängig vom Gerät und konkreten Messaufgaben sind mehrere Variationsmöglichkeiten gegeben, z.B. die gleichzeitige Darstellung des Zeitverlaufs zweier oder mehrerer Signale (zwei Y-Eingänge: CH1 und CH2, oder vier Y-Eingänge) oder die Zeitablenkung mit Hilfe eines äußeren Signals (X-Eingang CH1 oder CH2, externe Triggerung).

Detaillierte Hinweise zu den Einstellungen des Oszilloskops finden Sie im Anhang 1 dieser Versuchsanleitung.

2.2 Darstellung einer Wechselspannung

Die einem Generator entnommene Wechselspannung wird an den Eingang CH1 des Oszilloskops gelegt und das Oszilloskop auf automatische Triggerung eingestellt. Durch geeignete Wahl von Y-Verstärkung und Zeitmaßstab der X-Ablenkung kann ein stehendes Bild des Signals (eine oder einige wenige Perioden) erzeugt werden.

Allgemein wird eine harmonische (reine) Schwingung durch folgende Gleichung beschrieben:

$$U = U_0 \cdot \sin(2\pi f \cdot t + \varphi) \quad (1),$$

wobei U ... der Spannungswert zur Zeit t , U_0 ... die Amplitude, f ... die Frequenz, t ... die Zeit und φ ... ein Phasenwinkel ist, der eine Verschiebung des Sinussignals auf der X-Achse (gegenüber einem Zeitpunkt $t = 0$) bedeutet.

Aus der Darstellung einer Sinusschwingung (Bild 1: Beispiel mit $f = 1$ kHz und $\varphi = 0$) können unmittelbar die Periodendauer T und damit die Frequenz $f = 1/T$ sowie die Amplitude U_0 abgelesen werden.

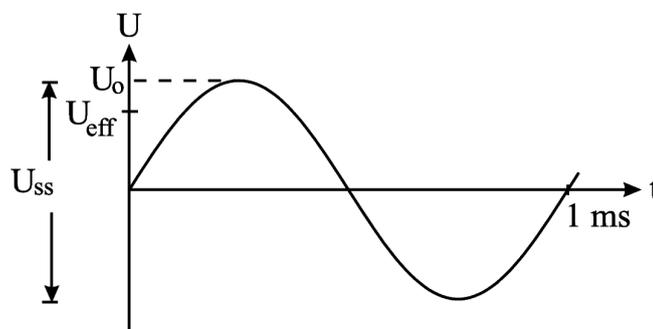


Bild 1: Sinusschwingung mit Periodendauer $T = 1$ ms. U_{ss} ist der (Amplituden-)Spitze-Spitze-Spannungswert ($= 2 \cdot U_0$) und U_{eff} charakterisiert die Effektivspannung.

Die vergleichbare, mit einem (analogen oder digitalen) Voltmeter messbare Effektivspannung U_{eff} ist kleiner als die Spitzenspannung U_0 . Die Effektivspannung berechnet sich aus der, über die Schwingungsperiode gemittelten, Leistung (vgl. Anhang 2). Es gilt:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{U_{\text{ss}}}{2\sqrt{2}} \quad (2).$$

2.3 Lissajous-Figuren

Lissajous-Figuren entstehen, wenn zwei sinusförmige Wechselspannungen an die senkrecht zueinander stehende Ablenkplatten angelegt werden. Es gilt:

$$\begin{aligned} U_x(t) &= A \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \\ U_y(t) &= B \cdot \sin(\omega_2 \cdot t + \varphi) \end{aligned} \quad (3).$$

Der Leuchtfleck beschreibt unter dem Einfluss der beiden Wechselspannungen verschlungene Kurvenbilder, die sogenannten Lissajous-Figuren. Diese Figuren sind also das Ergebnis der Überlagerung zweier senkrecht zueinander stehenden Schwingungen. Im einfachsten Fall (beide Wechselspannungen haben die gleiche Frequenz) entsteht dabei eine Ellipse bzw. bei geeigneter Phasendifferenz ein Kreis oder eine schrägliegende Gerade. Ist das Frequenzverhältnis der beiden Wechselspannungen ganzzahlig, so sieht man auf dem Bildschirm charakteristische geschlossene Figuren (vgl. Anhang 4).

2.4 RC - Tiefpass

Ein Tiefpass ist eine elektronische Schaltung, die ein am Eingang der Schaltung angelegtes Wechselspannungssignal in Abhängigkeit von dessen Frequenzen so beeinflusst, dass niedrige Frequenzen die Schaltung am Ausgang mit geringer Amplitudendämpfung und Phasendrehung passieren. Dagegen werden hochfrequente Eingangssignale beim Durchlaufen der Schaltung bezüglich ihrer Amplitude stark geschwächt. Gleichzeitig entsteht dabei eine Phasendifferenz zwischen dem (geschwächten) Ausgangssignal U_C und dem Eingangssignal U_E . Eine einfache Spannungsteilerschaltung (vgl. Anhang 3) aus einem Widerstand R und einer Kapazität C besitzt eine solche Eigenschaft und wird als RC -Tiefpass bezeichnet (Bild 2). Die Generatorspannung U_E liegt über der Reihenschaltung von R und C an. Die Ausgangsspannung U_C wird am Kondensator abgegriffen und auf den Eingang CH2 des Oszilloskops gelegt. An den zweiten Eingang CH1 legt man die Generatorspannung U_E zum Vergleich. Durch die Wahl des *DUAL*-Modes werden beide Spannungen gleichzeitig gezeigt.

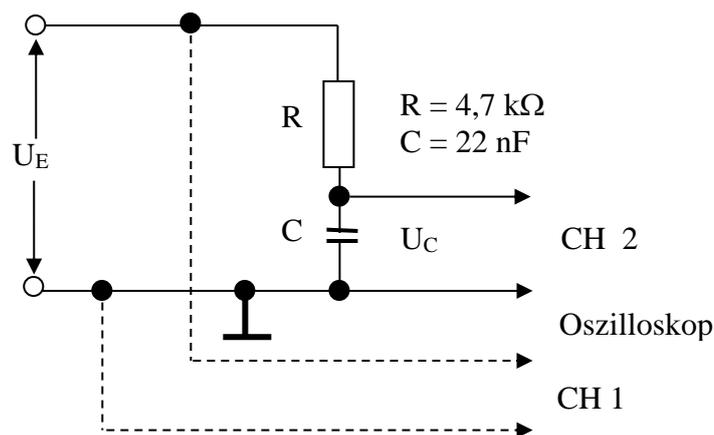


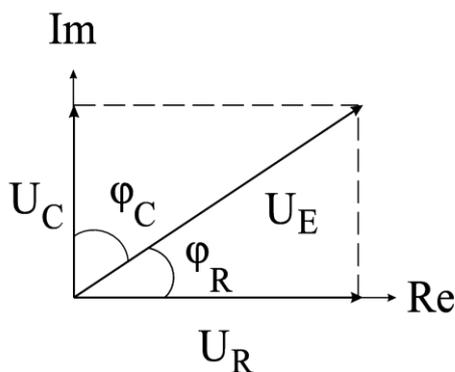
Bild 2: Schaltung zur Bestimmung der Phasenverschiebung eines RC -Tiefpasses.

