

Versuch EP6 Sensoren

I. Zielsetzung des Versuches

In diesem Versuch sollen Sie lernen, wie man verschiedene nicht-elektrische Größen wie Licht, Temperatur, Luftfeuchte oder Schall in elektrische Signale umwandeln kann. Mit moderner, computergestützter Meßtechnik können solche Meßgrößen dann weiterverarbeitet werden.

II. Vorkenntnisse

1. allgemeine und spezielle Vorkenntnisse

- Funktionsweise von Diode und Transistor, p-n-Übergang, Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren durch Lichtquanten
- Funktionsweise und Eigenschaften von Photowiderstand (LDR), Photodiode und Phototransistor
- Funktionsweise von Leuchtdioden, Erzeugung von Lichtquanten bei Elektron-Loch-Rekombination
- Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands bei Metallen und Halbleitern
- Funktionsprinzip von Thermoelementen, Thermospannung
- Induktion, Induktionsgesetz, Abhängigkeit zwischen Induktionsspannung und Magnetfeld(-änderung)
- Funktionsweise verschiedener Mikrofone (dynamisch, Kondensator- bzw. Elektretmikrofon)
- Plattenkondensator, Einfluß eines Dielektrikums

III. Theorie zum Versuch

Wird kurz bei den jeweiligen Versuchsteilen erklärt.

IV. Versuchsprogramm

1. Lichtmessung

Für die Messung von Licht stehen verschiedene Sensortechniken zur Verfügung.

1.1. Photodiode

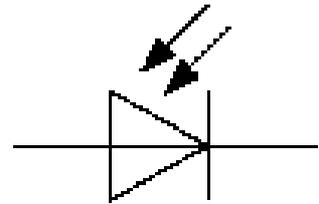
Weit verbreitet hingegen sind die Photodioden. Es handelt sich um Dioden (vgl. Versuch EP2), die so aufgebaut sind, daß einfallende Photonen Elektron-Loch-Paare erzeugen können. Vorteile der Photodioden sind neben ihrer hohen Geschwindigkeit (Schaltverhalten im Nanosekundenbereich ist erreichbar) die hohe Linearität, also genaue Proportionalität zwischen Lichtleistung und Photostrom. Nachteilig ist der relativ geringe Photostrom und die starke Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Wellenlänge, sie ist bei normalen Photodioden am höchsten im nahen Infrarotbereich. Die Photospannung kann nur maximal etwa 0,6 Volt sein, sie ist nichtlinear (logarithmisch) von der Lichtstärke abhängig. Im Versuch EP4 haben Sie bereits mit der Photodiode gearbeitet (Auswertung des Photostroms mit dem Operationsverstärker, sogenannter Transimpedanzverstärker).



Bauelement



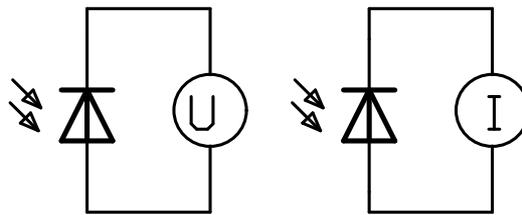
Im Steckgehäuse



Schaltsymbol

Bauen Sie die folgende Schaltung auf (auch hier können Sie das Steckelement direkt ins DVM einsetzen). Messen Sie die Abhängigkeit des Photostroms bzw. der Photospannung von der einfallenden Lichtleistung. Sie können auch hier die (relative) Lichtleistung definiert verringern, indem Sie vor die Photodiode spezielle Filter setzen (siehe oben).

Was fällt auf? Wie ändert sich der Photostrom mit der relativen Lichtintensität, wie ändert sich die Photospannung?

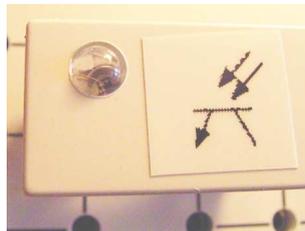


1.2. Phototransistor

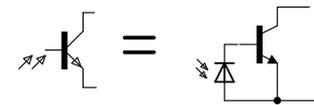
Der Nachteil des geringen Photostroms tritt bei Phototransistoren nicht mehr auf. Schaltungstechnisch können Sie einen Phototransistor verstehen als eine Photodiode, die ihren geringen Photostrom an die Basis eines normalen Transistors gibt, der diesen mehr als hundertfach verstärkt. In der Praxis ist die Photodiode identisch mit dem Basis-Emitter-Übergang des Transistors. Man kann sogar einen normalen Transistor zum Phototransistor¹ machen, wenn man dessen (Metall-)gehäuse öffnet und Licht auf den Transistorchip fallen läßt.



