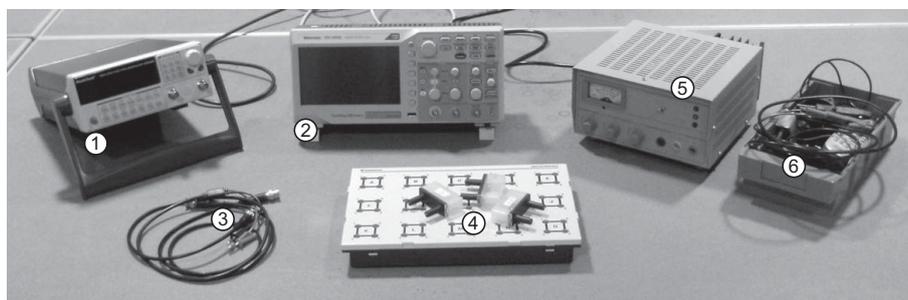


4 Oszilloskop

Ein Oszilloskop ist das Standardgerät zum Erfassen zeitabhängiger Vorgänge in der Messtechnik. Dementsprechend groß ist seine Verbreitung in Wissenschaft und Technik. In diesem Versuch werden Sie zunächst in einführenden Experimenten die Handhabung der Grundfunktionen eines Oszilloskops kennen lernen. Anschließend werden Sie anhand einiger exemplarischer Messaufgaben einen Eindruck bekommen, wo und wie ein Oszilloskop eingesetzt werden kann.



- | | |
|----------------------|-------------------------------------|
| ① Funktionsgenerator | ④ Steckbrett mit Bauteilen |
| ② Oszilloskop | ⑤ Labornetzgerät |
| ③ BNC-Kabel | ⑥ Messzubehör (Kabel, Adapter, ...) |

4.1 Einleitung

Ein Oszilloskop dient zur graphischen Darstellung des zeitlichen Verlaufs von elektrischen Spannungen, wobei die Zeitdarstellung über viele Größenordnungen (von mehreren Sekunden bis Nanosekunden) variiert werden kann. (Abgesehen davon gibt es noch den x–y–Betrieb, der hier aber nicht behandelt werden soll.) Demgegenüber können mit einem einfachen Spannungsmesser (Voltmeter bzw. Multimeter) nur Spannungen mitverfolgt werden, die konstant sind oder sich auf einer Zeitskala von Sekunden ändern.

Das Oszilloskop scheint also zunächst für jeden wichtig zu sein, der sich mit elektrischen Signalen beschäftigt. Tatsächlich ist aber der Einsatzbereich eines Oszilloskops wesentlich größer. Mit Hilfe der entsprechenden Umwandler (Sensoren) lassen sich nahezu alle messbaren Phänomene in elektrische Signale umsetzen. Beispiele für Sensoren sind: Mikrofone (Schallmessung), Photodetektoren (Lichtintensitätsmessung), Hallsensoren (Magnetfeldmessung), Beschleunigungssensoren, ...

4.2 Allgemeine Grundlagen

4.2.1 Das Elektronenstrahl–Oszilloskop

Unter einem *analogen Oszilloskop* versteht man in der Regel ein klassisches Elektronenstrahl–Oszilloskop. Bei diesem wird ein Elektronenstrahl in einer Vakuumröhre (Braun-sche Röhre) von elektrischen Feldern innerhalb von Plattenkondensatoren abgelenkt.

Durch geeignete Ansteuerung dieser Ablenkplatten kann ein zeitlicher Spannungsverlauf auf einem Leuchtschirm graphisch abgebildet werden.

Inzwischen sind analoge Oszilloskope jedoch weitestgehend von digitalen Oszilloskopen abgelöst worden. Da auch im vorliegenden Versuch ein *digitales Oszilloskop* Verwendung findet, soll hier nicht näher auf das Elektronenstrahloszilloskop eingegangen werden.

4.2.2 Das digitale Oszilloskop

Bei einem *digitalen Oszilloskop* wird der zu analysierende Spannungsverlauf (über einen Eingangsverstärker) einem Analog–Digital–Wandler zugeführt. Dieser wandelt in festen Zeitabständen (Samplingrate) das analoge Spannungs–Signal in einen digitalen (Zahlen)Wert um. Die Auflösung hierbei beträgt in der Regel 8 bit. Auf diese Weise wird das zeitabhängige Spannungssignal abgetastet und als Wertetabelle in einem Speicher abgelegt. Ein digitales Oszilloskop ist also vom Funktionsprinzip her stets ein Speicher–oszilloskop. Das digitalisierte Signal kann dann über mathematische Funktionen weiterverarbeitet werden (z.B. Fouriertransformation FFT) bzw. es können Rechenoperationen mit den Signalen von anderen Eingangskanälen durchgeführt werden (z.B. Addition). Das gespeicherte Spannungssignal (bzw. die daraus resultierenden Signale) werden dann auf einem Bildschirm dargestellt.