Da beide Kanäle des Oszilloskops ein gemeinsames Grundpotential („Masse“ oder „GND“, „ground“) besitzen, müssen diese bei der gleichzeitigen Spannungsmessung am gleichen Knotenpunkt in der Schaltung anliegen (dick schwarz gezeichnet).

2.5 Amplitude und Phase an Hoch- und Tiefpass bei sinusförmigen Signalen

Die Tiefpasseigenschaften der Spannungsteilerschaltung (Bild 2) entstehen dadurch, dass sich der Blindwiderstand des Kondensators (Betrag: $1/\omega C$) mit der Frequenz ändert (nimmt mit steigender Frequenz ab) während die Größe des ohmschen Widerstandes R unverändert bleibt. Dadurch ändert sich das Spannungsteilverhältnis. Bei tiefen Frequenzen ($1/\omega C > R$) fällt der Hauptteil der Eingangsspannung an C (großer Widerstand) ab, während die Spannung am (kleinen) Widerstand R nur gering ist, bei hohen Frequenzen $1/\omega C < R$ ist es umgekehrt. Schickt man also ein Frequenzgemisch, z.B. Musik, als Eingangsspannung auf die RC -Kombination und greift sich die Spannung über C zur weiteren Verstärkung heraus, so werden am Ende hauptsächlich die tiefen Töne zu hören sein (Tiefpass). Wird das Signal an R abgegriffen, so passiert genau das Gegenteil (Hochpass). Man hat damit eine einfache Form der Klangregelung realisiert. In analoger Weise können hochfrequente Störsignale mit einem Tiefpass z.B. aus einem EKG - Messsignal herausgefiltert werden.

Da der Widerstand des Kondensators eigentlich ein „Blindwiderstand“ ist ($1/i\omega C$) müssen die zugehörigen Rechnungen mit komplexen Zahlen erfolgen. Prinzipiell lassen sich die Verhältnisse am Spannungsteiler aber bereits grafisch durch vektorielle Addition in der komplexen Zahlenebene veranschaulichen (Bild 3). Hier ist U_E die Eingangsspannung, U_R die Spannung am Widerstand (auf der reellen Achse) und U_C die Spannung am Kondensator (auf der imaginären Achse). Die Beträge (Amplituden) addieren sich wie im rechtwinkligen Dreieck:



$$U_E^2 = U_R^2 + U_C^2$$

Die Phasendifferenzen zwischen Eingang und Widerstand (φ_R) sowie Eingang und Kondensator (φ_C) errechnen sich nach:

$$\varphi_R = \arctan (U_C/U_R) = \arctan (1/\omega CR)$$

$$\varphi_C = \arctan (U_R/U_C) = \arctan (-\omega CR).$$

Bild 3: Zeigerdiagramm.

2.6 Verhalten bei nicht sinusförmigen Signalen

Wird ein Kondensator mit einer sprunghaften Änderung der Eingangsspannung (wie sie z.B. bei Rechtecksignalen auftritt) belastet, benötigt er eine gewisse Zeit, um sich aufzuladen. Während dieser Zeit fließt ein mit der Zeit exponentiell abnehmender Ladestrom, die Spannung am Kondensator steigt an. Wird die Eingangsspannung abgeschaltet, bzw. umgepolt entlädt sich der Kondensator mit einer entsprechenden Zeitkonstante τ . Diese Zeitkonstante hängt von der Größe der Kapazität C und eines z.B. in Reihe oder parallel geschalteten Widerstandes R ab.

$$\tau = C \cdot R$$

Die inverse Größe $1/\tau$ wird als Grenzfrequenz f_G dieser Schaltung bezeichnet.

$$f_G = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{R \cdot C}$$

Diese Zeitkonstante spielt auch bei der Beschreibung von Auf- bzw. Entladeprozessen einer Zellmembran eine entscheidende Rolle und wird mit den Ersatzschaltbildern in Bild 4 a) und b) beschrieben. Sowohl die Reihen- als auch die Parallelschaltung von Kondensator und Widerstand besitzen dabei die gleiche Zeitkonstante τ !



Bild 4: Ersatzschaltbild einer Zellmembran als a) Reihen- und b) als Parallelschaltung einer Kapazität C und eines Widerstandes R.

Am Oszilloskop kann man entsprechende Auf- und Entladekurven mit exponentiellem zeitlichen Verlauf sichtbar machen.

Allgemeiner lassen sich alle nicht sinusförmige Signale, z.B. rechteckförmige, durch Superposition auf sinusförmige Signale mit unterschiedlichen Amplituden und Frequenzen zurückführen. Die in 2.5 behandelten Schaltungen beeinflussen aber Signale mit unterschiedlichen Frequenzen unterschiedlich stark. So werden beim Tiefpass hochfrequente Signale mit steigender Frequenz stärker gedämpft, als niederfrequente. Eine Superposition der einzelnen Komponenten von nichtsinusförmigen Signalen nach einem Tiefpass kann dazu führen, dass sich die Signalform stark verändert. So wird z.B. aus einem Rechtecksignal ein dreieckförmiges Signal, natürlich mit stark reduzierter Amplitude. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Tiefpass als Integrierglied für Frequenzen größer als die sogenannte Grenzfrequenz, da die mathematische Funktion des Tiefpasses hier der zeitlichen Integration des Eingangssignales entspricht. In völlig analoger Weise lässt sich mit einem Hochpass eine Ableitung (Differentiation) des Eingangssignals bei Frequenzen kleiner als die Grenzfrequenz erreichen.

2.7 Kennlinienaufnahme eines Bauelementes

Eine weitere wichtige Einsatzmöglichkeit eines Oszilloskops besteht in der Aufnahme von Strom-Spannungskennlinien (I-U-Kennlinie) im *X-Y-Betrieb*. Da mit einem Oszilloskop nur Spannungen gemessen werden können, muss der zu messende Strom durch die LED dabei in ein Spannungssignal gewandelt werden. Dazu wird die Beziehung im ohmschen Gesetz genutzt, dass bei bekanntem Widerstand der zu messende Strom auch aus der gemessenen Spannung über diesem Widerstand errechnet werden kann. Idealerweise wird der Vorwiderstand aus Versuch 307 genutzt, dieser darf den Wert von 200Ω nicht unterschreiten.

Die entsprechende (komplexere) Schaltung ist in Bild 5 dargestellt. Damit kann der Strom auf der Y-Achse (CH2) und die Spannung auf der X-Achse (CH1) dargestellt werden.