Bauelement

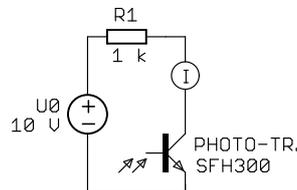


Im Steckgehäuse



Schaltsymbol und Prinzip

Messen Sie den Strom durch den Phototransistor (Typ SFH300) mit folgender Schaltung bei unterschiedlicher Beleuchtung.

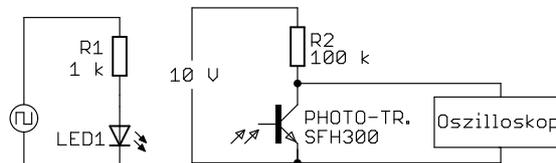


Vergleichen Sie grob seine Empfindlichkeit mit der einer Photodiode, d.h. tauschen Sie in dieser Schaltung den Phototransistor gegen die Photodiode aus. Beachten Sie die Polarität! Der Phototransistor wird wie ein normaler (NPN-)Transistor angeschlossen, Kollektor an Plus. Eine Photodiode hingegen wird in Sperrichtung betrieben. Vergessen Sie keinesfalls den Vorwiderstand R1 zur Strombegrenzung!

¹Die Abbildung „Schaltsymbol und Prinzip“ zeigt einen Transistor mit Photodiode an der Basis. Das funktioniert in der Praxis nicht immer, z.B. wenn die Diode eine zu geringe Spannung liefert. Will man sich tatsächlich einen Phototransistor als Zusammenschaltung aus Photodiode und Transistor herstellen, ist es besser, die Photodiode zwischen Kollektor und Basis zu schalten (Kathode an Kollektor, also Sperrichtung).

Als Anwendung geben Sie z.B. das (unsichtbare wein infrarote) Lichtsignal einer Fernbedienung (selbst mitbringen!) auf den Phototransistor und sehen Sie sich die Impulsfolge auf dem Oszilloskop an. Alternativ können Sie auch eine Leuchtdiode (am besten IR-LED) an den Impulsgenerator (Rechteck, mind. 2 V) anschließen, **vergessen Sie nicht den Vorwiderstand! 1 k Ω ist ausreichend.**

Die LED schließen Sie über zwei Kabel an, damit Sie sie über den im Steckbrett befindlichen Phototransistor halten können.

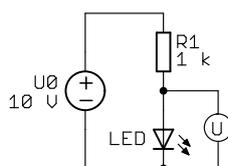


1.3. Leuchtdioden als Lichtquelle

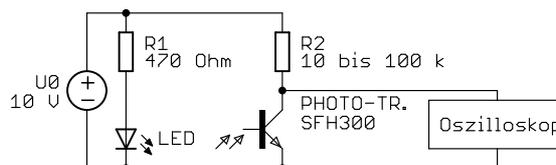
In diesem Zusammenhang dürfen natürlich nicht die **Leuchtdioden (LEDs)** vergessen werden, die inzwischen vom Infraroten über nahezu alle sichtbaren Wellenlängen bis zum UV-Licht verfügbar sind und inzwischen mit enormen Lichtausbeuten mehr und mehr die klassischen Glühlampen verdrängen. Im Gegensatz zu diesen können alle Leuchtdiodenkristalle nur Licht eines eng begrenzten Spektralbereiches produzieren. Alle (sichtbaren) LEDs sind also farbig. Dennoch werden „weiße“ LEDs angeboten. Bei ihnen werden entweder mehrere farbige LEDs (z.B. rot, grün, blau) geschickt kombiniert, so daß das Mischlicht als weiß empfunden wird, oder eine UV-LED sitzt in einem gelblichen Leuchtstoff, der vom UV-Licht angeregt ein sehr breites Spektrum an gelbweißem Licht produziert, das zusammen mit dem bläulichen Anteil der UV-LED als weißes Licht wahrgenommen wird.

Probieren Sie verschiedene LEDs aus, vergessen Sie nicht den Vorwiderstand, um den Strom zu begrenzen. Unsere LEDs sollten nicht mehr als 20 mA bekommen, durch den Vorwiderstand (etwa 1 k Ω) wird der Strom sicher unter 10 mA bleiben. Wir haben die LEDs nicht in eigene Steckerbauelemente eingebaut, biegen Sie also die Anschlußbeinchen auseinander und stecken Sie sie einfach in die oberen Öffnungen an den Steckern eines leeren Steckerbauelementes.

Wie der Name schon sagt, lassen *Leuchtdioden* nur in eine Richtung Strom fließen. Der längere der beiden Anschlußdrähte gehört an den Pluspol. Die unterschiedlichen Farben brauchen auch unterschiedliche Versorgungsspannungen. Messen Sie die Durchlass-Spannungen für die verschiedenen LEDs mit folgender Schaltung. Welchen Zusammenhang den Spannungen und den verschiedenen LED-Farben (Infrarot IR, rot, orange/amber, gelb, grün, blau, violett, weiß) erkennen Sie? (Wie hängt die Photonenenergie von der Farbe bzw. Wellenlänge bzw. Frequenz des Lichts ab?)



