

Auswertung

Eigenschaften elektrischer Bauelemente

Versuch P2-50

Iris Conradi und Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

21. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Temperaturabhängigkeit	3
2	Kennlinien	5
3	Phototransistor	12
4	Piezo-Element	13
5	Hochtemperatursupraleiter	15

1 Temperaturabhängigkeit

NTC Zunächst haben wir mit Hilfe von Gleichung (1) aus der Vorbereitung die abgelesenen Werte am Potentiometer in den gesuchten Widerstand umgerechnet. R_2 entspricht dabei dem abgelesenen Wert. R_1 erhält man durch abziehen des abgelesenen Wertes von $10\text{ k}\Omega$.

Um eine lineare Regression durchführen zu können, haben wir die angegebene Gleichung umgeformt:

$$R(T) = a \cdot e^{\frac{b}{T}} \quad (1)$$

$$\frac{R(T)}{r} = \frac{a}{r} \cdot e^{\frac{b}{T}} \quad \text{mit } r=1\ \Omega \quad (2)$$

$$\rightarrow \ln \frac{R}{r} = \ln \frac{a}{r} + \frac{b}{T} \quad (3)$$

Die Messwerte haben wir entsprechend umgerechnet. Die lineare Regression ist in Abbildung 1 zu sehen. Man erkennt deutlich, dass der NTC heißleitend ist, denn für hohe Temperaturen ist der Widerstand niedrig. Dies erklärt sich dadurch, dass es sich um ein Halbleitermaterial handelt. Für hohe Temperaturen befinden sich also mehr Elektronen im Leitungsband. Damit leitet der Widerstand besser.

Als Parameter des Fits ergaben sich:

- Steigung: $m=3288.8\text{ K}$ Abweichung 5%
- y-Achsenabschnitt: $c=-3.0236$ Abweichung 15%

Daraus kann man die gesuchten Parameter a und b bestimmen.

$$a = e^c \cdot r = 0.0486\Omega \quad b = m = 3288.8\text{ K} \quad (4)$$

1 Temperaturabhängigkeit

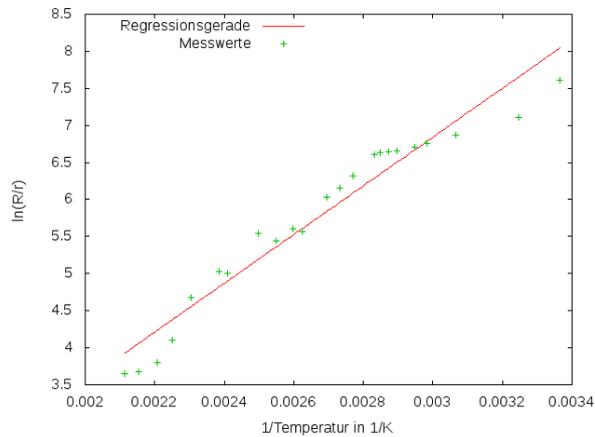


Abbildung 1: lineare Regression

Die großen Abweichungen (vor allem im y-Achsenabschnitt) sind dadurch zu erklären, dass es nur sehr schlecht möglich war den Punkt einzustellen, bei dem kein Strom über die Brücke floss.

PTC Auch hier haben wir die Potentiometereinstellungen in den Wert des gesuchten Widerstands umgerechnet.

Abbildung 2 zeigt die lineare Regression. Die gesuchten Parameter ergeben sich zu:

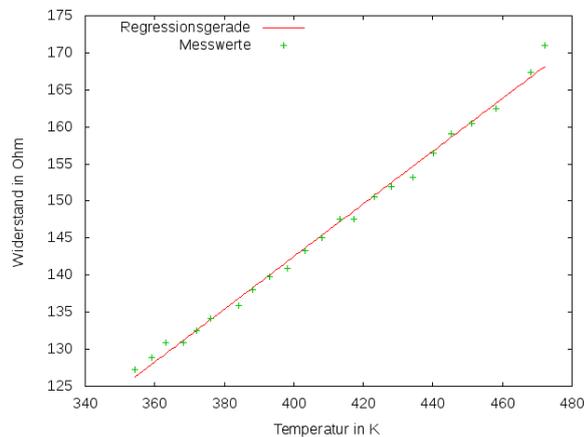


Abbildung 2: lineare Regression

- Steigung: $c = 0.355\,511\ \Omega/\text{K}$ Abweichung 1.6%
- y-Achsenabschnitt: $R_0 = 0.303\,786\ \Omega$ Abweichung 780%

Der Wert für 0°C beträgt $97.41\ \Omega$.

