

Praktikumsvorbereitung

Eigenschaften elektrischer Bauteile

André Schendel, Silas Kraus
Gruppe DO-20

9. Juli 2012

I. Allgemein

Wheatstone Brückenschaltung

Mit der Wheatstone Brückenschaltung kann bei Kenntnis von 3 Widerständen der 4. Widerstand über einen Nullabgleich exakt bestimmt werden. Dazu wird folgende Proportionalität verwendet:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$\Rightarrow \text{praktisch: } R_x = \frac{a}{b} \cdot R_v$$

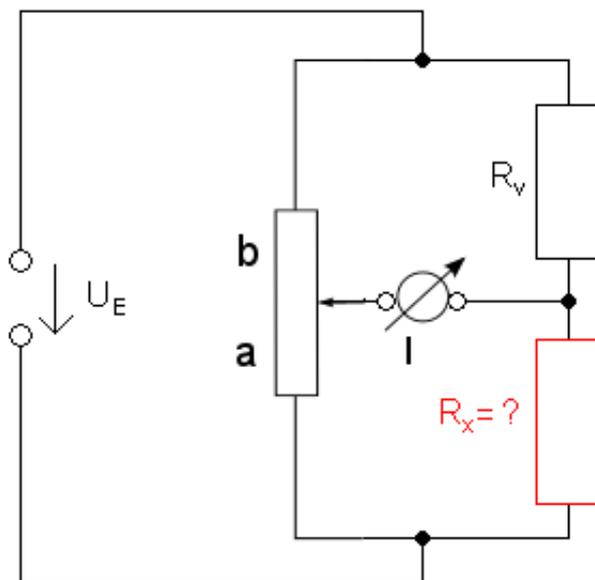


Abbildung 1: Aufbau Wheatstone-Brückenschaltung (Quelle: [1])

Bändermodell: Metalle, Isolatoren, Halbleiter

Das Bändermodell ist die quantenmechanische Beschreibung der verschiedenen Energieniveaus, die in einem idealen Einkristall vorkommen. Der Begriff Band leitet sich davon ab, dass diese Energieniveaus teilweise überlappen und es daher für einige Elektronen möglich ist, von einem Niveau ins andere zu gleiten. Die Energieniveaus spiegeln bei dieser Betrachtung die Bindung der Elektronen an die Atomrümpfe im Kristallgitter wieder. Je weniger Energie ein Elektron trägt, desto stärker ist es in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt und an den Atomkern gebunden. Demzufolge sind Elektronen im Valenz- oder Leitungsband sehr energiereich, was allerdings nicht gleichbedeutend damit ist, dass sie einen Strom erzeugen können. Ein elektrischer Strom kann nämlich nur dann entstehen, wenn ein Energieband nur teilweise oder gar nicht besetzt ist. So ist es den Elektronen möglich, in einer Endlosschleife immer wieder in eine Gitterlücke zu springen und dabei selbst eine zurückzulassen.

Bei Metallen liegen das Valenz- und das Leitungsband so nahe beieinander, dass Elektronen ohne großen Aufwand vom Valenz ins Leitungsband überspringen und dieses teilweise besetzen können, was zu einer sehr guten elektrischen Leitfähigkeit führt.

Bei Halbleitern ist die sogenannte Bandlücke, der Abstand zwischen zwei benachbarten Energieniveaus, doch schon so groß, dass die Elektronen nicht mehr ohne äußeren Einfluss von einem ins andere Band übertreten können. Führt man den Elektronen allerdings eine ausreichend große Menge Energie von Außen zu, zum Beispiel durch Bestrahlung mit elektromagnetischen Wellen (Photoelektrischer Effekt), dann ist es den Elektronen möglich, vom Valenz- ins Leitungsband zu springen und so für einen Stromfluss zu sorgen.

Bei Isolatoren ist dann die Bandlücke so groß, dass den Elektronen nicht mehr genügend Energie zugeführt werden kann, damit sie die Bandlücke überwinden könnten.