Bauen Sie sich mit einer IR-LED und einem Phototransistor eine Lichtschranke, die Ausgangsspannung geben Sie auf das Oszilloskop. Unterbrechen Sie die Lichtschranke periodisch mit einem Gegenstand. Am Oszilloskop wählen Sie am besten eine langsame Zeitskala wie z.B. 250 ms.



Eine solche Lichtschranke befindet sich auch in einem Fingerpulsaufnehmer, dort schwächt der pulsierende Blutstrom das Infrarotlicht periodisch ab. Am Oszilloskop können Sie dann Ihren Puls sehen. Für eine störungsfreie Weiterverarbeitung müßte dieses Signal noch gefiltert und verstärkt werden. Dieses Thema wird in einem späteren Versuch in einigen Wochen mit diesem Pulsaufnehmer noch genauer behandelt.

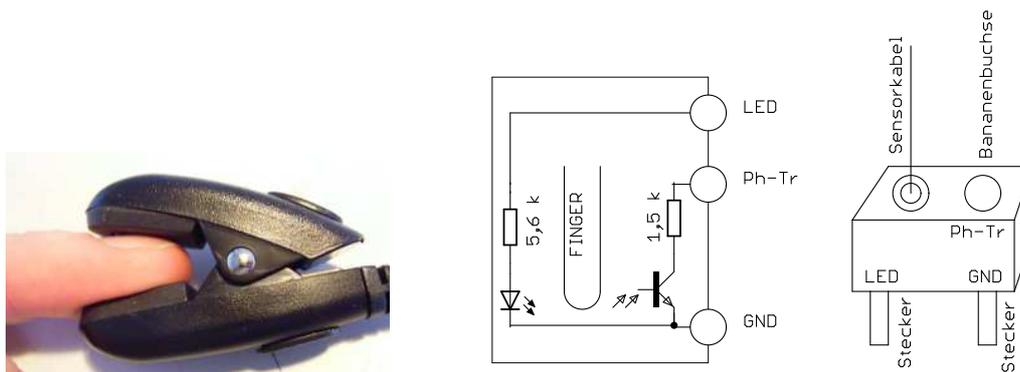
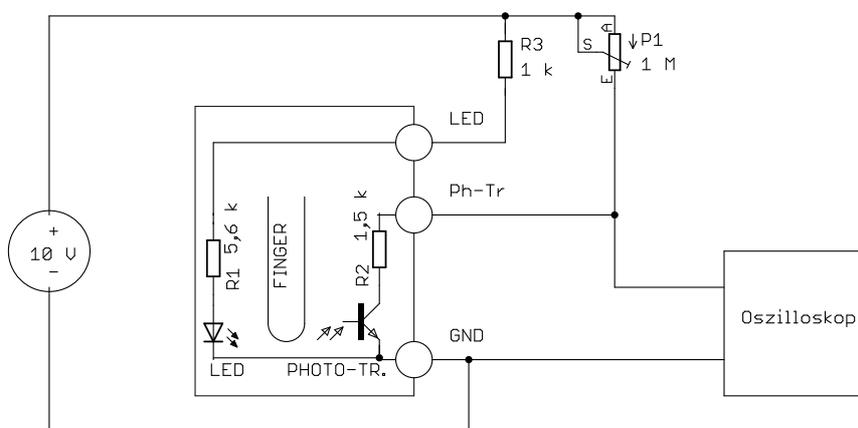


Abbildung Fingerpulssensor, Innenbeschaltung und Abbildung des Steckelementes

Der Fingerpulsaufnehmer hat an seinem Kabel einen Stereoklinkenstecker. Damit Sie ihn auf unserem Steckbrett verwenden können, gibt es ein spezielles Steckelement mit einer passenden Klinkenbuchse (Kopfhörerbuchse). Stecken Sie den Fingerpulsaufnehmer dort ein.

Das Steckelement hat wie üblich an seiner Unterseite zwei Stecker (Versorgung der LED und GND), auf seiner Oberseite ist zusätzlich eine Bananenbuchse, die zum Kollektor des Phototransistors führt, dessen Emittor ist mit GND verbunden. Zum Schutz von LED und Phototransistor gegen falsche Beschaltung sind im Steckelement noch Vorwiderstände ($1,5\text{ k}\Omega$ und $5,6\text{ k}\Omega$) eingebaut.