Man erkennt gut, dass es sich um ein kaltleitendes Material handelt. Dies erklärt sich damit, dass es ein Metall ist, bei dem immer viele Ladungsträger frei sind, jedoch verringert sich bei hoher Temperatur deren freie Weglänge durch die größeren thermischen Gitterschwingungen. Somit steigt der Widerstand mit hoher Temperatur.

Anwendungen Heißleitende Widerstände kann man zu Strombegrenzung bei Einschaltvorgängen verwenden. Beim Einschalten kann es zu Strom- bzw. Spannungsspitzen kommen. Diese kann man damit etwas mildern, da der Widerstand noch kalt ist und so mit hochohmig ist. Während der Verwendung der Schaltung wird der Widerstand warm und leitet dann besser.

NTC und PTC Widerstände kann man zur Temperaturmessung verwenden, wenn man eine „Tabelle“ hat, die die Temperaturabhängigkeit widerspiegelt.

Zur Füllstandsanzeige kann man NTC und PTC Widerstände verwenden, wenn die Flüssigkeit eine andere Temperatur hat, als die Umgebung, denn dann registriert man das Eintauchen in die anders temperierte Flüssigkeit.

2 Kennlinien

Silizium-Diode Abbildung 3 zeigt die Kennlinie der Silizium-Diode. In Durchlassrichtung nimmt der Strom (hier über Spannung am Widerstand dargestellt) ab einer Knickspannung von $459\ \text{mV}$ stark zu. In Sperrrichtung fließt kein Strom. Die Durchbruchspannung kann man nicht erkennen, da sie nicht in dem von uns angelegten Spannungsbereich (vorgegeben durch Amplitude der Wechselspannung) liegt. Die Diode ist somit nicht zerstört worden.

Bei der Silizium-Diode legten wir zusätzlich auch eine hochfrequente Spannung an ($50\ \text{kHz}$, vgl. Abbildung 4). Die typische Diodenkennlinie ist nicht mehr zu erkennen. Die Raumladungszone muss beim Wechsel der Betriebsrichtungen der Diode immer wieder auf und abgebaut werden. Bei hohen Frequenzen ist dies nichtmehr vollständig möglich. Daher sieht man im Bereich der Knickspannung nurnoch eine leichte Erhöhung der Kennlinie.

Germanium-Diode Wie zu erwarten war, ist diese Kennlinie (vgl. Abbildung 5) der Si-Dioden-Kennlinie sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich nur durch die Knickspannungen. Bei der Ge-Diode liegt diese bei $122\ \text{mV}$. Dies ist ein deutlich geringerer Wert als bei der Si-Diode.