Für das fehlerfreie Funktionieren müssen die unterschiedlichen Potentiale der einzelnen Geräte berücksichtigt werden. Die Schaltung wird mit einem „massefreien“ Frequenzgenerator gespeist ($f = 50 \text{ Hz}$, regelbare Spannung, siehe Anhang). Auch hier ist es wichtig, dass beide Kanäle des Oszilloskops bei der gleichzeitigen Spannungsmessung am **gleichen** Knotenpunkt

(dick schwarz gezeichnet) in der Schaltung anliegen. Dieser Potentialpunkt befindet sich jetzt zwischen den beiden Bauelementen. So wird ein Kurzschluss von Widerstand oder LED verhindert.

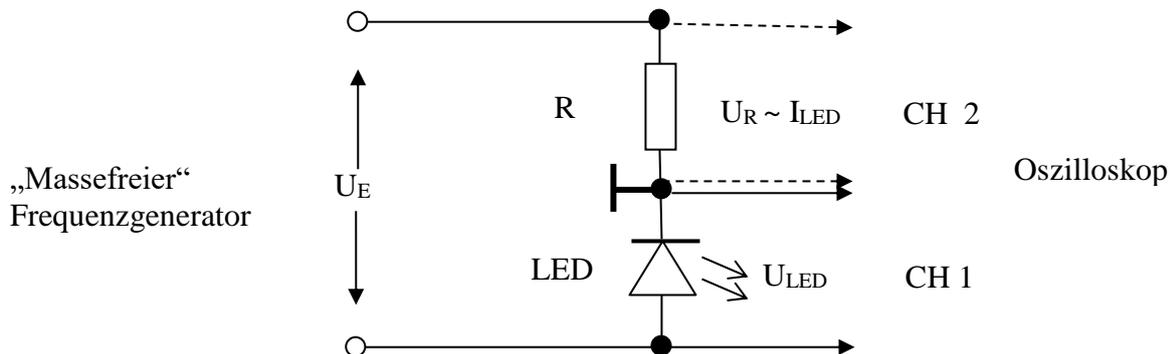


Bild 5: Schaltung zur Aufnahme einer I - U - Kennlinie

3. Versuchsdurchführung

3.1 (zu 1.1)

Das Signal des Frequenzgenerators HM8030-6 wird an den Eingang CH1 (21) des Oszilloskops angelegt. Da wir für Aufgabe 1 und 2 den DUAL-Betrieb nutzen können, wird dieser für beide Aufgaben eingestellt [25]+[5]. In diesem Mode werden die Signale an beiden Eingänge CH1 [21] und CH2 [26], der bei dieser Messaufgabe Aufgabe nicht angeschlossen wird, gleichzeitig dargestellt. Die Frequenz der Wechselspannung soll in der Größenordnung von 1 kHz liegen, optimaler Weise 1050 Hz (siehe Anhang 5, Frequenzgeneratoren). Nach dem Erzeugen eines geeigneten Bildes auf dem Oszilloskop (durch geeignete Wahl der Zeitablenkung in X-Richtung [29] und der Spannungsverstärkung in Y-Richtung [23]) wird Amplitude, Spitzenspannung und Periodendauer bestimmt und das Bild auf Millimeterpapier übertragen. Die Achseneinteilungen ergeben sich aus den eingestellten Werten für den Zeitmaßstab in X-Richtung (z.B. ms/cm) und die Y-Verstärkung (z.B. V/cm)! Die Berechnung des Effektivwertes U_{eff} aus der abgelesenen Amplitude U_o erfolgt mit Gl.(2). Vergleichen Sie den Kehrwert der Periodendauer mit der eingestellten Frequenz!

3.2 (zu 1.2)

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 2 auf. Das Eingangssignal U_E wird vom Generator über ein T-Stück (Verzweiger) wieder an den Eingang CH1 [21] und an den Eingang der Reihenschaltung gelegt. Das am Kondensator abgegriffene Signal U_C wird an den Eingang CH2 [26] gelegt. Dazu werden spezielle Kabel verwendet, die eine BNC – Buchse (siehe Anhang) für den Anschluss am Oszilloskop sowie zwei Anschlüsse für die Kontaktierung in der Schaltung besitzen. Beachten Sie dabei, dass am Potentialpunkt „Masse“ (dicke Markierung in Bild 2) sich auch die Abgriffe für die Massepotentiale **beider** Leitungen befinden (schwarze Zuleitungen). Durch die schon in Aufgabe 1 verwendete Darstellung im DUAL-Mode werden beide Spannungssignale gleichzeitig abgebildet. Beachten Sie, dass über die Regler zur Spannungsverstärkung [23] und [28] beide Signale **unabhängig** voneinander verstärkt werden können.

Stellen Sie am Frequenzgenerator drei unterschiedliche Frequenzen (z.B. 105 Hz, 1050 Hz und 10,5 kHz), ein und messen Sie Amplitude, Periodendauer und Phasenverschiebung von U_E und U_C . Die theoretisch zu erwartende Phasenverschiebung kann mit Gl.(4) berechnet werden:

$$\varphi = \arctan(2\pi \cdot f \cdot RC) \quad (4).$$

Die Messung der Phasenverschiebung erfolgt durch ein Doppel-Oszillogramm. Indem die Zeitdifferenz t zwischen den Nulldurchgängen gemessen und mit der Dauer einer vollen Periode T verglichen wird, erhält man die Phasendifferenz φ :

$$\frac{t}{T} = \frac{\varphi}{360^\circ} \quad (5).$$

Vergleichen Sie Ihre Messung nach Gleichung 5 mit der Theorie (Gleichung 4). Prüfen Sie nach, ob durch den Unterschied der Amplituden bei unterschiedlichen Frequenzen die Tiefpasseigenschaften der Schaltung bestätigt werden.

3.3 (zu 1.3)

Stellen Sie nochmals eine Frequenz von 1050 Hz ein und schalten dann das Oszilloskop auf den *X-Y-Betrieb* [25]+[7] um. Werten Sie die entstandene Lissajous-Figur entsprechend Gleichung 13 bzw. 14 (siehe Anhang 4) zur Bestimmung der Phasenverschiebung aus. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen aus Aufgabe 1.2

3.4 (zu 1.4)

Schalten Sie das Oszilloskop wieder auf Zweikanalbetrieb *Dual* [25]+[7] um. Durch mehrfaches Betätigen des Schalters zur Auswahl der Signalform am Frequenzgenerator wird von sinusförmiger auf rechteckförmige Wechselspannung umgestellt. Die entsprechenden Frequenzen werden analog zu denen in Aufgabe 1.2 eingestellt. **Skizzieren** Sie die Signalform (Eingangssignal und Ausgangssignal jeweils in einer Skizze) im Protokoll und begründen Sie den beobachteten Verlauf kurz.