Schließen Sie den Fingerpulsaufnehmer wie folgt an Netzteil und Oszilloskop an:



Setzen Sie den Fingerpulsaufnehmer auf Ihren Finger und stellen Sie danach das $1\text{ M}\Omega$ -Potentiometer so ein, daß das Oszilloskop (oder ein DVM) eine Gleichspannung von etwa 5 V sieht. Das eigentliche Signal ist eine Schwankung von einigen 10 mV um diese 5 V . Wie müssen Sie das Oszilloskop einstellen, um das Signal gut zu sehen? Die Autosettaste hilft bei diesem Signal nicht weiter! (Tips: Was bewirkt die Einstellung AC am Oszilloskopeingang? Welchen Vorteil hat es, wenn Sie alternativ einen $1\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensator in die Leitung zwischen Phototransistor und Oszilloskop schalten? Welche Zeitskala sollten Sie wählen, um mehrere Pulsschläge auf dem Bildschirm sehen zu können? Überlegen Sie: Wie groß ist in etwa die Zeit zwischen zwei Pulsschlägen?)

Damit das Signal nicht zu sehr durch Störsignale überlagert wird, sollten Sie die Bandbreite am Oszilloskop nicht auf „voll“, sondern auf „ 20 MHz “ stellen. Außerdem sollten Sie *unmittelbar* am Oszilloskop einen Kondensator $0,1\text{ }\mu\text{F}$ aufstecken, d.h. direkt von hinten auf die Bananenstecker, die im BNC-Adapter am Oszilloskop stecken.

2. Temperaturmessung

2.1. PTCs

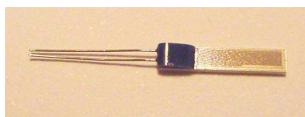
Fast alle Materialien haben einen temperaturabhängigen elektrischen Widerstand. Bei einem Stück Kupferdraht zum Beispiel nimmt er um rund 0,4 % zu pro Kelvin Temperaturerhöhung.

In der gleichen Größenordnung, aber linearer, ist der Temperaturkoeffizient von Platin. Daher werden Sensoren aus dünnen Platindrähten oder -schichten angeboten (Pt100, Pt1000). Da der Widerstand mit der Temperatur zunimmt, spricht man von PTCs (positive temperature coefficient). Wir verwenden einen Pt1000, d.h. er hat genau 1000 Ω bei einer Temperatur von 0 $^{\circ}\text{C}$. In guter Näherung gilt:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha T)$$

wobei R_0 = Widerstand bei 0 $^{\circ}\text{C}$, z.B. 1000 Ω für einen Pt1000-Sensor,
 T = Temperatur in $^{\circ}\text{C}$ und $\alpha = 3,85 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$

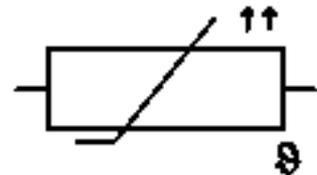
Messen Sie (grob) den PTC-Widerstand für verschiedene Temperaturen (Raumtemperatur, Erwärmung mit der Hand auf ca. 30 $^{\circ}\text{C}$, Abkühlung mit Kältespray auf ca. -40 $^{\circ}\text{C}$).



Bauelement



Im Steckgehäuse



Schaltsymbol

2.2. NTCs

Im Gegensatz zum PTC nimmt bei NTCs (negative temperature coefficient) der Widerstand mit der Temperatur ab. Alle Halbleiter haben dieses Verhalten. Spezielle Keramikmischungen haben eine starke Temperaturabhängigkeit von etwa 4 %/K, das ist rund zehnmal mehr als bei PTCs. Wir verwenden einen 10-k Ω -NTC, d.h. er hat genau 10 k Ω bei einer Temperatur von +25 $^{\circ}\text{C}$. (Bei PTCs ist die Bezugstemperatur immer 0 $^{\circ}\text{C}$, bei NTCs ist sie immer +25 $^{\circ}\text{C}$.)

Der Widerstand eines NTCs folgt einer e-Funktion gemäß der Formel:

$$R_{NTC}(T) = R_{25} e^{(-B(\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T}))}$$

mit R_{25} = Widerstand bei $T = 25^{\circ}\text{C}$

und B = B-Wert, Steilheit der Exponentialkurve (typ. Werte je nach Sensormaterial um 3000 K bis 4000 K).

$T_{25} = 25^{\circ}\text{C} = 298,15\text{ K}$, T = Temperatur.

Achtung: T und T_{25} in Kelvin (K) einsetzen, also den Celsiuswert um 273,15 erhöhen!

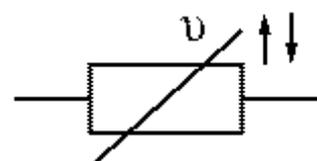
Machen Sie sich das Aussehen der NTC-Exponentialkurve an einer Skizze klar! Nehmen Sie $B = 3500\text{ K}$ an (wieso hat B die Einheit Kelvin?). Berechnen Sie den Widerstand für -100, 0, +25, +50, +100 und +1000 $^{\circ}\text{C}$.