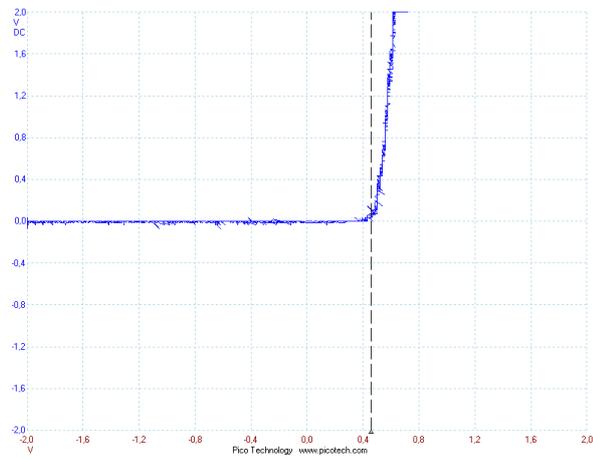


Abbildung 3: Kennlinie Si-Diode

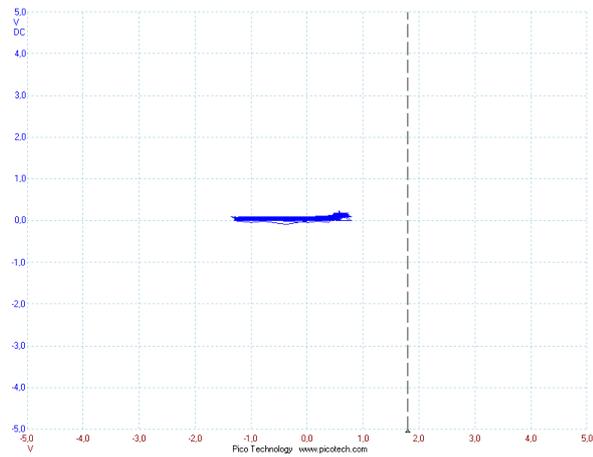


Abbildung 4: Si-Diode bei 50kHz

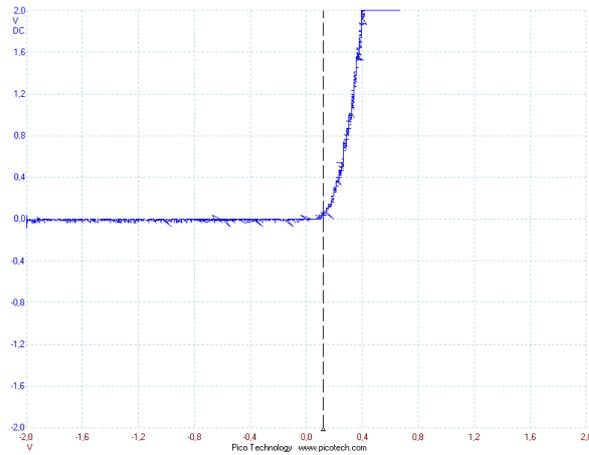


Abbildung 5: Kennlinie der Ge-Diode

Charakteristisch für Dioden ist das Verhalten, dass sie eine Durchlassrichtung und eine Sperrrichtung besitzen. Daher kann man sie beispielsweise zum Gleichrichten von Signalen verwenden.

Zener-Diode Abbildung 6 zeigt die Kennlinie der Zener-Diode. Man erkennt, dass der Anstieg der Kennlinie in Durchlassrichtung (Knickspannung bei 647 mV) viel steiler ist, als bei den vorhergehenden Dioden.

Außerdem sieht man, dass bei dieser Diode auch ein Betrieb in Sperrrichtung mit

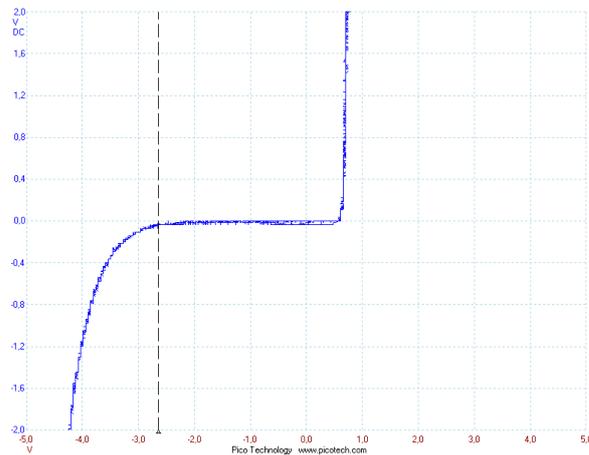


Abbildung 6: Kennlinie Zener-Diode

Durchbruch möglich ist, ohne dass die Diode zerstört wird. Diese Zenerspannung liegt sehr viel höher als die Knickspannung. Sie liegt bei -2.638 V .

Wie in der Vorbereitung erwähnt gibt es zwei Effekte, die zum Stromfluss in Sperrrichtung führen. Zum einen gibt es den Zener-Effekt. Dieser besagt, dass Elektronen ihre Gitterplätze verlassen können und somit zu freien Elektronen werden, die zur Leitung beitragen. Dieser Effekt wird durch hohe Temperaturen begünstigt, denn dann erleichtert die thermische Bewegung diesen Austritt.

Zum anderen kann ein freies Elektron, wenn es genug kinetische Energie hat, weitere Elektronen aus den Gitterplätzen ausschlagen. Somit kommt es zu einer „Lawine“ an Elektronen die zur Leitung beitragen können. Dieser Effekt ist durch hohe Temperaturen benachteiligt, da die thermischen Schwingungen des Gitters die freie Weglänge der Elektronen einschränken.

Bei niedrigen Spannungen ist die kinetische Energie der durch den Zener-Effekt freigegebenen Elektronen nicht groß genug, um eine Lawine auslösen zu können. Bei hohen Spannungen hingegen reichen wenige Zenereffekte aus um den Durchbruch der Diode zu erreichen.

Daher unterteilt man die Zenerdioden in solche, die eine Zenerspannung¹ zwischen 0 und -5V haben, bei diesen überwiegt der Zenereffekt. Bei Zenerspannungen größer als 5V (betragsmäßig) sorgt hauptsächlich der Lawineneffekt für den Durchbruch.

Die von uns untersuchte Zener-Diode gehört also zu der ersten Gruppe.

Wie in der Vorbereitung beschrieben kann man die Zener-Diode zum Spannungsstabilisieren verwenden.