3.5 (zu 1.5, Aufgabe nach Absprache mit Assistenten)

Nehmen Sie die Strom-Spannungskennlinie eines nichtlinearen Bauelementes mit dem Oszilloskop auf. Bauen Sie dazu die entsprechende Schaltung (Bild 5) auf. Diese Schaltung ist vor Inbetriebnahme durch einen Assistenten abzunehmen, um die Zerstörung der LED zu vermeiden! Die Messung erfolgt wieder im *X-Y-Betrieb*. Die Spannungsverstärkung [23], [28] für beide Kanäle sollte 1V/cm betragen. Wählen Sie jetzt die Eingangsspannung am Drehregler des „massefreien“ Generators (siehe Frequenzgeneratoren Anhang) so, dass der Bildschirm voll ausgenutzt wird. Zeichnen Sie die Kennlinie der LED ab, beachten Sie die Achseneinteilung (Strom, Spannung). Für die Ermittlung des exakten Stromwertes müssen sie die angezeigte Spannung für die Y-Achse (CH2) über das ohmsche Gesetz unter Berücksichtigung des Wertes des Vorwiderstandes umrechnen. Im Zweifelsfall ist dieser mit einem digitalen Widerstandsmessgerät noch einmal zu bestimmen. Vergleichen Sie die Kennlinie mit der in Versuch 307 aufgenommenen Kennlinie.

Anhang

Anhang 1: Beschreibung des Elektronenstrahloszilloskopes „HM 1508-2“

Das im Praktikumsversuch eingesetzte Oszilloskop HM 1508-2 (HAMEG) ist ein universell einsetzbares COMBISCOPE. Das Gerät zeichnet sich dadurch aus, dass es die Eingangssignale sowohl analog als auch digital weiterverarbeiten kann. Im Rahmen des Praktikumsversuches nutzen Sie ausschließlich die analoge Variante. Bei Zeit und Interesse besteht aber immer die Möglichkeit, nach Absprache mit dem Assistenten einen Einblick in die Möglichkeiten der digitalen Darstellungsvariante zu erhalten.

Bild 5 zeigt die auf der Frontplatte befindlichen Bedienelemente. In den folgenden Darlegungen werden insbesondere diejenigen Bedienelemente eingehender beschrieben, die für die Versuchsdurchführung von Bedeutung sind.

In der Mitte oben befindet sich der Netzschalter [1] (Power, rote Taste). Nach Betätigung des Netzschalters führt das Gerät einen Selbsttest durch, der einige Sekunden benötigt. Mit dem Umschalter [16] kann zwischen ANALOG und DIGITAL -Mode umgeschaltet werden. Für die Versuche wird ausschließlich der ANALOG – Mode verwendet. Wenn dieser aktiviert ist leuchtet der Umschalter [16] grün. Bei Aktivierung des DIGITAL – Mode (blaue Leuchte) ist entsprechend auf ANALOG umzuschalten.

Die Buchse [21] (CH1, Input-Kanal 1, Eingang) ist die Eingangsbuchse für die zu messende Signalspannung, die über einen Verstärker an die Y-Ablenkplatten geführt wird und somit eine Auslenkung in vertikaler Richtung erfährt. Die zur Messung erforderliche Y-Verstärkung wird mit dem Drehschalter [23] (VOLTS/DIV, z.B. 1 Volt/cm) eingestellt. Der gewünschte Zeitmaßstab der Strahlablenkung in X-Richtung wird mit dem Drehschalter [29] (TIME/DIV, z.B. s/cm) eingestellt. Eine zweite Signalspannung kann an die Buchse [26] (CH2, INPUT-Kanal 2, Eingang) angeschlossen werden. Die zugeordnete Y-Verstärkung kann den Drehregler [28] (VOLTS/DIV) **unabhängig** von CH1 geregelt werden, die Zeitablenkung erfolgt für beide Kanäle gleichermaßen. Die Wahl der Darstellung der Signale erfolgt mittels Umschalter VERT/XY [25]. Durch Drücken des Knopfes öffnet sich ein Fenster [2], das Wahlmöglichkeiten anbietet. „CH1“ [3] oder „CH2“ [4] aktiviert die Darstellung des ausgewählten Kanales. „DUAL“ [5] die gleichzeitige Darstellung beider Kanäle. Diese Darstellungsart wird für Aufgabe 1.1 und 1.2 benutzt. „XY“ [7] ordnet das Signal von CH1 der X-Ablenkplatte und das von CH 2 der Y-Ablenkplatte zu. Auf diese Weise lassen sich Lissajous-Figuren (Aufgabe 1.3) und I-U-Kennlinien (Aufgabe 1.4) darstellen. Die Auswahl der Möglichkeit erfolgt durch Betätigen der Wahlknöpfe [3] bis [8]. Knopf [9] schließt das Fenster wieder. Die Drehregler über den Knöpfen [14] und [15] ermöglichen eine Veränderung der vertikalen Lage (Y-Richtung) des Elektronenstrahls getrennt für CH1 und CH2. Dies ist beim Ablesen entsprechend zu beachten, gegebenenfalls ist der „Nullpunkt“ entsprechend zu verschieben. Um diesen exakt zu justieren, sollte ein Signal „0 Volt“ am jeweiligen Eingang anliegen. U.a. für diese Funktion ist der Umschalter CH1 VAR [22] bzw. CH2 VAR [27] vorgesehen. Nach dem Betätigen öffnet sich ebenfalls ein Menü-Fenster in dem zwischen „AC“ und „DC“ auch die Option „Masse - An Aus“ gewählt werden kann. „Masse An“ legt an die Platten immer „Nullpotential“ an, auch wenn über dem jeweiligen Eingang ein Spannungssignal anliegt. **Es ist daher immer zu prüfen, ob nicht diese Option eingeschaltet ist, wenn keine sinusförmige Spannung auf dem Bildschirm angezeigt wird!!!!** Mit den entsprechenden Drehreglern [14] und [15] lässt sich jetzt der Nullpunkt, für beide Kanäle unabhängig, in die gewünschte Lage verschieben. Danach ist wieder die Option „Masse Aus“ zu wählen, damit mit der Messung fort gefahren werden kann. „CH2 VAR“ bietet zusätzlich die Option „Invertieren – An Aus“. Bei Betätigung des seitlichen Auswahlschalters wird die Kennlinie invertiert, also gespiegelt. Diese Option wird bei der Darstellung einer I-U-Kennlinie

benötigt. Eine horizontale Verschiebung des Strahles (X-Richtung) ist ebenfalls möglich und kann über den Drehregler [20] erfolgen.

Die zeitaufgelöste Aufzeichnung eines zeitlich veränderlichen Signals ist nur dann möglich, wenn die Zeitablenkung ausgelöst (getriggert) wird. Damit sich ein stehendes Bild ergibt, muss die Auslösung synchron mit dem Messsignal erfolgen. Dies ist möglich durch das Messsignal selbst oder durch eine extern zugeführte, aber ebenfalls synchrone Signalspannung – die s.g. Triggerspannung. Diese muss eine gewisse Mindestamplitude haben, damit die Triggerung überhaupt einsetzt. Diesen Wert nennt man Triggerschwelle. Wird die Triggerspannung intern dem Messsignal entnommen, wird der Wert der Triggerschwelle als Leuchtpfeil auf dem Bildschirm angezeigt.