Die Vorteile eines *digitalen Oszilloskops* gegenüber einem *analogen Oszilloskop* sind:

- Durch die Signalspeicherung können auch Ereignisse (d.h. charakteristische Spannungsverläufe), die nur selten bzw. einmalig auftreten, dargestellt werden.
- Da das Signal in digitaler Form vorliegt, bestehen viele Möglichkeiten, das Signal mathematisch zu analysieren.
- Aufgezeichnete Signale können auf Datenträger oder angeschlossene Geräte ausgegeben werden.

Als Nachteil des *digitalen Oszilloskops* kann gesehen werden, dass durch die Digitalisierung die Auflösung begrenzt wird (bei 8 bit auf lediglich 256 Spannungsstufen), während bei einem *analogen Oszilloskop* die Auflösung unbegrenzt ist (natürlich abgesehen von Darstellungs– und vor allem Ableseungenauigkeiten auf dem Bildschirm).

Es sei noch erwähnt, dass es digitale Oszilloskope nicht nur als „Stand-Alone“-Geräte (wie in diesem Versuch) gibt, sondern auch als PC–Anschlussgeräte (USB–Oszilloskop).

4.3 Bedienung des Oszilloskops

Auf dem Bildschirm des Oszilloskops wird der zeitliche Verlauf einer Spannung graphisch dargestellt, wobei entlang der horizontalen Achse die Zeit und entlang der vertikalen Achse die Spannungshöhe dargestellt ist. Da man es in der Praxis mit Signalen zu tun hat, die sich sowohl in der Zeit wie auch in der Spannungshöhe um viele Größenordnungen unterscheiden, muss die Darstellung auf dem Bildschirm entsprechend angepasst werden. Dies ist die Aufgabe des Oszilloskop–Benutzers. Die Schwierigkeit besteht oft darin, die interessierenden Spannungsverläufe (bzw. Teile davon) überhaupt erst zu sehen und dann möglichst vorteilhaft darzustellen.

Wichtig sind insbesondere die folgenden drei Einstellmöglichkeiten (da die Bedienung verschiedener Oszilloskope sehr ähnlich ist, findet man sich in der Regel auf allen Modellen schnell zurecht, sobald man einmal die grundlegende Funktionsweise verstanden hat.):

Vertikale Achse – Die Darstellung der elektrischen Spannung Die meisten Oszilloskope haben zwei Eingangskanäle (so wie in diesem Versuch), manche aber auch vier, d.h. es können gleichzeitig zwei bzw. vier Messsignale dargestellt werden. Für jeden Kanal kann die Skalierung der vertikalen Darstellung (also der Spannung) separat eingestellt werden. Dies geschieht über einen Drehknopf (**SCALE**). Diese Einstellung legt fest, wie groß der dargestellte Spannungsunterschied zwischen zwei benachbarten horizontalen Linien auf dem Bildschirm ist. (Dieser Abstand wird meist als **DIVISION**, also Unterteilung bezeichnet.) Für kleine Eingangssignale (also kleine Spannungen) muss eine empfindliche Skalierung gewählt werden, also wenig Spannungsunterschied pro **DIVISION**, für große Signale eine entsprechend weniger empfindliche. Je größer das Signal auf dem Bildschirm erscheint, umso genauer wird die Messung. Mit einem weiteren Einstellknopf (**POSITION**) kann die vertikale Lage des Signals auf dem Bildschirm verändert werden. Ein kleiner Pfeil am linken Bildschirmrand zeigt stets an, wo sich das Nullniveau der Spannung befindet. Zusätzlich gibt es für jeden Kanal einen Knopf, mit dem man zum einen den Kanal ein- bzw. ausschalten kann, zum anderen aber auch in das Menü dieses Kanals wechseln kann. Unter anderem kann hier die Art der Eingangskopplung festgelegt werden, es ist eine Wahl zwischen **DC**-, **AC**- und **GND** möglich (**DC**: Direct current = Gleichstrom, **AC**: Alternating current = Wechselstrom, **GND**: Ground = Erde). Für unsere Zwecke ist die Einstellung **DC** ausreichend, das Signal wird dann unverändert vom Oszilloskop dargestellt. (Bei **AC**-Kopplung wird der Eingang in Reihe über einen Kondensator mit dem Oszilloskop verbunden, es wird dann nur der Wechselspannungsanteil gemessen. **GND** verbindet den Eingang (nicht das Messsignal) mit dem Erdpotential. Dadurch kann die Nulllinie überprüft werden.)

Horizontale Achse – Die Zeitdarstellung Die Skalierung der Zeitachse kann mit dem entsprechenden Drehknopf (**SCALE**) eingestellt werden. Dabei werden den horizontalen Unterteilungen zwischen den vertikalen Linien auf dem Bildschirm definierte Zeitintervalle zugeordnet. Die Einstellung der Zeitachse gilt dabei für alle Eingangskanäle, man kann also für verschiedene Kanäle keine unterschiedlichen Zeitskalierungen wählen. Mit dem Einstellregler **POSITION** kann die Signaldarstellung (relativ zum Triggerzeitpunkt, siehe unten) in der Zeit, also horizontal auf dem Bildschirm, verschoben werden.