Varistor In Abbildung 7 ist die Kennlinie eines Varistors zu sehen. Bei etwa der gleichen Spannung in beide Richtungen wird der Varistor ganz abrupt niederohmig (4.45V und -4.29V). Dies liegt deutlich höher als die Knickspannungen der Dioden. Wie in der Vorbereitung beschrieben kann ein Varistor zum Überspannungsschutz verwendet werden. Aufgrund der Symmetrie der Kennlinie können Überspannungen in beide Richtungen gleichgut mit dem Varistor abgefangen werden.

Photodiode Abbildung 8 zeigt die Kennlinie einer Photodiode bei unterschiedlicher Beleuchtung.

Man erkennt, dass die Form der Kennlinie gleich bleibt. Sie hat jeweils eine Knickspannung von 510mV . Jedoch sinkt sie mit zunehmender Beleuchtungsstärke ab. Wir erwarten, dass das Plateau im abgedunkelten Zustand auf Null liegt.

Durch den Photoeffekt (siehe Vorbereitung) entsteht ein Strom der unabhängig von der angelegten Spannung ist.

Bei der Kennlinie im beleuchteten Zustand ist die Spannung des Plateaus bei -703mV . Mit dem Referenzwiderstand ($1.2\text{k}\Omega$) ergibt sich ein Strom von -0.58mA .

¹Den exakten Wert der Unterscheidung haben wir aus Tietze Schenk: Halbleiterschaltungstechnik entnommen

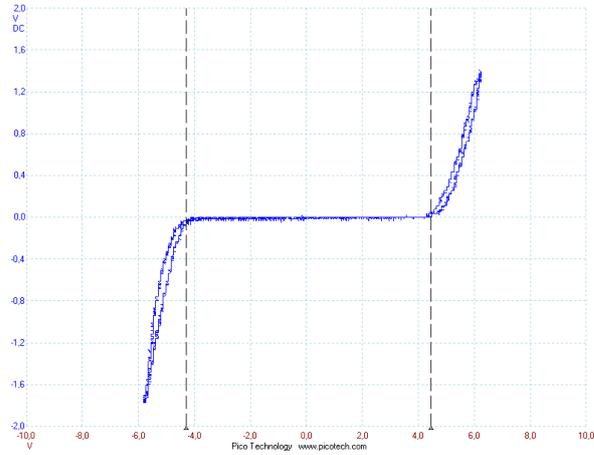
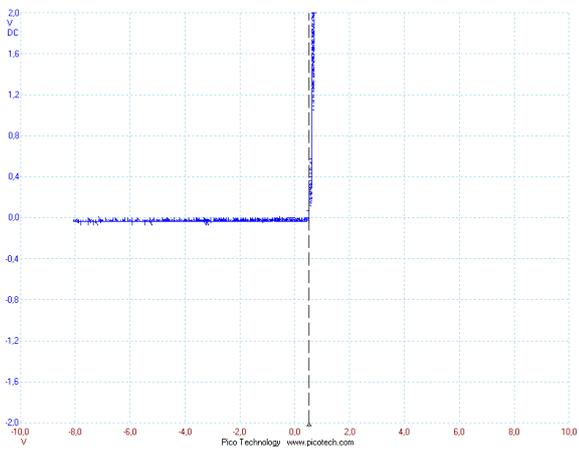
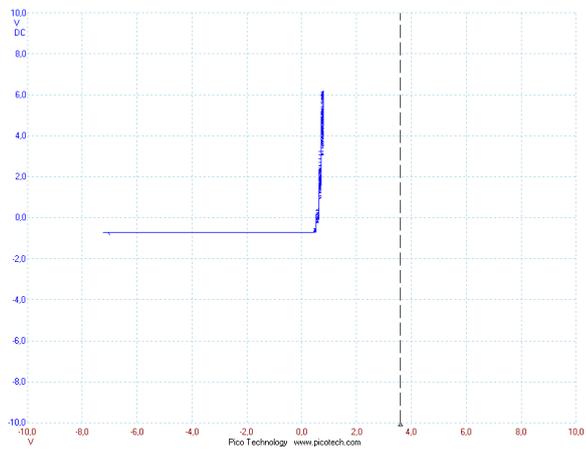