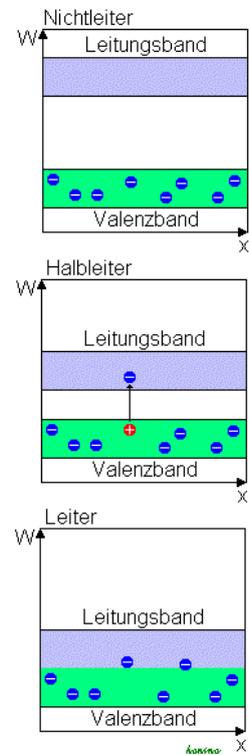


Abbildung 2: Bändermodell (Quelle: [2])

Eigenleitung, Dotierung

Eigenleitung beschreibt die Leitfähigkeit eines reinen Halbleiter ohne irgendeine Dotierung nur mit den eigenen Ladungsträgern im Valenzband, die dann teilweise in das Leitungsband übergehen können. Da die Potentialdifferenz zwischen Leitungs- und Valenzband bei reinen Halbleitern allerdings bis zu wenigen Elektronenvolt betragen kann, dotiert man Halbleiter. Dabei bringt man von außen, durch eine geringe Zugabe von Fremdatomen anderer Wertigkeit, „überschüssige“ Ladungsträger (Elektronen oder Defektelektronen/Löcher) in das Material ein. Diese wirken als Gitterstörungen und sind leicht zu verschieben, gemeint ist, dass diese Störstellen weit weniger stark gebunden sind als die Ladungsträger im Valenzband des Halbleiters. Dies ist gleichbedeutend mit einer geringeren Bandlücke zwischen Stör- und Leitungsband von einigen zehn bis hundert Millielektronenvolt. Dadurch ist weit weniger Energie nötig, um die Ladungsträger stark genug anzuregen, damit diese in das Leitungsband übertreten und einen Stromfluss ermöglichen.

p-n Übergang, Diode

Als Diode wird ein elektrisches Bauteil bezeichnet, das Strom nur in eine Richtung fließen lässt. Somit fungiert es bei Wechselstrom als Gleichrichter.

Zugrunde liegt dieser Eigenschaft, dass sich zwischen einer p(ositiv)-dotierten und einer n(egativ)-dotierten Halbleiterschicht ein p-n-Übergang gebildet hat. In diesem p-n-Übergang haben sich die freien Ladungsträger gegenseitig „ausgelöscht“ (=Rekombination), das bedeutet die freien Valenzelektronen sind zu den Löchern gewandert und haben diese besetzt, wodurch sich eine sogenannte Raumladungszone mit ortsfesten Ionen gebildet hat. Diese erzeugen ein elektrisches Feld, das dem Eindringen von weiteren Ladungsträgern in diese Grenzzone entgegenwirkt, wodurch eine freie Bewegung von Ladungsträgern im Material nicht mehr möglich ist. Legt man nun aber eine geeignete Spannung an die Grenzschicht an (Pluspol an die p-Schicht und Minuspol an die n-Schicht), so wird ein Durchfluss des Stroms wieder möglich, oder die Sperrung (umgekehrte Polung) wird verstärkt.

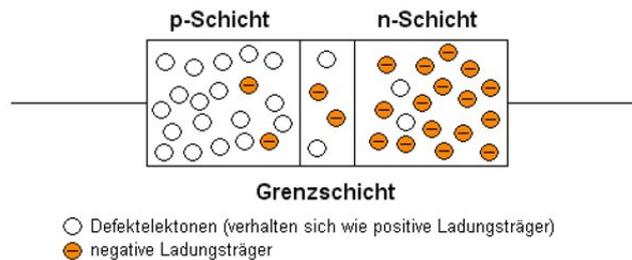


Abbildung 3: Aufbau einer Diode *Quelle: http://www.christoph-weiser.de/physik/hj11I/diode_aufbau.gif*

Diodenkennlinie, Durchbruchspannung

Die Diodenkennlinie stellt den Stromfluss eines Materials in Abhängigkeit von der angelegten Spannung dar. Hierbei lässt sich die Kennlinie in drei Bereiche einteilen: den Durchlass-, den Sperr- und den Durchbruchbereich.