Mit dem Umschalter „MODE“ [18] wird der Trigger-Modus eingestellt. Im Versuch sollte der Modus „Auto“ und „Flanke“ eingestellt und notfalls in dem sich öffnenden Untermenü [2] ausgewählt werden. Der Wahlschalter „SOURCE“ [19] stellt die Triggerquelle ein und sollte sich während des gesamten Versuches auf „CH1“ beziehen. Notfalls ist auch diese Einstellung neu einzustellen. Die Zeitablenkung wird dann periodisch ausgelöst, auch ohne angelegte Signalspannung oder externe Triggerspannung. Ohne Signalspannung sieht man nur eine Zeitlinie, die exakt durch den Nullpunkt gehen sollte. Bei anliegender Signalspannung beschränkt sich die Bedienung auf die richtige Amplituden- und Zeitbasiseinstellung bei immer sichtbarem Elektronenstrahl.

Die Einstellung der Helligkeit [11], [10] oder des Fokus des Elektronenstrahls sollte nur zusammen mit einem Assistenten erfolgen.

Damit mit den Reglern [14] und [15] die Lage der Signale von CH1 und CH2 verändert werden kann, muss dies über die Umschalter für die Cursorsteuerung [13] und [12] eingestellt werden. Sollte dies zu Beginn des Versuches nicht der Fall sein, muss diese Einstellung noch vorgenommen werden. Dazu wird über den Umschalter [12] im entsprechenden Untermenü [2] die Cursoraktivität „AUS“ geschaltet. Auch hier sollte der Assistent benachrichtigt werden.

Alle gewählten Einstellungen werden digital auf dem Bildschirm des Oszilloskops angezeigt. Die Verstärkung von CH1 in der linken unteren Ecke, die von CH2 in der rechten unteren Ecke. Die Zeitablenkung wird oben links, der Trigger-Modus wird oben rechts angezeigt.

Die Massepunkte des Oszilloskops sind leitend mit dem Gehäuse, d.h. auch mit dem Schutzkontakt, verbunden. Deshalb müssen bei der Verwendung mehrerer Signalspannungen die Massen der Signalspannungen auf gleichem Potential liegen, um Verzerrungen und Kurzschlüsse zu vermeiden. Um das Oszilloskop mit anderen Geräten oder Schaltungen störungsfrei zu verbinden, werden so genannte BNC-Steckverbindungen (*Bayonet Neill Concelman*) benutzt, benannt nach den Entwicklern Paul Neill und Carl Concelmann (1940). BNC-Kabel sind Koaxialkabel mit konzentrischem Aufbau. Ein Innenleiter wird in konzentrischen Abstand von einem hohlzylindrischen Außenleiter umgeben. Dazwischen befindet sich ein Isolator oder ein Dielektrikum. Dieser Leitungsaufbau bewirkt eine Abschirmung gegenüber (hoch-)frequenten (Stör-)Signalen. Bitte beachten: Das BNC-Oszilloskop-Adapterkabel besitzt einen messspannungsführenden Abgriff (rot oder dick) und einen „an Masse“ angeschlossenen Stecker (schwarz oder dünn).