Abbildung 7: Kennlinie Varistor



(a) Zimmerbeleuchtung

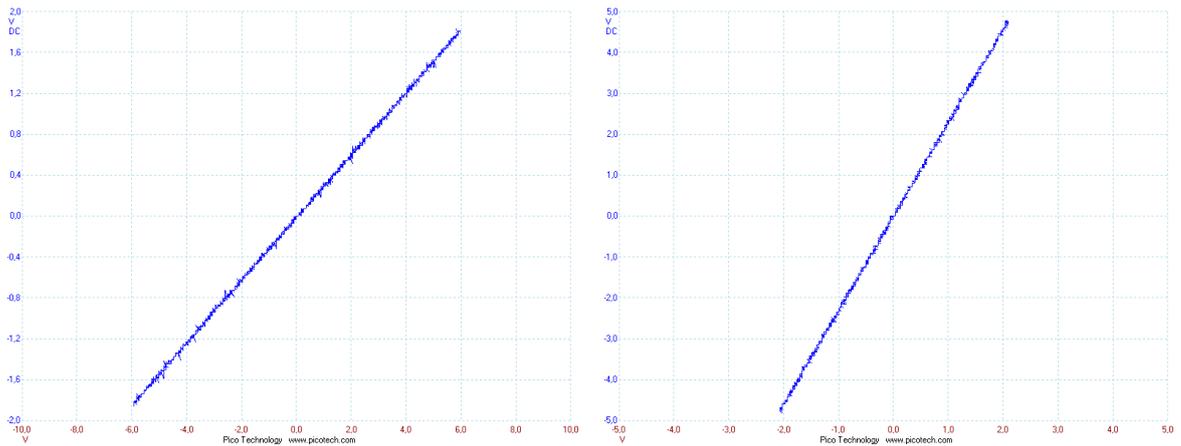


(b) beleuchtet

Abbildung 8: Kennlinien Photodiode

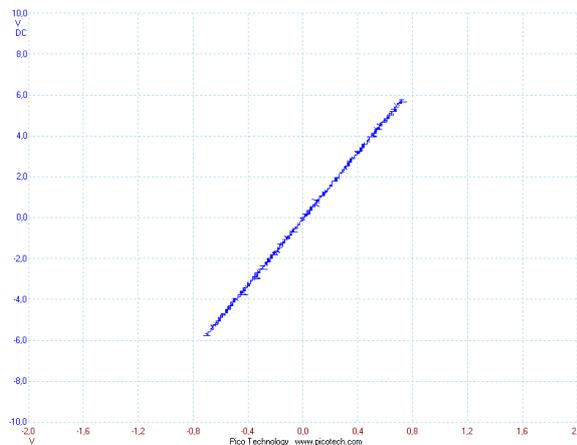
Diesen Sperrstrom kann man als Maß für die Beleuchtung nehmen. Somit kann man mit Photodioden Lichtintensitäten bestimmen.

Photowiderstand Abbildung 9 zeigt die Kennlinien eines Photowiderstandes bei verschiedenen Bleuchtungen. Hier haben wir zur Beleuchtung ein Handy verwendet. Mit folgenden Gleichung kann man den Photowiderstand berechnen:



(a) abgedunkelt

(b) Zimmerbeleuchtung



(c) beleuchtet

Abbildung 9: Kennlinien Photowiderstand

$$R_{Photo} = \frac{U_{Bauteil}}{U_{Ref}} R_{Ref} \quad (5)$$

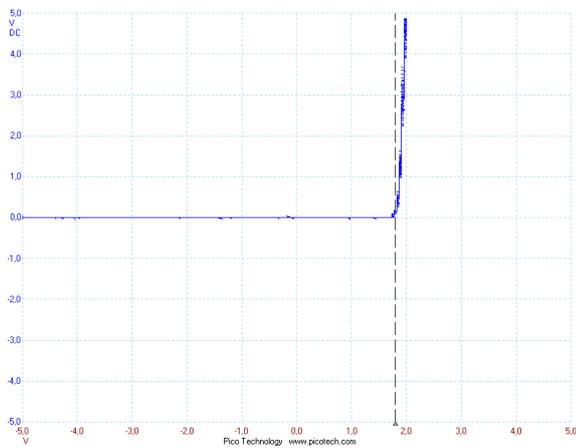
da der Strom mit Hilfe des Referenzwiderstandes am Oszilloskop gemessen wurde und bei einem gewählten Widerstand das Verhältnis zwischen Strom und Spannung konstant

ist (Gerade als Kennlinie). Damit erhalten wir die Werte

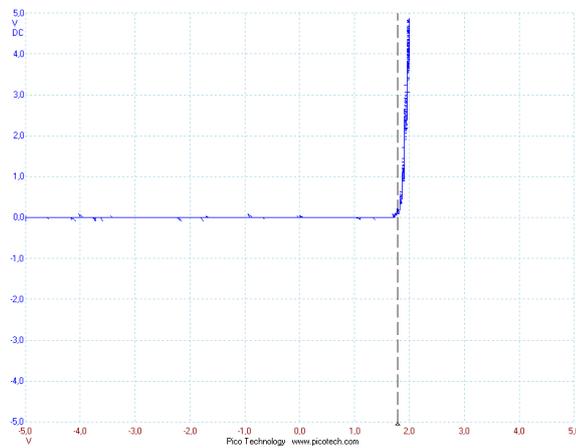
- abgedunkelt: $4\text{ k}\Omega$
- Zimmerbeleuchtung: $516\ \Omega$
- beleuchtet: $104.17\ \Omega$

Man sieht deutlich, dass der Widerstand mit zunehmender Beleuchtung abfällt. Auch mit Hilfe dieses Zusammenhangs kann man Beleuchtungsstärken messen.