Trigger – Definition der Startbedingung Neben einer geeigneten Skalierung der Spannungs- bzw. Zeitdarstellung fehlt nun noch eine Koordination der Darstellung (also des Beginns der (evtl. sich wiederholenden) digitalen Aufzeichnung) mit dem Signalverlauf. So muss bei der Darstellung von periodischen Signalen der Beginn der Aufzeichnung immer an äquivalenten Stellen des Signals erfolgen um ein stehendes Bild des Signals zu erhalten. Bei einmaligen Vorgängen hingegen soll die Aufzeichnung überhaupt erst starten, wenn der interessierende Signalverlauf erscheint. Dieses Ziel erreicht man mit der sogenannten Triggerfunktion (von engl. "trigger" = Auslöser). Dabei startet die Aufzeichnung immer dann, wenn die Triggerbedingung erfüllt ist. In den meisten Anwendungsfällen besteht die Triggerbedingung darin, dass das Eingangssignal eines ausgewählten Kanals einen bestimmten Spannungswert (Pegel bzw. Level) über- bzw. unterschreitet. Mit einem Drehknopf **LEVEL** kann dieser Pegel eingestellt werden und wird am rechten Bildschirmrand als kleiner Pfeil dargestellt. Im **TRIGGER MENU** kann unter anderem ausgewählt werden, auf welchen Eingangskanal getriggert werden soll und ob der Triggerpegel über- oder unterschritten werden muss. Außerdem kann hier zwischen dem Triggermodus **AUTO** und **Normal** gewählt werden. Bei **AUTO** läuft die Aufzeichnung nach kurzer Wartezeit auch ohne Triggerereignis los, bei **Normal** nur nach einem Triggerereignis. Bei Signalvor-

gängen, die einmalig ablaufen, möchte man jedoch häufig die Aufzeichnung (die in der oben beschriebenen Weise getriggert wurde) festhalten, ohne dass ein neuer Triggervorgang ausgelöst wird. Dazu muss nur die Taste **SINGLE** gedrückt werden. Nach der ersten ausgelösten Aufzeichnung wird nicht mehr getriggert. Der nächste Triggervorgang erfolgt dann erst wieder nach erneutem Druck auf **SINGLE**. Zur normalen Betriebsweise (also der Trigger wird immer ausgelöst wenn die Bedingung erfüllt ist) kommt man zurück durch **RUN/STOP**.

Der Vollständigkeit halber sollen noch zwei speziellere Triggerbetriebsweisen vorgestellt werden, die allerdings bei diesem Versuch nicht verwendet werden:

Im **TRIGGER MENU** kann als Triggerquelle **Netz** oder **Line** gewählt werden. Das Oszilloskop triggert dann automatisch auf das 50 Hz-Wechselstromnetz, an welches das Oszilloskop über den Netzstecker angeschlossen ist. Dies ist nützlich, wenn man Signale betrachten will, die synchron zum Wechselstromnetz ablaufen¹.

Bei bestimmten Anwendungen hat man neben dem eigentlichen Messsignal (das z.B. sehr klein oder verrauscht sein kann) zusätzlich ein Signal, das man zum Triggern des Oszilloskops verwenden kann. Zu diesem Zweck hat das Oszilloskop eine eigene Eingangsbuchse **ExtTrig** und die entsprechende Auswahloption im **TRIGGER MENU**.

Wichtige Hinweise:

- Oft ist es wünschenswert, das Oszilloskop in einen definierten Ausgangszustand zu versetzen, bei dem (undurchsichtige und ungewollte) Einstellungen deaktiviert werden. Zu diesem Zweck existiert beim vorliegenden Oszilloskop (und in der Regel auch bei anderen Modellen) ein Knopf, der mit **AUTOSET** bezeichnet ist. Falls an den Eingängen ein Signal anliegt, stellt sich das Oszilloskop dann auch gleich automatisch so ein, dass das Signal sinnvoll dargestellt wird.
- Am unteren Bildschirmrand können die aktuellen Einstellungen für alle Kanäle, die Zeitdarstellung und den Trigger abgelesen werden.
- Durch "falsche" Einstellungen kann das Oszilloskop nicht beschädigt werden. Sie können also ohne Bedenken mit dem Gerät experimentieren.

4.4 Anschluss des Oszilloskops

Um mit dem Oszilloskop messen zu können, müssen dessen Eingänge mit dem Messobjekt elektrisch verbunden werden. Die Eingänge von Oszilloskopen sind dabei als sog. BNC-Buchsen (BNC = Bayonet Neill Concelman) ausgeführt. Das Oszilloskop misst dabei die Eingangsspannung am Innenleiter der Buchse relativ zum Außenkontakt der Buchse, der auf Erdpotential liegt. (Das Erdpotential ist durch den Schutzleiter der Schuko (= Schutzkontakt)-Steckdose definiert.)