Bauelement



Im Steckgehäuse



Schaltsymbol

Messen Sie (grob) den NTC-Widerstand für verschiedene Temperaturen (Raumtemperatur, Erwärmung mit der Hand auf ca. 30 $^{\circ}\text{C}$, Abkühlung mit Kältespray auf ca. -40 $^{\circ}\text{C}$). Schätzen Sie den Temperaturkoeffizienten ab (Raumtemperatur ca. 20 $^{\circ}\text{C}$, Handtemperatur ca. 30 bis 35 $^{\circ}\text{C}$). Sie können die Steckelemente wieder direkt ins Ohmmeter einstecken.

2.3. Thermoelemente

Thermoelemente entstehen, wenn zwei unterschiedliche Metalle verbunden (in der Praxis: verschweißt) werden. Bei unserem Thermoelement handelt es sich um eines vom Typ K, d.h. es besteht aus Nickel-Chrom/Nickel und ist einsetzbar von $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $1370\text{ }^{\circ}\text{C}$. Solche Elemente können je nach Bauart auch bei extremen Temperaturen von über 1000 Grad eingesetzt werden. Sie liefern aber nur sehr geringe Signale von wenigen zehn Mikrovolt pro Kelvin.

Strenggenommen müssen zwei solcher Metallübergänge in Reihe geschaltet werden, wobei einer auf eine Referenztemperatur ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, also Eiswasser) gehalten wird, der andere dient zur Temperaturmessung. In einer solchen Schaltung liegen beim Typ K die Thermospannungen zwischen -6.5 mV bei $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ und 54.9 mV bei $1372\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hat man nur einen Übergang (wie bei unseren Element) und geht davon aus, daß die unvermeidlichen anderen Übergänge (Steckkontakte etc.) auf Raumtemperatur liegen, läßt sich auch so die Temperatur relativ genau messen.



Meßspitze des Thermoelementes



Im Steckgehäuse



Schaltsymbol

Verbinden Sie das Thermoelement direkt mit dem DVM (Meßbereich so empfindlich wie möglich, also 200 mV). Welche Thermospannung messen Sie bei Erwärmung mit der Hand und Abkühlung mit Kältespray?

Probieren Sie die verschiedenen Sensoren (PTC, NTC, Thermoelement) aus. Für welche Anwendungen würden Sie die jeweiligen Typen einsetzen?

Um tiefe Temperaturen zu erzeugen, gibt es evtl. Kältespray oder Eiswürfel/Eiswasser (fragen Sie den Assistenten danach). Mit dem Kältespray können bis zu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht werden.

3. Kraft

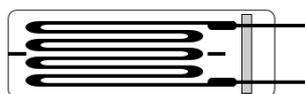
Kräfte können auf zwei Wegen in ein elektrisches Signal umgewandelt werden:

1. indirekt über Dehnungsmeßstreifen. Das sind Systeme aus Kunststofffolien und dünnen Leiterbahnen, die bei Deformation ihren elektrischen Widerstand ändern. Werden sie auf einen elastischen Träger (z. B. eine Stahlfeder) aufgeklebt, deformiert die Kraft die Feder und den Meßstreifen und führt zu einer Widerstandsänderung.
2. direkt über den piezoelektrischen Effekt. Die Kraft deformiert den Piezokristall und führt zu einer elektrischen Spannung an den Kristallelektroden.

Wir wollen im folgenden die Eigenschaften von Dehnungsmeßstreifen untersuchen. (**Momentan stehen nur einzelne dieser Meßelemente zur Verfügung. Bitte wechseln Sie sich mit Ihren Nachbargruppen ab.**)

3.1. Elementare Dehnungsmeßstreifen

Die folgenden Abbildungen zeigen einen einzelnen Dehnungsmeßstreifen. Es handelt sich um eine dünne Schicht Widerstandsdraht auf einer Kunststoffolie. Wird sie gedehnt oder gestaucht, nimmt der Widerstand dieser Schicht zu bzw. ab (warum?).



Skizze eines Dehnungsmeßstreifens



Foto

Es sind zwei Dehnungsmeßstreifen an Leybold-Steckelementen montiert. Eines ist in eine Schutzfolie gelegt (die Widerstandsschicht ist oben), das andere ist auf einen Streifen Leiterplattenmaterial geklebt, wodurch eine stärkere Dehnung bzw. Stauchung möglich wird, wenn der Streifen verbogen wird.

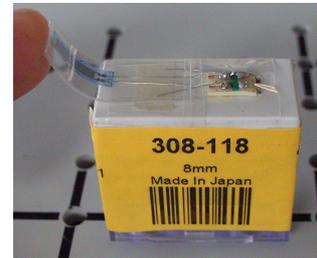
Schließen Sie ein solches Element an ein Digitalmultimeter (Ohmmeter) an, sie können es direkt in die beiden Buchsen des DMM stecken. Messen Sie für beide Elemente jeweils den Widerstand im neutralen, gedehnten oder gestauchten Zustand. Die folgenden Fotos zeigen Ihnen, daß Sie sehr weit verbiegen können. Trotzdem werden Sie nur winzige Änderungen des Widerstandes messen. Bei einem Widerstand von typisch etwa 120Ω ergeben sich Änderungen von nur wenigen $0,1 \Omega$.