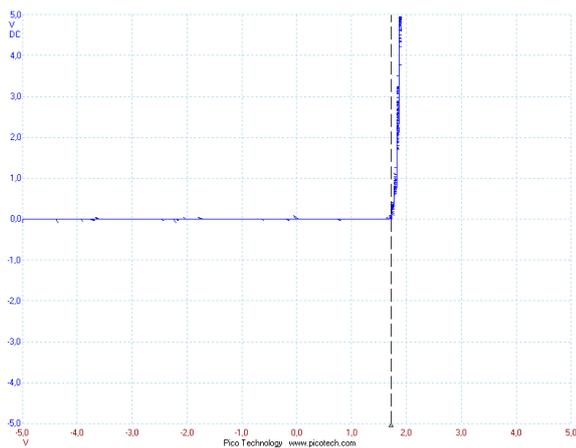
LEDs Abbildung 10 zeigt die Kennlinien verschiedener Leuchtdioden. Wir bestimmten die Knickspannungen:



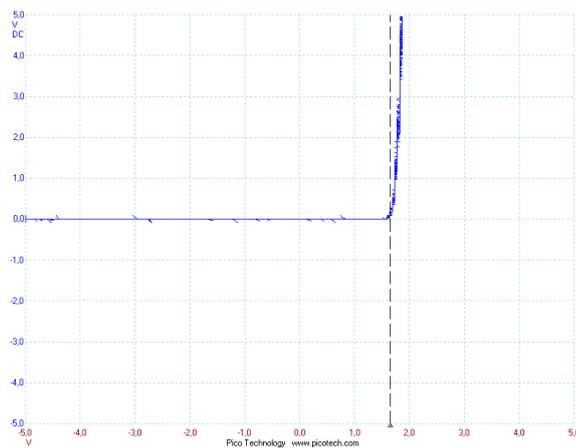
(a) grün



(b) gelb



(c) orange



(d) rot

Abbildung 10: Kennlinien Leuchtdioden

- grün: 1.798 V
- gelb: 1.781 V
- orange: 1.715 V
- rot: 1.648 V

Man erkennt also, dass die Knickspannung mit abnehmender Frequenz abnimmt.

3 Phototransistor

Bei einem Phototransistor gibt es wie bei der Photodiode einen durch den Photoeffekt ausgelösten kleinen Sperrstrom. Diesen kann man mit Hilfe des Referenzwiderstandes aus der Sperrspannung bestimmen.

Abbildung 11 zeigt die Auftragung des Betrages des Sperrstroms I gegen die Beleuchtungsstärke P . Wie man sieht liegt der Sperrstrom in einer ähnlichen Größenordnung wie der der Photodiode. Man erkennt, dass in der doppeltlogarithmischen Auftragung