Ein BNC-Kabel ist ein sogenanntes Koaxialkabel, bei dem der signalführende Innenleiter (getrennt durch eine Kunststoffisolierung) von einem Drahtgeflecht auf Erdpotential umgeben ist. Für Anwendungen in der Messtechnik haben diese Kabel einen Leitungswellenwiderstand von $50\ \Omega$. Diese Art der Messverbindung ist zu bevorzugen bzw. unerlässlich, wenn Signale sehr hoher Frequenz (bis einige GHz) bzw. Signale mit sehr steilen Anstiegsflanken vermessen werden sollen². Bei Messungen, die keine Übertragung hochfrequenter Signale erfordern, kann man aber einfach auch Adapter von BNC auf normale

¹Beim Versuch Elektrik (ELE) wird das Oszilloskop z.B. in dieser Weise betrieben.

²Für eine "saubere" Messung muss dann auch der Eingangswiderstand des Messgerätes angepasst sein, d.h. dieser muss ebenfalls $50\ \Omega$ betragen. So wird die Reflexion von Signalen vermieden.

einadrige Messleitungen (mit z.B. 4 mm Bananenstecker) oder auch auf Messklemmen verwenden³.

4.5 Funktionsgenerator

Der Funktionsgenerator selbst ist kein Messgerät, sondern ein Hilfsgerät um insbesondere an elektronischen Schaltungen Messungen oder Funktionstests vorzunehmen. Ein Standard-Funktionsgenerator liefert periodische Ausgangssignale (Sinus, Dreieck, Rechteck), deren Amplitude und Frequenz über einen weiten Bereich einstellbar sind. Neuere Geräte erzeugen diese Signale nicht mehr mittels analoger Oszillatorschaltungen, sondern auf digitalem Wege per DDS (= Direct Digital Synthesis). Auch in diesem Praktikumsversuch kommt ein derartiges Gerät zum Einsatz. Neben dem eigentlichen Signalausgang besitzt der Funktionsgenerator an der Vorderseite noch einen sogenannten Sync-Ausgang, der ein Logik-Signal liefert. Auf dem Display kann sowohl die eingestellte Frequenz wie auch die Ausgangsamplitude abgelesen werden. Bei den späteren Messungen muss daher die Frequenz nicht mit dem Oszilloskop bestimmt werden sondern kann hier abgelesen werden. Einige der Funktionen bzw. Einstellmöglichkeiten werden im Praktikum nicht verwendet.

4.6 Versuchsdurchführung

4.6.1 Einführende Experimente

In diesem ersten Versuchsteil geht es darum, sich mit der grundlegenden Funktionsweise des Oszilloskops und des Funktionsgenerators vertraut zu machen. Je nachdem, ob Sie bereits Erfahrung im Umgang mit diesen Geräten haben, kann hier mehr oder weniger Zeit investiert werden. Ziel dieses ersten Versuchsteils ist es, dass Sie Signale am Oszilloskop darstellen, Werte ablesen und den Trigger in geeigneter Weise einstellen können. Es genügt dabei, wenn Sie nur die jeweils konkret geforderten Messwerte mitprotokollieren.

Darstellung eines Signals und Ablesen von Messwerten

1. Schalten Sie das Oszilloskop und den Funktionsgenerator ein. Verbinden Sie den Ausgang **Output** des Funktionsgenerators mit dem Eingangskanal 1 des Oszilloskops durch ein BNC-Kabel. Der Funktionsgenerator sollte automatisch auf Signalform **Sinus**, 1,000 kHz und 1,000 V_{pp}⁴ eingestellt sein.
2. Drücken Sie am Oszilloskop die Taste **Autoset**. Das Signal sollte jetzt dargestellt werden. Machen Sie sich nun mit den Einstellreglern für die vertikale Achse (Spannung) **Scale** und **Position** sowie für die horizontale Achse (Zeit) **Scale** und **Position** vertraut indem Sie alle Einstellungen der Reihe nach variieren. (Die eingestellte Skalierung sehen Sie am unteren Bildschirmrand. Sollten darüber noch andere Messwerte angezeigt werden, so deaktivieren Sie diese bitte durch Druck

³Bei manchen Messproblemen liegt das Hauptaugenmerk darauf, das Messobjekt bei der Messung möglichst nicht zu belasten bzw. zu verändern. In diesem Fall bietet sich die Verwendung eines sogenannten Tastkopfes an, der den ohmschen Eingangswiderstands des Oszilloskops erhöht und gleichzeitig die Eingangskapazität erniedrigt. Für unsere Messaufgaben ist dies jedoch nicht notwendig, weshalb wir auf den Einsatz von Tastköpfen verzichten können.

⁴V_{pp} steht für peak-to-peak, also die Spannung von der unteren zur oberen Spitze des Signals

auf **MEASURE** und anschließend auf **Menu off**.)

Stellen Sie nun die Darstellung so ein, dass mindestens eine vollständige Periode des Signals auf dem Bildschirm erscheint. Außerdem soll das Signal in vertikaler Richtung möglichst groß, aber noch vollständig dargestellt werden, die Nulllinie soll sich genau in der Bildschirmmitte befinden.