Element 1



gedehnt



gestaucht



Element 2



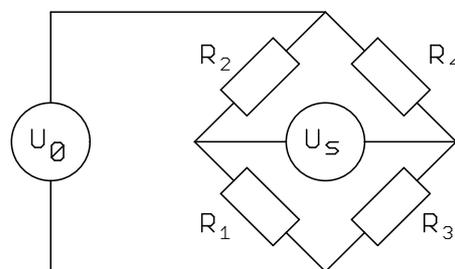
gedehnt



gestaucht

3.2. Dehnungsmeßstreifen in Wheatstonescher Messbrücke, Wägezellen

Die Änderungen des Widerstandes sind sehr gering. Um brauchbare Meßsignale zu bekommen, verbindet man vier solcher Dehnungsmeßstreifen in einer WHEATSTONESchen Messbrücke. Oben und unten wird eine Versorgungsspannung U_0 angelegt. Das Ausgangssignal ist die Spannung U_s zwischen dem linken Knoten (R_1, R_2) und dem rechten Knoten (R_3, R_4).



Wheatstonesche Meßbrücke

Man montiert die Dehnungsmeßstreifen so, daß sich z.B. bei Streckung R_1 und R_4 vergrößern, während sich R_2 und R_3 verkleinern.

Wir haben für unseren Versuch eine sogenannte Wägezelle (im WS2014/15 sind drei Exemplare vorhanden).



Wägezelle auf Halter

Die Wägezelle ist an einem Ständer montiert. An die Schraube auf der linken Seite werden Gewichte gehängt (Halter mit Scheibengewichten). Die Gewichte haben 10 g, 50 g und 100 g, der Halter selbst wiegt 100 g.



Gewichte und Halter



Belastete Wägezelle im Ständer

Schließen Sie die Wägezelle an eine Gleichspannung von 10 V an. Dazu wird an den Stecker am Wägezellenkabel ein Adapterkabel mit Bananensteckern angeschlossen (roter und schwarzer Bananenstecker für die Versorgungsspannung U_0 , die beiden grünen Stecker haben die Signalspannung U_s , Polarität ist egal). Messen Sie die Versorgungsspannung mit dem DVM genau nach. Messen Sie dann die Signalspannung für die Wägezelle im unbelasteten Zustand sowie bei Belastung zwischen 50 g und 600 g in 50-g-Schritten. Die Belastung mit 50 g erreichen Sie, indem Sie nur ein rotes 50-g-Gewicht an der Hakenseite oben auf die Wägezelle legen. Für den Bereich 100 g bis 600 g benutzen Sie den Gewichtehalter. **Wichtig: Bitte nicht mehr als 600 g anhängen!** Prüfen Sie für *einen* Meßwert nach, ob Sie einen Unterschied sehen, wenn Sie die Belastung um nur 10 g ändern.

Prüfen Sie nach, ob der Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung und Gewicht linear ist (Diagramm!) Vergleichen Sie die Ausgangsspannung ohne Last und bei 600 g mit dem Kalibrationswert des Herstellers (siehe Tabellen im Anhang). Die Seriennummer ist seitlich an der Wägezelle (links über dem Pfeil, sie beginnt mit M188). Da die Ausgangsspannung von der Versorgungsspannung abhängt, wird in mv/V (Millivolt pro Volt) kalibriert.

Was könnte die Ursache sein, wenn Ihre Meßwerte für 0 g und 600 g beide um den gleichen Betrag vom Kalibrationswert abweichen?

4. Luftdruckschwankungen/Schall

Langsame Luftdruckschwankungen für meteorologische Messungen lassen sich mit Barometersensoren durchführen. Sie funktionieren nach dem Prinzip der indirekten Kraftmesser: Ein luftdicht abgeschlossenes Meßvolumen wird durch den veränderlichen äußeren Luftdruck mehr oder weniger stark deformiert, die Deformation wird mit einem Dehnungsmeßstreifen gemessen.

Schnelle Luftdruckschwankungen (Schall) wird mit dem Mikrofon gemessen. Hier unterscheidet man hauptsächlich zwei Bauformen:

4.1. Dynamische Mikrofone

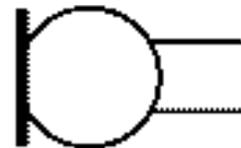
Dynamische Mikrofone haben an ihrer Membran eine kleine Spule befestigt, die in das Feld eines starken Dauermagneten eintaucht. Der Schall läßt Membran und Spule vibrieren und führt zu kleinen Induktionsspannungen.