Beim Durchlassbereich ist lediglich eine geringe Spannung nötig, um einen deutlich merkbaren Stromfluss zu erzeugen, da die Spannung in Durchlassrichtung (Minuspol an negatives Ende, Pluspol an positives Ende) angelegt ist.

Im Sperrbereich ist auch bei höheren Spannung nur ein geringer Leckstrom messbar, da die Spannung nun umgekehrt gepolt, also in Sperrrichtung angelegt, ist.

Im Durchbruchbereich ist ab einer materialspezifischen Durchbruchspannung wieder ein gut messbarer, auch deutlich ansteigender Stromfluss zu registrieren, da das elektrische Feld der Raumladungszone von den Elektronen durch die starke Spannung überwunden werden kann.

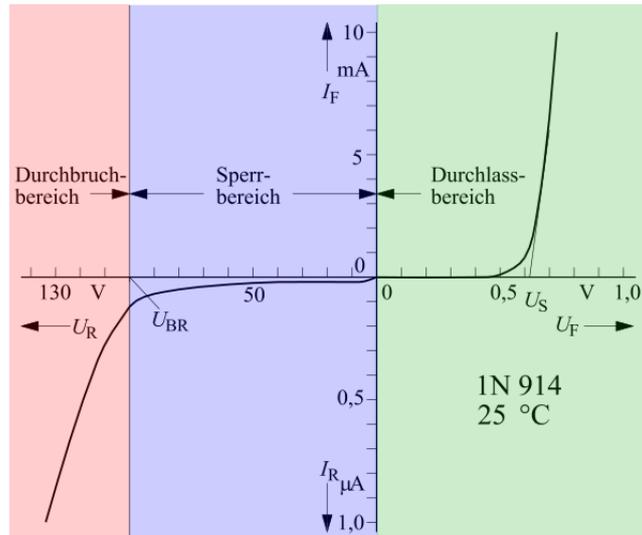


Abbildung 4: Kennlinien (Quelle: [3])

0.1 Transistor

Ein npn-Transistor besteht prinzipiell aus zwei Dioden. In der Mitte befindet sich der p-dotierte Bereich - die Basis (B) - und auf beiden Seiten je ein n-dotierter Bereich - der Emmitter (E) bzw. der Kollektor (C). Zwischen E und C soll der eigentliche Strom fließen, an B liegt die Steuerspannung U_B .

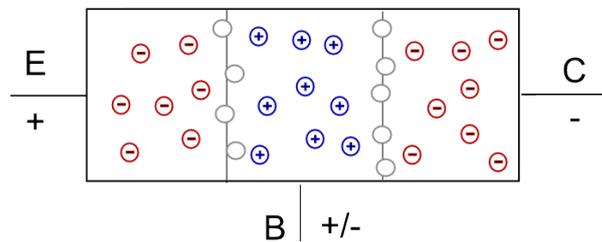


Abbildung 5: Transistor im Grundzustand

Liegt an U eine negative Spannung U_B , werden die Löcher aus den neutralen Zonen herausgezogen und sperren den Strom. Ist U_B positiv, werden sie hineingedrängt, das Material wird leitend und der Strom fließt vom Emmitter zum Kollektor. So lässt sich an einem Transistor ein hoher Laststrom durch Emmitter und Kollektor mithilfe eines niedrigen Steuerstroms durch die Basis steuern. Er kann beispielsweise als Schalter oder zur Spannungsverstärkung in einer Emitterschaltung verwendet werden.

Zenerdiode, Zenereffekt, Lawineneffekt

Zenerdioden sind eine besonders hochdotierte Art von Dioden, die sich bei Polung in Durchlassrichtung wie gewöhnliche Dioden verhalten, bei Polung in Sperrichtung werden allerdings ab einer bestimmten Spannung,

der Zenerspannung, Elektronen aus dem Kristallgitter gelöst und in Sperrrichtung beschleunigt. So nimmt der Widerstand ab und es fließt ein Strom in Sperrrichtung.