3. Lesen Sie nun vom Oszilloskop-Bildschirm ab (mit Hilfe der Skalierung, also Spannungsunterschied pro Division bzw. Zeitdifferenz pro Division), welchen maximalen Spannungsunterschied (peak-to-peak) das Signal aufweist. Messen Sie außerdem die Periodendauer T des Signals und berechnen Sie über $f = 1/T$ die Frequenz. Stimmen die Werte mit der Anzeige am Funktionsgenerator überein?
4. Ändern Sie am Funktionsgenerator die Frequenz auf den Wert 19,700 kHz und die Ausgangsspannung auf 3,800 V_{pp}. Stellen Sie das Oszilloskop so ein (ohne **Autoset!**), dass Sie wieder mindestens eine Periode bildschirmfüllend erkennen können. Verändern Sie die Frequenz am Funktionsgenerator auf 0,500 Hz (nicht kHz) und stellen Sie das Oszilloskop wieder nach.
5. Stellen Sie am Funktionsgenerator eine Offset-Spannung von -1,000 V ein. Was beobachten Sie auf dem Oszilloskop? Stellen Sie den Offset anschließend wieder auf 0,000 V ein.

Einstellen des Triggers Stellen Sie für die folgenden Aufgaben am Funktionsgenerator ein: 10,000 kHz, 4,000 V_{pp} und Signalform **Dreieck (Ramp)**

1. Stellen Sie zunächst das Oszilloskop wieder so ein, dass Sie das Signal gut betrachten können. (Achtung! Hier kann ein etwas tückischer Effekt auftreten, eine sogenannte Unterabtastung. Überlegen Sie, auf welcher Zeitskala sich das Signal ändern muss!) Drehen Sie nun den Drehregler für den Trigger-Pegel. Der Pegel wird temporär durch eine horizontale Linie angezeigt. Wenn der Trigger-Pegel den Bereich des Signals verlässt, so fällt das Signal aus der Triggerung, die Signalkurve beginnt zu laufen. Denselben Effekt hat natürlich auch, wenn die Signalamplitude zu klein wird. Drehen Sie (bei einem festen Trigger-Pegel von 1,0 V) an der Amplitude am Funktionsgenerator um dies zu bestätigen.
2. Eventuell ist Ihnen aufgefallen, dass sich beim Verstellen des Triggerpegels das Signal in horizontaler Richtung verschiebt. Warum ist dies so? Machen Sie sich klar, an welcher Stelle auf dem Bildschirm der Triggerprozess stattfindet. Drehen Sie am Frequenzregler des Funktionsgenerators. Die Trigger-Stelle ist genau diejenige Stelle auf dem Bildschirm, an dem das Signal fest verankert ist.
3. Stellen Sie im **TRIGGER MENU** den Triggerprozess auf fallende Flanke um und wieder zurück. Was beobachten Sie?
4. Drücken Sie nun die Taste **Single**. Sie sollten beobachten, dass nach dem nächsten Triggervorgang das Signal festgehalten wird und keine Aktualisierung mehr stattfindet. Dies können Sie auch dadurch bestätigen, indem Sie wieder leicht am Frequenzregler des Funktionsgenerators drehen. Ein erneuter Druck auf **Single** hält dann abermals das nächste, getriggerte Signal fest. Durch Druck auf **Run/Stop** kommen Sie zur normalen Betriebsweise mit fortlaufender Triggerung zurück.

Zweikanalbetrieb

1. Stellen Sie nun zusätzlich eine Verbindung zwischen dem Funktionsgenerator–Ausgang SYNC und dem 2. Eingangskanal des Oszilloskops her. Eventuell muss CH2 durch Drücken der CH2 MENU–Taste erst noch aktiviert und richtig eingestellt werden. Schieben Sie beide Signale in vertikaler Richtung so, dass die beiden Nulllinien in der Bildschirmmitte liegen.
2. Mit Hilfe des Mathematik Menüs MATH können Sie nun z.B. die algebraische Summe bzw. Differenz der beiden Signale betrachten. (Achten Sie auf die jeweiligen Skalierungen der Kanäle.) Schalten Sie anschließend den Mathematik Modus wieder aus.