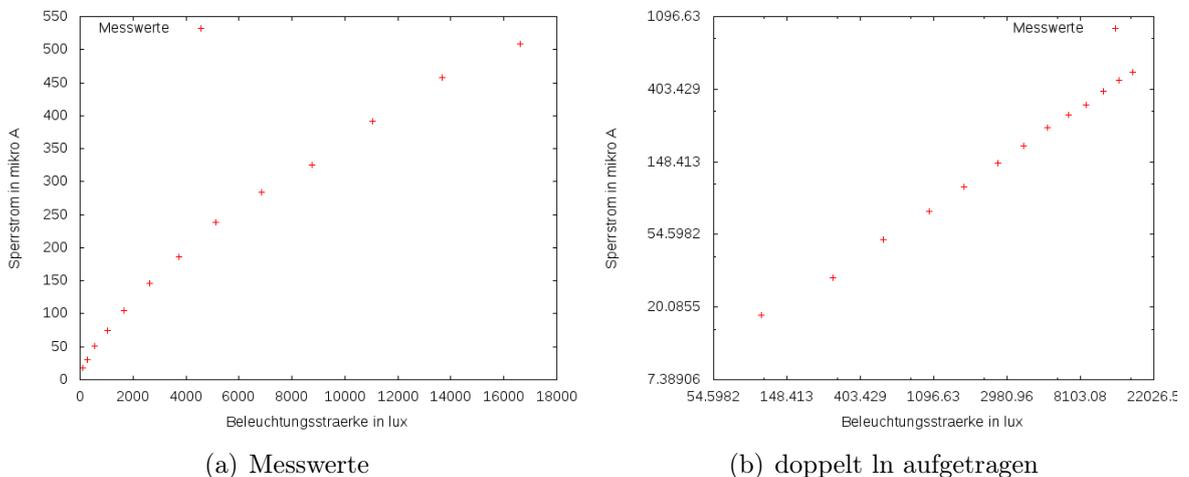


Abbildung 11: Phototransistor

in etwa eine Gerade zu sehen ist. Daher scheint ein Zusammenhang der Form

$$I = P^m e^b \quad (6)$$

mit Konstanten m und b vorzuliegen.

4 Piezo-Element

Beim Belasten des Piezoelements konnte man am Oszilloskop einen Peak nach unten beobachten, beim entlasten nach oben. Bei konstantem Druck fiel die Spannung auf 0 V ab. Dies entspricht nicht unseren Erwartungen, da bei konstantem Druck die Trennung der Ladungsschwerpunkte gleich bleibt. Somit müsste man eine konstante Spannung sehen. Das dies nicht der Fall war, hängt mit der Konstruktion des Piezoelements zusammen. Abbildung 12 zeigt den Spannungsverlauf, wenn man zweimal auf das Piezoelement gedrückt hat.

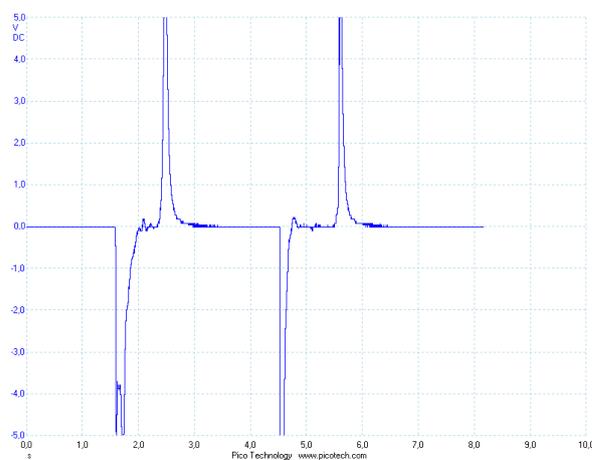


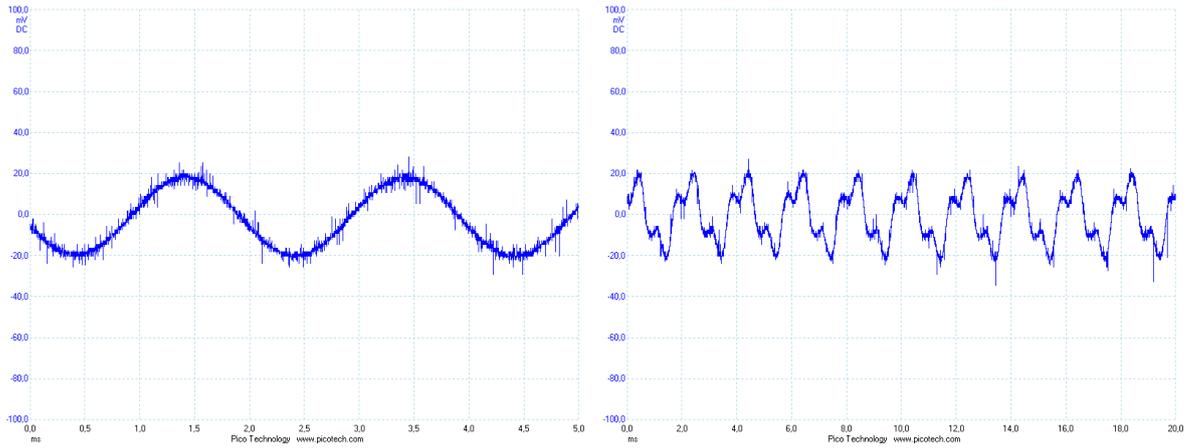
Abbildung 12: Manuelle Drücke

Außerdem haben wir über einen Lautsprecher verschiedene Signale aus dem Frequenzgenerator auf das Piezoelement gegeben. Die Spannungsverläufe sind in Abbildung 13 dargestellt. Man erkennt auch hier wieder, dass nur die Druckänderung zu einer Spannung führte. Daher wurde das Rechtecksignal zu einzelnen Peaks. Das Sinussignal beinhaltet eine andauernde Änderung. Daher ist es wiederzuerkennen. Wir nehmen an, dass es aber im Bezug auf den Eingangssinus ein Kosinus ist.