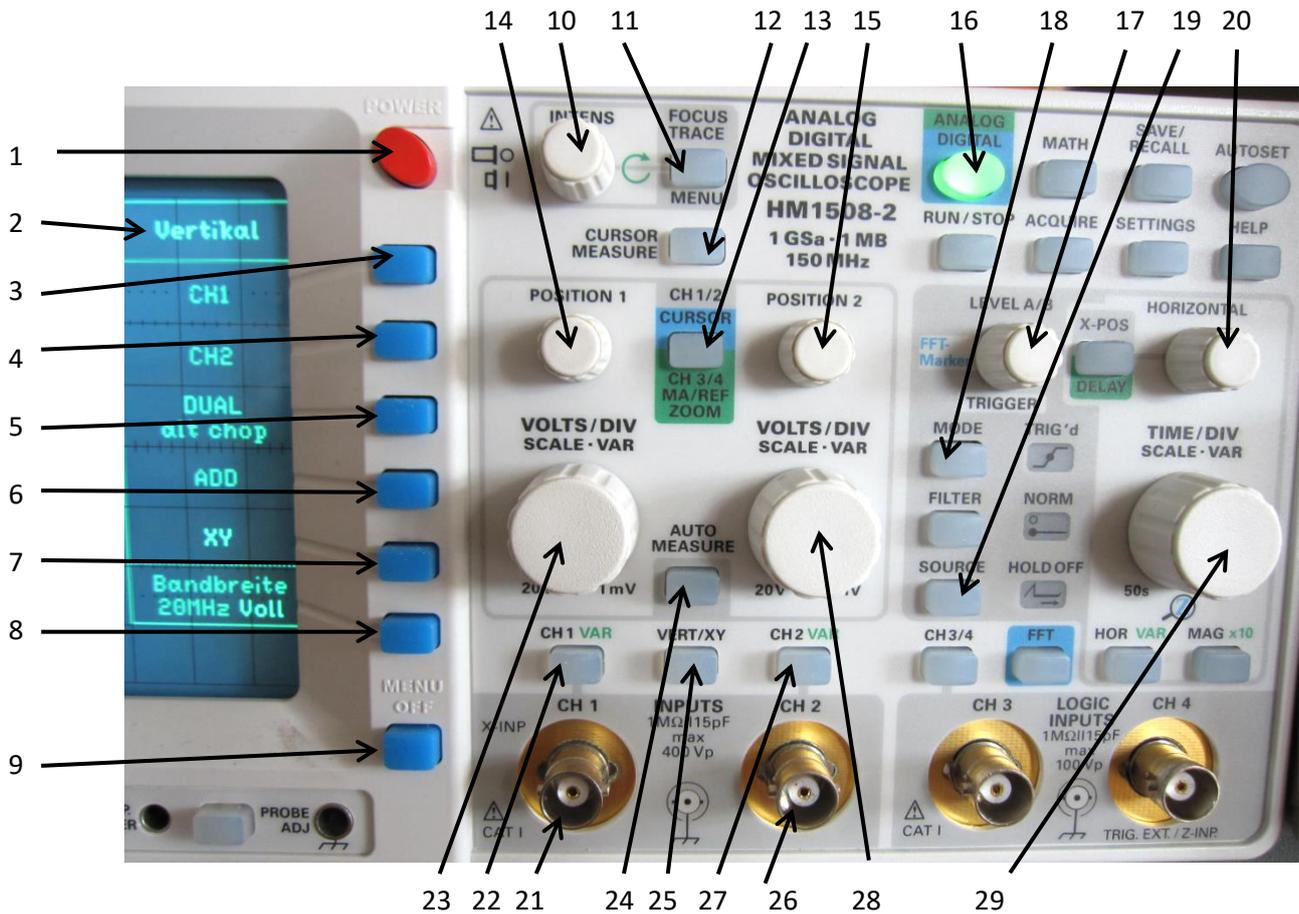


Bild 5 : Frontplatte des Oszilloskopes HM 1508-2

- 1 Power
- 2 Untermenüs
- 3-9 Wahlschalter Funktionen Untermenü
- 10 Regler für Intensität
- 11 Umschalter für Funktion INTENS (10)
- 12 Umschalter Cursoraktivität (13), (14), (15)
- 13 Umschalter Cursoraktivität (14), (15)
- 14 Regler Position CH1
- 15 Regler Position CH2
- 16 Umschalter ANALOG / DIGITAL
- 17 Regler Trigger-Level
- 18 Umschalter Trigger-Modus
- 19 Umschalter Trigger-Kanal
- 20 verschiebt Bild horizontal
- 21 BNC-Eingang CH1
- 22 Umschalter Untermenü CH1
- 23 Regler Verstärkung CH1
- 24 Umschalter Untermenü
- 25 Umschalter Untermenü Darstellungsart
- 26 BNC-Eingang CH2
- 27 Umschalter Untermenü CH2
- 28 Regler Verstärkung CH2
- 29 Regler Zeitmaßstab der X-Ablenkung

Anhang 2: Effektivwert einer Sinusspannung

Die in einem Gleichstromkreis an einem Verbraucher umgesetzte Leistung ist $P = U \cdot I$. Wegen $I = U / R$ kann man auch schreiben $P = U^2 / R$. Die geleistete Arbeit ergibt sich da-raus zu $W = P \cdot t$. Da sich bei Wechselstrom die Größen U und I ständig ändern, muss zur Bestimmung von W über die Funktion $U(t)$ integriert werden. Die während einer Schwingungsperiode T geleistete Arbeit W_T beträgt also:

$$W_T = \int_0^T \frac{U^2(t)}{R} \cdot dt \quad (6).$$

Im Gegensatz zum Wechselstrom, wo der Maximalwert der Spannung während einer vollen Periode T nur zwei Mal erreicht wird ($+U_o, -U_o$), ist bei Gleichstrom die volle Spannung U und damit auch die Leistung P über die gesamte Zeit T verfügbar. Soll die gleiche Energie umgesetzt werden wie im Wechselstromkreis, so kann die Spannung deutlich niedriger sein als U_o . Man nennt diese Spannung den Effektivwert U_{eff} . Es gilt also (im Gleichstromkreis):

$$W_T = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} \cdot T \quad (7).$$

Aus beiden Ausdrücken ergibt sich:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} \quad (8).$$

Für den speziellen Fall einer sinusförmigen Wechselspannung erhält man aus Gl.(8):

$$U_{\text{eff}}^2 = \frac{U_o^2}{2} \quad \text{bzw.} \quad U_{\text{eff}} = \frac{U_o}{\sqrt{2}} = \frac{U_{\text{ss}}}{2\sqrt{2}} \quad (9).$$

Betrachten Sie zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes Bild 6. Dort sind die Sinusspannung $U(t)$, ihr Quadrat $U^2(t)$ und das Quadrat des zugehörigen Effektivwertes U_{eff}^2 dargestellt.

Das Integral in Gl.(6) ist der mathematische Ausdruck für die Fläche unter der Funktion $U^2(t)$. Wenn diese gleich der Fläche unter U_{eff}^2 ist, dann ist auch die geleistete Arbeit dieselbe, d.h. der „Flächenüberschuss“ im Maximum der Wechselspannung muss durch die Fläche in der Nähe des Nulldurchgangs kompensiert werden. Das ist bei einer Sinusspannung dann der Fall, wenn U_{eff}^2 genau halb so groß ist wie U_o^2 , also $U_{\text{eff}} = U_o / \sqrt{2}$ gilt (Gl. 9).

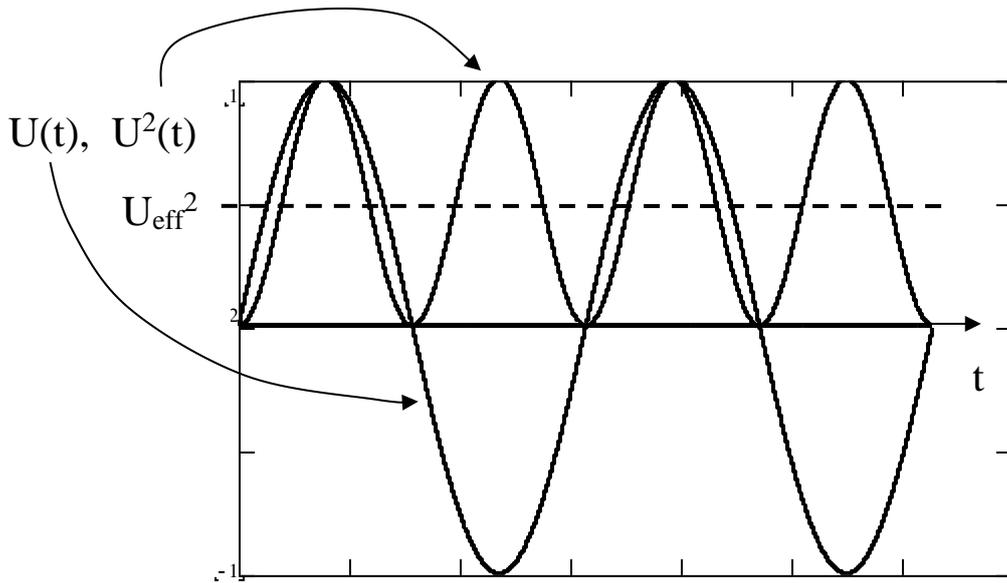


Bild 6: Vergleich von $U^2(t)$ und U_{eff}^2 bei sinusförmiger Wechselspannung.

Anhang 3: Spannungsteiler

Legt man eine Spannung U an eine Reihenschaltung von zwei oder mehreren Widerständen (Beispiel: Lichterkette), so wird die Spannung aufgeteilt. Da der Strom I in einem Stromkreis überall gleich ist, fällt nach dem Ohmschen Gesetz $U = R \cdot I$ an großen Widerständen eine hohe, an kleinen Widerständen eine niedrige Spannung ab. Es gilt (für zwei Widerstände, vgl. Bild 7) die Spannungsteilerregel (siehe Versuch 307):

$$U_1 / U_2 = R_1 / R_2 \quad \text{mit} \quad U_1 + U_2 = U_E \tag{10}$$

Im Falle unseres RC -Gliedes ist einer der beiden Widerstände frequenzabhängig. Der Widerstand des Kondensators (Kapazität C) beträgt: $R_C(f) = 1/(2\pi \cdot f \cdot C)$. Dagegen besitzt der ohmsche Widerstand R unabhängig von der Frequenz immer denselben Wert.