4.6.2 Messung der Signallaufzeit in einem BNC–Kabel

Ein elektrisches Signal, das in einem Kabel transportiert wird, besitzt eine sehr hohe, aber trotzdem endliche Geschwindigkeit. Bei vielen Messproblemen in der Praxis ist dieser Aspekt vollkommen vernachlässigbar, in bestimmten Situationen aber kann die Berücksichtigung der endlichen Signalgeschwindigkeit ein wesentlicher Punkt sein. Im Folgenden soll die Signalgeschwindigkeit in den von uns benutzten BNC–Kabeln gemessen werden. Als Signalquelle benutzen wir den SYNC–Ausgang des Funktionsgenerators, da dieser Rechtecksignal mit sehr steilen Flanken liefert. Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Verzweigen Sie das SYNC–Signal direkt am Funktionsgenerator–Ausgang mit einem BNC–Verteiler. Verbinden Sie eine Seite mit einem 1 m langen Kabel mit dem 1. Kanal des Oszilloskops. Die andere Seite verbinden Sie ebenfalls mit einem 1 m langen Kabel mit dem 2. Kanal des Oszilloskops.
2. Stellen Sie nun beide Signale mit *höchstmöglicher* Zeitauflösung dar. (Hinweis: Die Bandbreite des Oszilloskops sollte nicht begrenzt sein, eventuell muss im CH1– und CH2–Menü die *Bandbreitenbegrenzung* auf AUS gestellt werden.) Verschieben Sie mit den POSITION–Reglern beide Signal übereinander. Stellen Sie den Bereich des Signalanstiegs möglichst groß dar. Es sollte kein Zeitversatz zwischen beiden Signalen erkennbar sein.
3. Ersetzen Sie nun das 1 m lange Kabel zum 2. Kanal des Oszilloskops durch ein 2 m langes Kabel. Messen Sie den Zeitversatz, mit dem die beiden Signale zueinander am Oszilloskop ankommen. Berechnen Sie daraus die Signalgeschwindigkeit im BNC–Kabel.
4. Ersetzen Sie das 2 m lange Kabel durch ein 3 m langes Kabel und wiederholen Sie die Messung. Berechnen Sie auch hier die Signalgeschwindigkeit.
5. Stimmen die Signalgeschwindigkeiten aus den beiden Messungen überein? Auf wieviel Prozent der Vakuumlichtgeschwindigkeit $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s kommen Sie? Woher kommt der Unterschied zur Vakuumlichtgeschwindigkeit⁵?

4.6.3 Messungen an einem Tief– bzw. Hochpassfilter

Im Folgenden sollen Messungen an einem Tief– bzw. Hochpassfilter durchgeführt werden. Im einfachsten Fall kann ein solcher Filter aus einem ohmschen Widerstand (Widerstand R) und einem Kondensator (Kapazität C) aufgebaut werden. Eine solche Schaltung stellt einen frequenzabhängigen Spannungsteiler dar, da der (Blind–)Widerstand des Kondensators frequenzabhängig ist. Beide Schaltungen sind in Bild 4.1 ersichtlich. Entscheiden

⁵Hinweis: Der aus der Optik bekannte Brechungsindex beträgt für Polyethylen $n_{PE} = 1,5$.



Abbildung 4.1: Links: RC-Tiefpass / Rechts: RC-Hochpass

Sie selbst, ob Sie einen Tief- oder Hochpass untersuchen wollen. Bauen Sie diesen auf dem Steckbrett auf. Das Eingangssignal liefert der Output Ausgang des Funktionsgenerators. Verwenden Sie zum Anschluss die Kabel, die auf der einen Seite einen BNC-Stecker und auf der anderen Seite zwei Bananenstecker haben. Der schwarze Stecker befindet sich dann automatisch auf Erdpotential. Kanal 1 des Oszilloskops soll das Eingangssignal darstellen, Kanal 2 das Ausgangssignal der Filterschaltung.

Bestimmung der Durchlasskurve

Als erstes soll die Durchlasskurve bestimmt werden. Diese gibt an, wie stark eine bestimmte Frequenz (eines Sinussignals) vom Filter durchgelassen wird. Ein Tiefpass lässt bevorzugt kleine Frequenzen durch, ein Hochpass entsprechend hohe Frequenzen. Außerdem entstehen frequenzabhängige Phasenverschiebungen zwischen Eingang- und Ausgang, diese sollen hier aber nicht näher untersucht werden.

1. Stellen Sie den Funktionsgenerator auf **Sinus** mit einer Signalamplitude von 1,5 V (also 3,0 V_{pp}). Um die Durchlasskurve zu erhalten, bestimmen Sie nun für verschiedene Frequenzwerte das Amplitudenverhältnis von Ausgangs- zu Eingangssignal. Tragen Sie diese Verhältnis-Werte über der Frequenz im beigefügten Diagramm ein (Frequenzachse logarithmisch, Achse für das Amplitudenverhältnis linear).

Das etwas mühsame Ablesen der Werte aus den Signalkurven, das Sie bereits kennen gelernt haben, wollen wir uns für diese Messreihe ersparen. Lassen Sie sich stattdessen vom Oszilloskop die Amplitudenwerte oder Spitzen-Spitzen-Werte anzeigen (MEASURE → CH1 → Sp-Sp, Kanal 2 analog). Trotzdem müssen Sie die Skalierung immer so nachstellen, dass die Signale jeweils möglichst bildschirmfüllend erscheinen! Nur dann sind die Messungen genau. Beachten Sie auch, dass sich die Amplitude der Eingangsspannung mit der Frequenz etwas ändern kann. Bei der Wahl der Frequenzwerte können Sie sich an der logarithmischen Achse des Zeichenpapiers orientieren. Insbesondere im Übergangsbereich soll die Durchlasskurve gut erkennbar werden.

Hinweis: Bevor mit der Messung begonnen wird, ist es ratsam, den ganzen Frequenzbereich (ca. 10 Hz bis 100 kHz) einmal schnell durchzufahren, um die Wirkung des Filters zu sehen.