Das Dreieckssignal ergibt eine periodische Funktion. Da wir nur Änderungen sehen würde man ein Rechtecksignal erwarten (Ableitung des Dreiecks). Der differenzierende Charakter ist aber nicht eindeutig. Das System ist träge. Wenn man die Überschwinger vernachlässigt, kann man grob ein Rechteck erkennen.

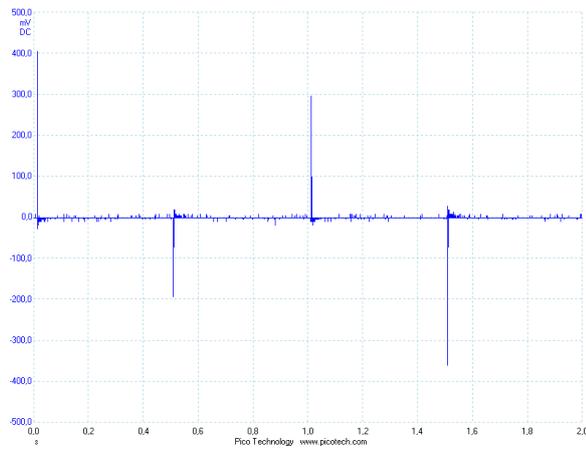
Zur Demonstration des inversen Effekts haben wir die Signale des Frequenzgenerators direkt an das Piezoelement angelegt. Man konnte verschiedene Töne hören.

Daher kann der inverse Piezoeffekt seine Anwendung als Lautsprecher finden. Über den Piezo-Effekt kann man Drücke bzw. Druckänderungen messen.



(a) Sinus 500Hz

(b) Dreieck 500Hz



(c) Rechteck 1Hz

Abbildung 13: Signale

5 Hochtemperatursupraleiter

In Abbildung 14 ist der Verlauf des Widerstandes bei Abkühlung dargestellt.

Man erkennt, dass der Widerstand mit sinkender Temperatur abnahm. Außerdem er-

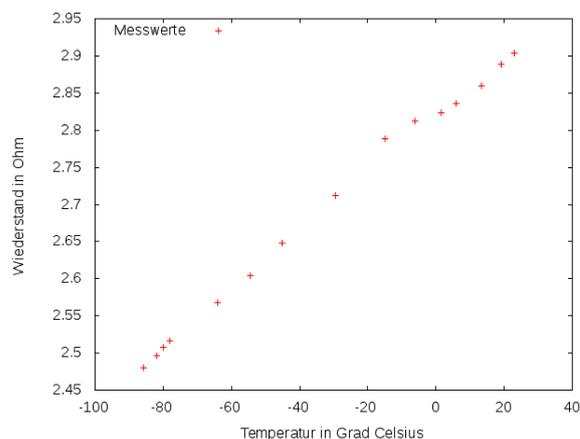


Abbildung 14: Abkühlvorgang

kennt man, dass dies mit recht konstanter Steigung geschah. Eine lineare Regression ergibt

- Steigung: $m=0.003\,896\,64\ \Omega/^{\circ}\text{C}$ (Abweichung 1.7%)
- y-Achsenabschnitt: $b=2.820\,13\ \Omega$ (Abweichung 0.12%)

Mit diesen Werten erhält man, dass der supraleitende Zustand (Widerstand $0\ \Omega$) bei -723°C läge. Dies ist nicht möglich, da dieser Wert deutlich unter dem absoluten Nullpunkt liegt.

Damit der supraleitende Zustand eintreten kann, muss sich die Steigung also massiv ändern.

Da der Abkühlvorgang sehr lange dauerte, tauchten wir den Supraleiter in das Stickstoffbad ein. Am Messgerät erkannten wir, dass die Spannung die über dem Supraleiter abfiel nun nahezu Null war.

Wir nahmen den Supraleiter wieder aus dem Stickstoffbad und beobachteten beim Aufwärmen, dass plötzlich wieder eine Spannung über dem Supraleiter abfiel. In diesem Moment bestimmten wir die Temperatur. Sie betrug 187°C .

Der supraleitende Zustand tritt also sprunghaft ein. Den abgelesenen Wert verwenden wir für die Sprungtemperatur. Vermutlich liegt sie jedoch etwas darunter, da das Aufwärmen sehr schnell geschah und wir erst die Anzeige umschalten mussten.