Bauelement



Im Steckgehäuse



Schaltsymbol

4.2. Kondensator- oder Elektretmikrofone

Kondensatormikrofone (oder Elektretmikrofone) haben die Membran aus einer dünnen elektrisch leitenden Folie, die eine der beiden Elektroden eines Kondensators darstellt. Die Bewegungen der Membran verändern den Elektrodenabstand und damit die Kapazität, welche gemessen und in eine Spannung umgesetzt werden muß. Der schaltungstechnische Aufwand ist relativ hoch, sie benötigen eine hohe elektrische Vorspannung für den Kondensator, aber die Klangqualität ist deutlich besser als bei dynamischen Mikrofonen.

Bei den Elektretmikrofonen befindet sich zwischen den Kondensatorplatten eine elektrisch polarisierten Folie (Elektretfolie), dadurch ist keine hohe Kondensatorvorspannung erforderlich. Bei den meisten Elektretmikrofonen ist jedoch ein kleiner Feldeffekttransistor integriert, der das Signal mit einem geringen Ausgangswiderstand bereitstellt. Daher benötigen diese Mikrofone eine Versorgungsspannung von etwas 1,5 V.

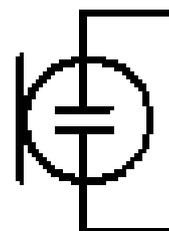
Beachten Sie, daß der Operationsverstärker eine symmetrische Versorgungsspannung braucht. Sie müssen also (wie beim Versuch mit dem Operationsverstärker) die *beiden* regelbaren Spannungsquellen zusammenschalten. Der Pluspol der einen Spannungsquelle ist die +9V-Leitung (im Schaltplan an Pin 4, im Steckelement die mit +15 V bezeichnete Buchse). Der Minuspol der anderen Spannungsquelle ist die -9V-Leitung (im Schaltplan an Pin 4, im Steckelement die mit +15 V bezeichnete Buchse).



Bauelement



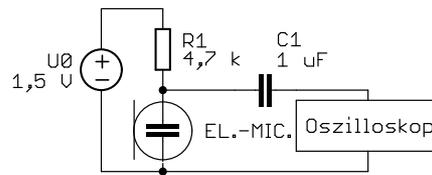
Im Steckgehäuse



Schaltsymbol

Schließen Sie ein dynamisches und ein Elektretmikrofon an das Oszilloskop an (beachten Sie die Versorgungsspannung für das Elektretmikrofon). Beobachten Sie die Signalgröße bei unterschiedlichen Lautstärken. Das dynamische Mikrofon können Sie direkt (ohne Kabel) an das Oszilloskop anschließen. Für das Elektretmikrofon bauen

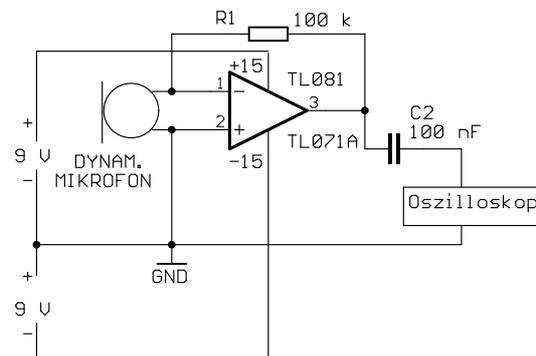
Sie folgende Schaltung auf. Welche Funktion haben R und C? Beachten Sie: Das Elektretmikrofon ist gepolt, d.h. Sie müssen auf die Plus/Minus-Markierung am Steckelement achten!



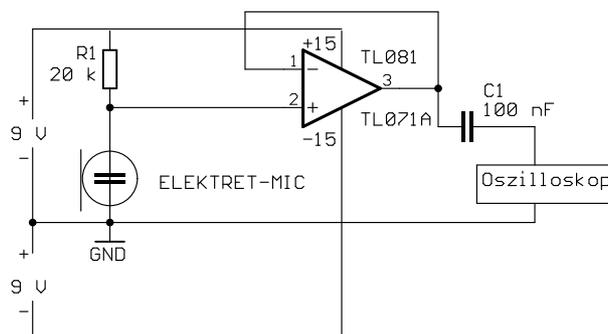
Die Signale sind sehr klein (wenige mV) und von erheblichen Störsignalen (z.B. Radio) überlagert. Sie brauchen also laute Töne oder Geräusche, die Sie mit dem Lautsprecher am Funktionsgenerator erzeugen können. Vermeiden Sie lange Bananenkabel, verwenden Sie möglichst abgeschirmte Kabel (BNC-Kabel).