2. Für jeden Tief- bzw. Hochpass gibt es eine charakteristische Frequenz, die sogenannte Grenzfrequenz $f_G = 1/(2\pi RC)$. Bei f_G gilt für das Verhältnis von Ausgangsspannung U_A und Eingangsspannung U_E folgendes: $U_A/U_E = 1/\sqrt{2}$.

Berechnen Sie mit den gegebenen Bauteilwerten Ihre Grenzfrequenz f_G .
Bestimmen Sie aus Ihrem Messdiagramm die experimentelle Grenzfrequenz f_G und vergleichen Sie diese mit der berechneten.

Verhalten des Filters im Sperrbereich

Im Folgenden sollen Sie Ihren Filter im Sperrbereich betreiben, d.h. mit einer Frequenz, bei der Sie nur ein kleines Ausgangssignal erhalten. Untersuchen Sie dabei folgendes:

1. Schalten Sie am Funktionsgenerator das Signal auf **Rechteck (Square)**. Betrachten Sie das Ausgangssignal (mit geeigneter Skalierung am Oszilloskop). Skizzieren Sie Eingangs- und Ausgangssignal in Ihr Protokollheft.
2. Stellen Sie den Funktionsgenerator nun auf **Dreieck (Ramp)** und wiederholen Sie die Messung.
3. Können Sie folgende Aussage anhand Ihrer Messergebnisse verstehen/belegen?
Wird ein Tiefpass im Sperrbereich betrieben, so wirkt er wie ein Integrierer.
bzw.
Wird ein Hochpass im Sperrbereich betrieben, so wirkt er wie ein Differenzierer.

4.6.4 Messungen an einer Photodiode

Eine Photodiode ist ein elementares elektronisches Bauteil, das auftreffendes Licht in elektrische Signale umwandelt. Die Photonen des Lichts erzeugen dabei im Halbleitermaterial der Diode Elektron-Loch-Paare. Eine gewisse Photonenzahl wird also in eine elektrische Ladungsmenge umgewandelt bzw. eine gewisse Photonenzahl pro Zeiteinheit (entspricht Lichtleistung) wird in einen elektrischen Strom umgewandelt. Da das Oszilloskop nur Spannungen messen kann, muss zunächst der Strom in eine Spannung umgesetzt werden. Dieses grundlegende messtechnische Problem wird im einfachsten Fall mit Hilfe eines ohmschen Widerstands gelöst, durch welchen der zu messende Strom hindurchfließt. Wegen des ohmschen Gesetzes $U = R \cdot I$ ist die Spannung zwischen den Anschlüssen des Widerstands (zu jedem Zeitpunkt) proportional zur Stromstärke. Auch im folgenden Versuch wird dieser Effekt benützt werden. Gehen Sie folgendermaßen vor:

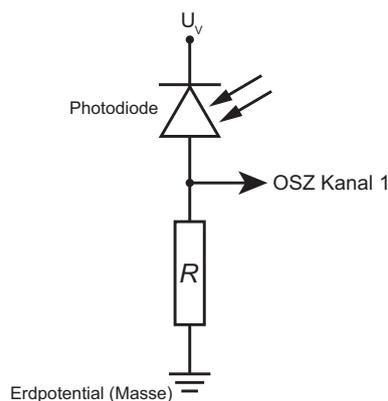


Abbildung 4.2: Beschaltung der Photodiode

1. Bauen Sie die Schaltung gemäß Abbildung 4.2 auf dem Steckbrett auf. Die Photodiode wird mit einer Versorgungsspannung von $U_V = +12\text{ V}$ in Sperrrichtung

betrieben (Polarität beachten). In diesem Fall fließt dann nur der Strom, welcher vom einfallenden Licht erzeugt wird. Die lichtempfindliche Fläche ist die seitliche, dunkle Fläche. Verwenden Sie denselben Widerstand wie bei der Filterschaltung (R beträgt einige $k\Omega$). Die Versorgungsspannung entnehmen Sie dem Labornetzgerät. (Hinweis: Die Spannung liegt zwischen der blauen und roten Buchse am Netzgerät an. Die Ausgänge sind potentialfrei, d.h. ihre Spannung relativ zum Erdpotential ist zunächst nicht definiert.)

Achtung: Legen Sie keine Spannung ohne Vorwiderstand in Durchlassrichtung an die Diode an! Die Diode wird dadurch im Normalfall zuverlässig zerstört.