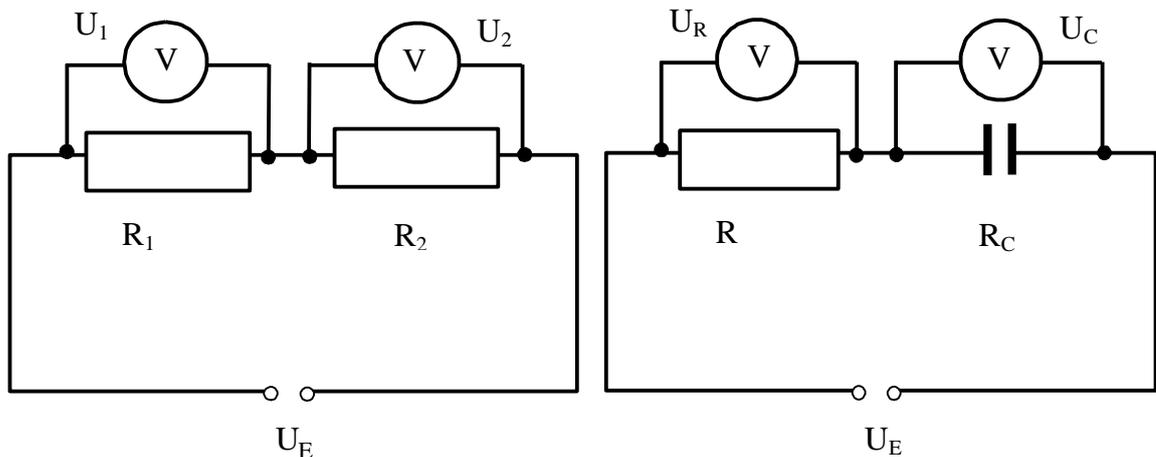


Bild 7: Spannungsteiler, links aus zwei ohmschen Widerständen, rechts aus R und C .

Für unterschiedliche Frequenzen ergeben sich also verschiedene Spannungsteilverhältnisse R zu R_C , und die Eingangsspannung U_E wird entsprechend unterschiedlich aufgeteilt:

Beispiel: $U_E = 10 \text{ V}$

$R = 5 \text{ k}\Omega$ (frequenzunabhängig)

$R_C = 20 \text{ k}\Omega$ (bei $f = 400 \text{ Hz}$, tiefe Frequenz, großer Widerstand des Kondensators)

$R_C = 2 \text{ k}\Omega$ (bei $f = 4 \text{ kHz}$, hohe Frequenz, kleiner Widerstand des Kondensators)

Daraus ergibt sich: bei 400 Hz: $R_C : R = 20 : 5 = 4 : 1 \rightarrow U_C = 8.0 \text{ V}, U_R = 2.0 \text{ V}$

bei 4 kHz: $R_C : R = 2 : 5 = 1 : 2.5 \rightarrow U_C = 2.9 \text{ V}, U_R = 7.1 \text{ V}.$

Wenn man beide Frequenzen mit derselben Amplitude (z.B. 10V) an das RC -Glied anlegt und die Spannung an C abgreift, so erscheint die tiefe Frequenz (8.0V) gegenüber der hohen (2.9V) gestärkt. Greift man die Spannung an R ab, ist es umgekehrt (2.0V gegenüber 7.1V). Das erste ist ein Tiefpass, das zweite ein Hochpass.

Anhang 4: Lissajous-Figuren

Spezialfälle: Bezüglich Amplitude, Frequenz und Phasenlage der beiden Wechselspannungen sind folgende Spezialfälle interessant:

- a) Die Frequenzen beider Spannungen sind gleich ($\omega_1 = \omega_2$). Es entsteht eine Ellipse, deren Form und Lage vom Spannungsverhältnis und der Phasendifferenz φ abhängig ist. Für $\varphi = 0$ entartet die Ellipse zu einer Geraden, für $\varphi = \pi/2$ ergibt sich eine Ellipse in Hauptachsenlage. Für andere Phasenverschiebungen sind die Hauptachsen der Ellipse gegen die X - bzw. Y -Achse geneigt (Bild 8). Aus der Lage und der Form der Ellipse kann man deshalb Aussagen über die Phasenverschiebung gewinnen.

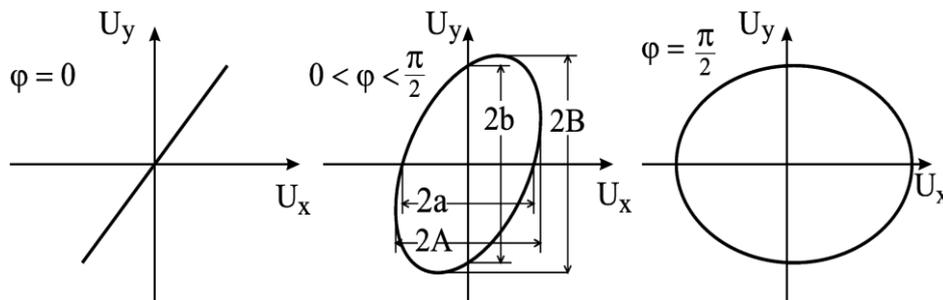


Bild 8: Lissajous-Figuren für gleiche Frequenzen $\omega_1 = \omega_2$.

- b) Die Frequenzen der beiden Spannungen unterscheiden sich nur wenig voneinander. Es entsteht eine Ellipse, deren Lage und Form sich ständig ändert. Man kann die Frequenzen als exakt gleich auffassen, aber mit einer sich stetig von 0 bis 2π ändernden Phasendifferenz. Werden alle Phasenlagen zwischen 0 und 2π in der Zeit T durchlaufen, so gilt für die Frequenzdifferenz: $\Delta f = 1 / T$.

- c) Ist das Frequenzverhältnis ganzzahlig, dann entstehen typische Figuren (vgl. Bild 9), deren Form allerdings wieder von der Phasendifferenz zwischen beiden Spannungen abhängt.

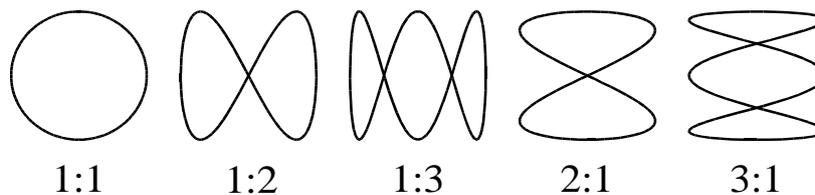


Bild 9: Lissajous-Figuren für ganzzahlige Frequenzverhältnisse.

- d) Ist das Frequenzverhältnis nicht ganzzahlig, so entstehen kompliziertere Schirmbilder, die sich ebenfalls auswerten lassen, wenn der Quotient ω_1/ω_2 einem rationalen Bruch entspricht.