Beim Lawineneffekt treten ähnliche Ereignisse auf: Durch die angelegte Spannung werden einige Elektronen so stark beschleunigt, dass sie auf Gitterelektronen prallen und diese aus ihren Bindungen herausschlagen. Nach dem Aufprall haben sie aber trotzdem noch genügend Energie, um nicht rekombinieren zu müssen und in Sperrrichtung weiter zu fliegen. Dieser Vorgang wächst exponentiell an und lässt den Stromfluss wie eine Lawine immer stärker wachsen.

Innerer/Äußerer lichtelektrischer Effekt

Der äußere lichtelektrische Effekt oder auch Hallwachs-Effekt bezeichnet das Phänomen, dass ein Photon in ein Material eindringen und dort ein Elektron herauslösen kann, wenn das Photon eine genügend hohe Frequenz besitzt.

Beim inneren lichtelektrischen Effekt (tritt nur in Halbleitern auf) wird das Elektron nicht aus dem Material, sondern nur aus seiner Bindung gelöst, was zur Folge hat, dass in dem Material ein Elektron und ein dazugehöriges Defektelektron frei verfügbar sind. Dadurch ist es dem Halbleiter möglich, Strom (besser) zu leiten. Der Unterschied zwischen Zener- und Lawineneffekt liegt in der Temperaturabhängigkeit. Während eine höhere Temperatur den Zener-Effekt eher begünstigt, braucht es höhere Spannungen, damit der Lawineneffekt einsetzen kann. Umgekehrtes gilt dementsprechend für niedrigere Temperaturen.

Piezoelektrischer Effekt

Als direkten piezoelektrischen Effekt bezeichnet man die Erzeugung einer Spannung an einem Kristall durch gerichtete Einwirkung einer mechanischen Kraft auf diesen. Durch diese Kraft wird die Kristallstruktur deformiert und der positive und negative Ladungsschwerpunkt werden voneinander getrennt, sodass ein Dipol entsteht und dementsprechend eine Spannung zwischen seinem positiven und seinem negativen Pol herrscht.

Der indirekte Piezoeffekt ist die Umkehrung dieses Phänomens, hier wird der Kristall durch das Anlegen einer Spannung in Schwingung versetzt.

Supraleitung

Supraleitung ist das Phänomen, das ab einer materialspezifischen Sprungtemperatur auftritt und erklärt, dass ein widerstandsfreier Stromfluss im Material möglich ist. Dem zugrunde liegt die BCS-Theorie (von Bardeen, Cooper und Schrieffer), die besagt, dass bei Temperaturen unterhalb der Sprungtemperatur zwei Elektronen eine Bindung als „Cooper-Paar“ eingehen und solange ohne reibende Wechselwirkung durch das Material strömen, bis von außen ein elektrisches Feld angelegt oder durch Wärme dem Elektronenpaar genügend Energie zugeführt wird, um die Bindung zwischen beiden wieder zu lösen.

Vierleiterschaltung

Die Vierleiterschaltung wird eingesetzt, um sehr genau Widerstände zu messen, wenn bereits die Leitungs- und Anschlusswiderstände die Strommessung verfälschen können. Dabei fließt über zwei der vier Leitungen ein bekannter Strom. Die um zu bestimmenden Widerstand abfallende Spannung wird mittels Spannungsmessgerät

abgegriffen und dient nach dem Ohmschen Gesetz

$$R = \frac{U}{I}$$

zur Widerstandsbestimmung.