2. Greifen Sie mit dem Oszilloskop die Spannung am ohmschen Widerstand ab. We-deln Sie mit dem Licht der Taschenlampe aus kurzem Abstand über die Photodi-ode. Stellen Sie das Oszilloskop so ein, dass Sie entsprechende Spannungsausschläge sehen können. (Triggermodus **AUTO**)
3. Messen Sie die Blitzdauer Ihrer Handy-Kamera. (Triggermodus **Normal** oder **Single**)
4. Verwenden Sie die beim Versuch ausliegende Infrarot-Fernbedienung als Signal-quelle. Derartige Fernbedienungen kommen bei den meisten Geräten der Unter-haltungselektronik zum Einsatz. Das Infrarot-Licht ist für das menschliche Auge unsichtbar, erzeugt jedoch in der Photodiode einen Photostrom.⁶ Versuchen Sie die Signale verschiedener Tasten der Fernbedienung darzustellen. Bestimmen Sie die Trägerfrequenz, die allen Signalen zu Grunde liegt.
5. Verwenden Sie nun die Photodiode und die Taschenlampe als Lichtschranke und stellen den Lüfter als Messobjekt dazwischen. Stecken Sie den Lüfter an die Ver-sorgungsspannung von $U_V = +12\text{ V}$ an, die auf dem Steckbrett bereits vorhanden ist. Welche Frequenz messen Sie? Bestimmen Sie daraus die Drehzahl des Lüfters in der Einheit Umdrehungen pro Minute.
6. Bei ausreichend Zeit und Interesse: Kontrollieren Sie die Drehzahl des Lüfters mit dem Hand-Stroboskop. Können Sie zusätzlich zum Licht der Lichtschranke das Stroboskoplicht auf dem Oszilloskop erkennen?

4.6.5 Messungen an einem Piezoelement

Ein Piezoelement ist ein technisches Bauteil, das sich mit Hilfe eines geeigneten Kristalls oder auch einer speziellen Keramik den Piezo-Effekt zu Nutze macht. Beim Piezo-Effekt wird durch das Einwirken einer mechanischen Kraft eine Spannung erzeugt bzw. in der Umkehrung wird durch Anlegen einer Spannung eine kleine Längenänderung des Kristalls hervorgerufen. Piezoelemente werden in einer Vielzahl von Anwendungen in der Sensorik (z.B. Druckaufnehmer, Schallaufnehmer) aber auch in der Aktorik (z.B. Positionierung mit nm Genauigkeit, Schallerzeugung) verwendet. In Feuerzeugen mit Piezo-Zündung erzeugen sie eine Spannung von mehreren Tausend Volt.

1. Schließen Sie das Piezoelement direkt an den Eingang des Oszilloskops an. Legen Sie das Element auf den Tisch und tippen mit dem Finger bzw. Fingernagel darauf. Stellen Sie das Spannungssignal dar. (Hinweis: verwenden Sie dazu eine langsame Zeitablenkung von z.B. $0,5\text{ s/DIV}$ und den Triggermodus **Auto**)

⁶Photodioden werden (in integrierter Bauweise) auch in den Bildaufnahme-Chips von Digital-Kameras verwendet. Daher kann auch mit diesen Kameras das Infrarot-Licht sichtbar gemacht werden.

2. Lassen Sie das Piezoelement an den Kabelanschlüssen baumeln und klopfen Sie z.B. mit einem Kugelschreiber dagegen. Sie können nun die mechanische Eigenschwingung des Plättchens beobachten bzw. die Spannung, die das Piezoelement dazu liefert. Messen Sie die Periodendauer dieser Eigenschwingung mit dem Oszilloskop und bestimmen Sie daraus die Frequenz. (Hinweis: schalten Sie dazu auf den Triggermodus **Normal** oder **Single**)
3. Nun soll das Piezoelement zu einer erzwungenen mechanischen Schwingung ange-regt werden. Wir nützen dazu den Effekt, dass eine angelegte Spannung das Plätt-chen verformt. Trennen Sie das Piezoelement vom Oszilloskop und schließen Sie es an den Funktionsgenerator an (Ausgang **Output**, Signalform **Sinus**). Drehen Sie die Amplitude maximal auf und variieren Sie die Frequenz. Bei einer bestimmten Frequenz ist die Anregung resonant, was sich durch maximale Lautstärke äußert. Stimmt diese Frequenz mit der oben bestimmten Eigenfrequenz überein?
4. Ein Piezoelement eignet sich auch in einfacher Weise dazu, die Schallgeschwindig-keit in Metallstäben zu messen. Legen Sie das Piezoelement auf den Fußboden und stellen zunächst die kürzere Metallstange ($l = 75 \text{ cm}$) direkt auf die Oberseite des Plättchens. Klopfen Sie nun mit dem kleinen Hammer leicht (!) auf das obere Ende der Metallstange. Stellen Sie die Zeitablenkung auf 5 ms/DIV und den Trigger des Oszilloskops auf **Normal** oder **Single**. Neben einer langsamen Schwingung sollten Sie auch eine schnelle beobachten können. Stellen Sie letztere möglichst gut dar (Messung wiederholen) und bestimmen Sie die Periodendauer. Diese Periodendauer ist die Zeitdauer, die der Schallimpuls benötigt, um den Stab zweimal entlangzulaufen. (Warum?) Ermitteln Sie daraus die Schallgeschwindigkeit in dem Metallstab.
5. Wiederholen Sie zur Kontrolle die Messung mit dem langen Metallstab ($l = 150 \text{ cm}$) bei gleicher Oszilloskopeinstellung.

Durchlasskurve