Bestimmung der Phasenverschiebung

Das Oszilloskop wird im X-Y-Betrieb belassen. Der Bildschirm zeigt als Lissajous-Figur eine Ellipse. Zur Bestimmung der Phasendifferenz aus der Lissajous-Figur gehen wir vom Bild 7 aus. Beim Durchlaufen des Leuchtpunktes b gilt:

$$U_x(t_b) = 0 = A \cdot \sin(\omega \cdot t_b) \quad (11)$$

$$U_y(t_b) = b = B \cdot \sin(\omega \cdot t_b + \varphi) \quad (12).$$

Aus (11) folgt:

$$\omega \cdot t_b = k \pi \quad \text{mit} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Durch das Einsetzen in (12) folgt:

$$\sin \varphi = \pm \frac{b}{B} \quad \varphi = \pm \arcsin \frac{b}{B} \quad (13)$$

Eine analoge Betrachtung am Punkt a ergibt:

$$\sin \varphi = \pm \frac{a}{A} \quad \varphi = \pm \arcsin \frac{a}{A} \quad (14).$$

Aus der Lissajous-Figur erhält man nur den Betrag der Phasenverschiebung, kann jedoch keine Aussage über deren Vorzeichen (Vorauslaufen bzw. Nachlaufen der Spannungen) machen.

Anhang 5: Bedienung der Spannungsquellen / Frequenzgeneratoren

Am Versuchsplatz befinden sich zwei Frequenzgeneratoren zum Erzeugen von elektrischen Schwingungen verschiedener Kurvenformen mit einstellbaren Frequenzen und Amplituden. Der Funktionsgenerator HM 8030-6 (Bild 10) kann verschiedene Wechselspannungen (Kurvenformen: Rechteck, Sinus, Sägezahn) erzeugen. Er wird gemeinsam mit der Gleichspannungsquelle eingeschaltet (roter Einschaltknopf zwischen beiden Geräten). Mit der Taste (FUNCTION) kann die Signalform geändert werden. Die gewünschte Frequenz wird über Tasten (Grobereich Frequenz) in Zehnerdekaden vorgewählt und über einen darüber befindlichen Drehregler fein eingestellt. Die gewählte Frequenz wird entsprechend im digitalen Display angezeigt. Die Wahl der Amplitude des Ausgangssignals erfolgt über einen Drehknopf auf der rechten Seite. Darunter befinden sich zwei Knöpfe, mit denen die Amplitude jeweils um 10dB verringert werden kann. Das Signal wird einer BNC-Buchse (50 Ω OUTPUT) am unteren rechten Rand des Gerätes entnommen.

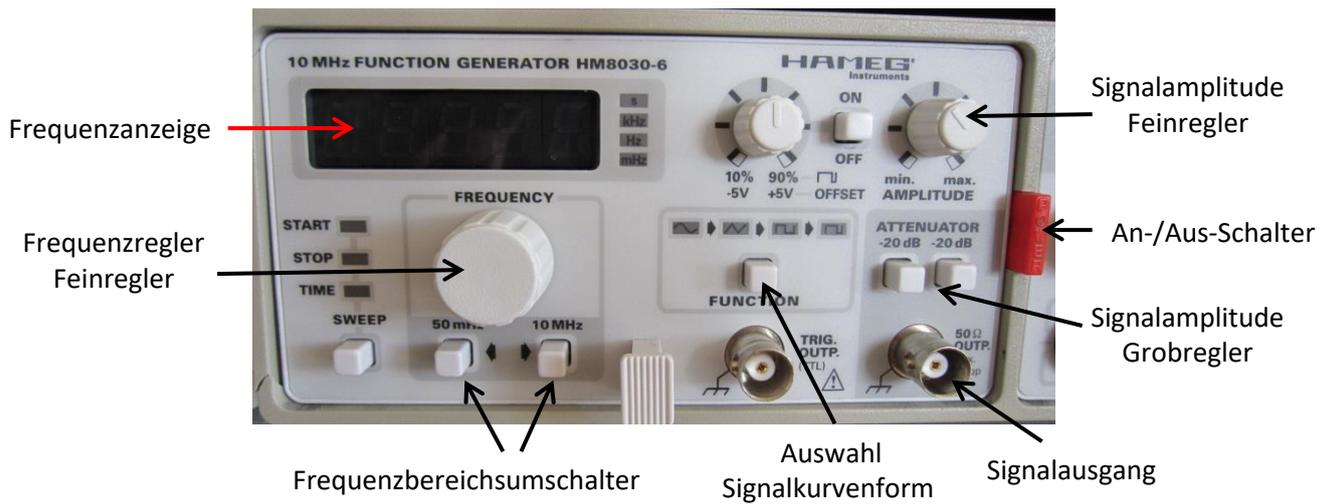


Bild 10: RC-Generator HM 8030-6.

Der zweite RC-Generator (Bild 11) liefert nur eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz. Er wird für Versuch 1.4 als massefreier Generator benötigt. Die Amplitude der Ausgangsspannung wird über den entsprechenden Drehregler festgelegt (Bild 11). Das Ausgangssignal wird über die beiden Buchsen an der Frontplatte entnommen.

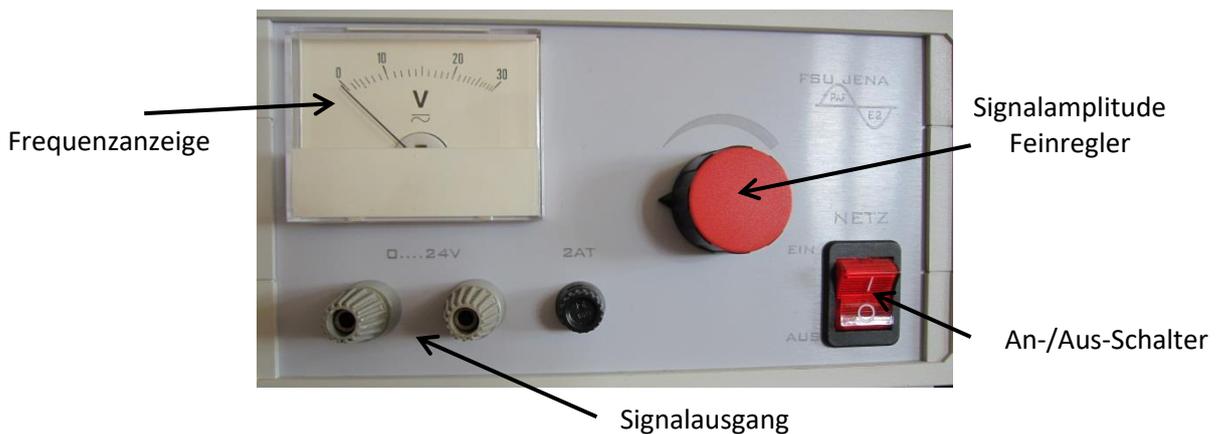


Bild 11: Massefreier RC-Generator.