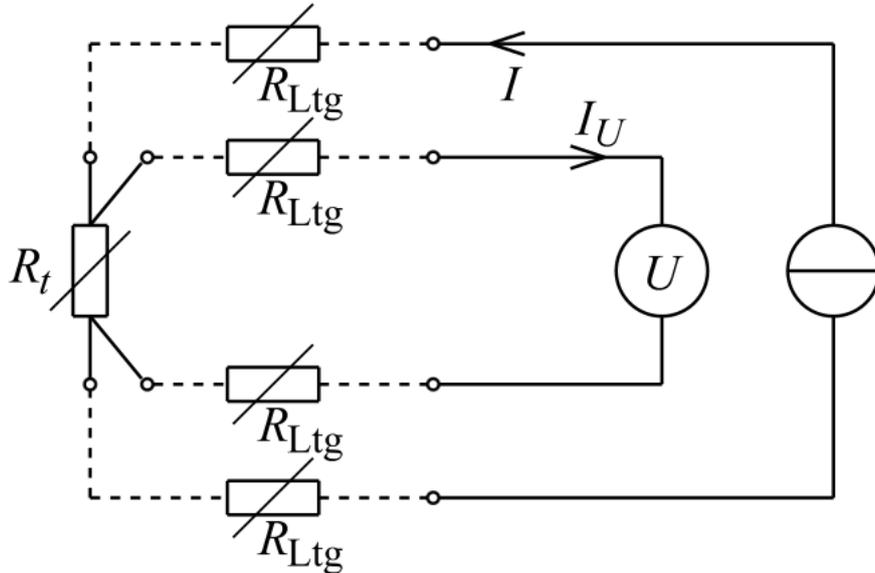


Abbildung 6: Vierleiterschaltung (Quelle: [4])

II. Aufgaben

Aufgabe 1. Temperaturabhängigkeit verschiedener Widerstände

Die erste Aufgabe befasst sich mit der unterschiedlichen Temperaturabhängigkeit verschiedener Bauteile. Dafür soll mittels einer Wheatstone-Brückenschaltung der Widerstand bei verschiedenen Temperaturen (20°C-200°C) von einem NTC (Negativ Temperature Coefficient) und einem PT100 (Positiv Temperature Coefficient, mit $R_0 = 100\Omega$) exemplarisch untersucht werden. Negativ beziehungsweise positiv gibt bei dem jeweiligen Widerstand das Verhalten der Temperaturabhängigkeit des jeweiligen Widerstands an. Bei einem NTC verhält sich der Widerstand negativ für steigende Temperaturen, das heißt je höher die Temperatur, desto niedriger der Widerstand. Im Umkehrschluss führt das dazu, dass der elektrische Widerstand des PT100 bei erhöhter Temperatur ansteigt.

Um diese Tatsache klug auszunutzen, wird beim Erwärmen des Ofens der NTC gemessen und beim Abkühlen der Pt100, die Widerstandswerte beider Bauteile werden also im Laufe des Versuchs abfallen. Es wird also als erstes der **NTC** untersucht, für den gilt:

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

Um später die Koeffizienten a und b bestimmen zu können, sollten die Messwerte logarithmisch aufgetragen werden, dann lässt sich nämlich schreiben:

$$\ln(R(T)) = \ln(a \cdot e^{\frac{b}{T}}) = \ln(a) + \frac{b}{T}$$

Die Wheatstone-Brückenschaltung kommt immer dann zum Einsatz, wenn man sehr genaue Bestimmungen von Widerständen will. Da hier schon ein Grad den Widerstandswert verändern kann, sollte deshalb sehr genau der jeweilige Widerstand bestimmt werden.

Ein möglicher Anwendungsbereich für einen NTC ist zum Beispiel die Temperaturmessung. Legt man eine konstante Spannung an den NTC an, so können über die unterschiedlichen Stromflüsse - hervorgerufen durch die unterschiedlichen Widerstände bei hohen und niedrigen Temperaturen - jene bestimmt werden. Das gleiche Prinzip könnte man sich auch in einem Wasserreservoir oder einem Getränkeautomat als Füllstandsmesser zunutze machen. Sinkt der Flüssigkeitsstand unter eine bestimmte Höhe, in der der NTC angebracht ist, wird der NTC nicht mehr gekühlt. Damit sinkt sein Widerstand und ein größerer Strom kann bei gleichbleibender Spannung durch ihn hindurch fließen. Für hohe Temperaturen kann er auch als Strombegrenzer genutzt werden. Wird er parallel zu einem Stromkreis aufgebaut, kann bei hohen Temperaturen immer mehr Strom über ihn abfließen, da sein Widerstand immer weiter abfällt.