Achtung: Halten Sie beim dynamischen Mikrofon mind. 10 cm Abstand zum Lautsprecher und dessen Zuleitungskabeln. Der Lautsprecher enthält ja eine mit Wechselstrom betriebene Spule, auch auf den Kabeln ist ja dieser Wechselstrom. Was nimmt die Mikrofonspule bei zu geringem Abstand außer Schall dann noch wahr?)

Mit dem aus Versuch EP4 bekannten Operationsverstärker können die Mikrofonsignale deutlich verstärkt werden. Verwenden Sie die folgenden Schaltungen für das dynamische bzw. das Elektretmikrofon. Sie können die mit +15 V und -15 V bezeichneten Versorgungsbuchsen des Op-Amp ohne weiteres auch mit nur +9 V und -9 V verbinden, wie im Schaltplan angegeben.



Schaltung für dynamisches Mikrofon



Schaltung für Elektretmikrofon

Bis zu welcher Frequenz arbeiten die Mikrofone?

5. Feuchte

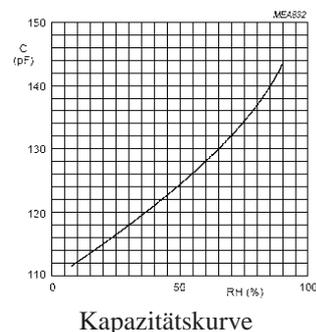
Die Messung der Feuchte in festen Stoffen (z.B. Hauswänden) kann einfach über eine Widerstandsmessung erfolgen. Um eine Korrosion oder Elektrolyse an den Meßelektroden zu vermeiden, wird als Meßspannung oft eine Wechselspannung verwendet.

Die Messung der Luftfeuchte kann z.B. kapazitiv erfolgen. Das Meßprinzip erinnert dabei an das des Kondensatormikrofons. Eine Stück poröser Keramik oder spezieller Folie wird auf beiden Seiten mit porösen Elektroden

versehen und bildet einen Kondensator. Die Luftfeuchte führt zu einer mehr oder weniger großen Einlagerung von Wasser in der Keramik bzw. Folie und damit zu einer feuchteabhängigen Kapazität.

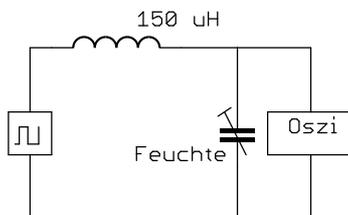


Feuchtesensor — links: zusammengebaut, rechts: die zwei Kontaktseiten, dazwischen das Folienscheibchen



Um die geringen Kapazitätsänderungen des Feuchtigkeitssensors (siehe Diagramm) messen zu können, gehen wir wie folgt vor:

Wir bilden aus dem Sensor und der 150- μ H-Spule einen LC-Kreis, den wir mit einer Rechteckspannung zu (gedämpften) Schwingungen anregen (vgl. Versuch E45 aus dem Anfängerpraktikum). Die Schwingfrequenz kann das Oszilloskop bei vernünftiger Einstellung recht gut messen (Autoset-Taste hilft nicht weiter!). Am Funktionsgenerator stellen Sie Rechteckspannung und etwa 20 kHz ein. Die Frequenz des LC-Kreises liegt bei 1 MHz.



Messen Sie die Frequenz und beobachten Sie deren Änderung bei sich ändernder Feuchte. Sie können die Feuchte schon dadurch ändern, daß Sie Ihre Hand auf den Sensor legen oder ihn anhauchen. Am Oszilloskop können Sie die die Messung automatisch durchführen lassen (Taste *Measure* und dort *Frequenz*. Die Messung wird noch besser, wenn Sie mit der Taste *Acquire* und dort *Mittelwert* die Anzeige über 128 Mittelwerte aufnehmen).

Aus der Frequenz und dem bekannten Wert für L können Sie gemäß $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ die Kapazität des Feuchtigkeitssensors berechnen. Sind die Werte plausibel? Welche Kapazität erwarten Sie bei normaler Luftfeuchte (30 - 50 %), welche bei höherer Feuchtigkeit? Die gemessenen Kapazitäten sind meist etwas größer als die im Datenblatt angegebenen, weil es parasitäre Kapazitäten (z.B. Kabel und Steckbrett) gibt, außerdem ist die Resonanzfrequenz wegen der Dämpfung etwas verschoben.

Anhang

Auszug aus den Datenblättern (Kalibrationsprotokoll) der Wägezellen

Gemeinsame Daten:

Model 1004 / Capacity 0.6 kg / Thread Type METROC / Grade HW

Input Impedance: 415 +/- 20 Ohm, Output Impedance 350 +/- 3 Ohm, Test Excitation 10 Volt

Indiv. Calibration:

Ser. No.	Zero Balance (mV/V)	Output @ 600 g load
18821057	-0.0188	0.8654
18821421	-0.0094	0.8569
18821990	0.0220	0.8605