Nun zum **PT100**. Für ihn gilt:

$$R(T) = R_0 + c \cdot T$$

Auch hier soll wieder der Koeffizient c bestimmt werden, allerdings ist diesmal dafür keine logarithmische Auftragung der Messwerte erforderlich. Des Weiteren soll noch R_0 bei 0°C überprüft werden, hierzu wird das Bauteil mit flüssigem Stickstoff gekühlt.

Mögliche Anwendungsbereiche ergeben sich in Analogie zum NTC: Es kann ebenfalls als Thermometer verwendet werden oder als Überlaufsensor. Wenn durch einen zu hohen Flüssigkeitsstand der PT100 gekühlt wird, sinkt sein Widerstand und ein Warnsignal kann über ihn geleitet werden. Er kann auch als Stromregler in Maschinen verwendet werden, indem man den Strom durch ihn hindurch fließen lässt. Wenn die Maschine zu heiß wird erhöht sich der Widerstand und der Stromfluss wird gedrosselt.

Aufgabe 2. Kennlinien

Vorwort: Bevor es zum eigentlichen Versuch kommt, soll in diesem Aufgabenteil noch überlegt werden, wie

1. mit einer Zenerdiode einer Spannungsstabilisierung zu realisieren ist und
2. ein Varistor zum Schutz vor induzierten Spannungen an Induktivitäten genutzt werden kann

1)

Da der Widerstand einer Zenerdiode bei großen Spannungen gegen ihrer Öffnungsrichtung abnimmt, kann man sie einfach parallel zum zu schützenden Bauteil in einen Schaltkreis einbringen und vor diesen einen Vorwiderstand einsetzen. Wird die Spannung zu groß, nimmt der Widerstand der Diode ab, dadurch wird der Widerstand R_{ges} , den die parallelgeschalteten Bauteile gemeinsam erzeugen, kleiner:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_{Zener}} + \frac{1}{R_L}$$

Dadurch wird bei konstanter angelegter Spannung der Stromfluss größer, der eine höhere Spannung am Vorwiderstand erzeugt. Bei den parallelgeschalteten Widerständen wird dann der Großteil des Stroms über die Zenerdiode abfließen, was bedeutet, dass weniger Strom durch das Bauteil fließt, und nach

$$U = R \cdot I$$

auch eine geringere Spannung anliegt.

2)

Ein Varistor ist auch ein spannungsabhängiger Widerstand, ähnlich wie die Zenerdiode. Ab einer bestimmten Schwellspannung verringert er schlagartig seinen Widerstand, allerdings ist der Widerstand des Varistors nicht richtungsabhängig wie der der Zenerdiode.

Dementsprechend kann der gleiche Aufbau wie in 1) nur eben mit einem Varistor für einen Schutz vor induzierten Spannungen an Induktivitäten vorgenommen werden.

a) Kennlinienaufnahme

Nachdem nun die Anfangsprobleme geklärt sind, sollen endlich die Kennlinien einzelner Dioden und Widerstände aufgenommen werden. Dafür wird Versuchsbox 2 verwendet, an die ein Eingangssignal in Form einer sinusförmigen Wechselspannung (100Hz) angelegt ist. Die Kennlinien können dann automatisch vom Computer über das Oszilloskop aufgenommen werden.

Für die einzelnen Bauteile soll dabei zusätzlich auf einige Dinge besonders geachtet werden:

- Für die SID, GED und ZED soll die Schwell- und Zenerspannung bestimmt werden.
- Bei der Photodiode und dem Photowiderstand soll das Verhalten bei verschiedenen Beleuchtungen getestet werden, außerdem soll aus der Steigung der Spannungskennlinie des Photowiderstands der jeweilige Widerstandswert bestimmt werden.
- Bei den verschiedenfarbigen LEDs soll ein Zusammenhang zwischen der Schwellspannung und der Farbe des emittierten Lichts hergestellt werden.

Im Anschluss daran sollen noch die Charakteristiken der einzelnen Diagramme zusammengefasst werden und möglichen Anwendungsbereiche für das jeweilige Bauteil besprochen werden.

b) Untersuchung der Frequenzabhängigkeit bei 10kHz

Zum Abschluss dieses Aufgabenteils soll noch die Frequenzabhängigkeit bei einer Wechselspannung von 10kHz untersucht werden.

Aufgabe 3. Verhalten des Phototransistors unter Einfluss von verschiedenen Beleuchtungsstärken

Im Weiteren sollen die Kennlinien eines Phototransistors für verschiedene Beleuchtungsstärken bestimmt werden. Dafür wird wieder Schaltung 2 verwendet, mit der man - unter Zuhilfenahme der Tabelle für die Lichtintensität in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung aus der Vorbereitungshilfe - dann im Folgenden den Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Sperrstrom bestimmen kann.

Ausgenutzt wird bei diesem Versuch, dass der Phototransistor wie ein gewöhnlicher Transistor funktioniert, nur mit dem Unterschied, dass sein Basisstrom über Lichtsignale auf eine in Sperrrichtung eingebaute Photodiode gesteuert werden kann, da diese selbst in Sperrrichtung durch den photoelektrischen Effekt bei Bestrahlung durch Licht einen kleinen Strom erzeugt, der dann den Transistor steuert.

Aufgabe 4. Piezoelektrischer Effekt

Als nächstes soll der direkte Piezoelektrische Effekt untersucht werden. Dafür sollen verschiedene Drücke auf das Piezoplättchen ausgeübt werden. Die dabei entstehende Spannung wird wieder am Oszilloskop aufgenommen. Danach sollen durch Piezoplättchen Frequenzsignale, die über einen Lautsprecher auf das Piezoelement gestrahlt

werden, durch das Oszilloskop visualisiert werden. Da die Spannung des Plättchens direkt proportional zu dem auf das Plättchen ausgeübten Druck ist, sollte man eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem Graphen des Oszilloskops und dem Eingangssignal feststellen können.

Im Anschluss daran soll auch noch der indirekte piezoelektrische Effekt veranschaulicht werden. Dafür wird diesmal das Frequenzsignal direkt an das Piezoplättchen angeschlossen, das dann dem Signal entsprechend in Schwingung versetzt werden kann.

Damit ergeben sich eine Vielzahl von Anwendungsbereichen für den direkten und den indirekten piezoelektrischen Effekt wie zum Beispiel als Lautsprecher und Mikrofon, als Steuertasten bei elektrischen Bauteilen, als Abstandsregler für Rastertunnelmikroskope und Vieles mehr.

Aufgabe 5. Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters

Zum Abschluss dieser Versuchsreihe soll noch der Spannungsabfall an einem Hochtemperatursupraleiter in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen werden. Ebenfalls soll die Sprungtemperatur bestimmt werden, für die, nach kontinuierlichem Absinken des Widerstandswertes, der Widerstand des Supraleiters schlagartig null wird. Dafür wird der Supraleiter von Raumtemperatur auf 77 Kelvin mit flüssigem Stickstoff heruntergekühlt und mittels der Vierleiterschaltung eine Spannungsmessung bei konstantem Strom I ($=2,5\text{mA}$) in 5K-Schritten vorgenommen. Die Sprungtemperatur wird dann aus dem Graphen der ermittelten Daten für die Spannungs-Temperatur-Abhängigkeit herausgelesen.

Die Vierleiterschaltung wird in diesem Fall verwendet, da selbst geringste Leitungs- und Anschlusswiderstände die Sprungtemperatur enorm verzerren könnten, da der Widerstandswert des Supraleiters exakt auf null fallen muss.

III. Quellen

I www.wikipedia.de

II Vorbereitungshilfe

- Quelle:[1] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schleifdraht_messbr%C3%BCcke.PNG&filetimestamp=20060521123117
- Quelle:[2] <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:B%C3%A4ndermodell.PNG&filetimestamp=20080105005514#file>
- Quelle:[3] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kennlinie_Diode_1N914.svg&filetimestamp=20110408092718
- Quelle:[4] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:TempMess_4_Leit.svg&filetimestamp=20110922071622