

## Vorbereitung

# Elektrische Bauelemente

Stefan Schierle      Carsten Röttele

Versuchsdatum: 22. 05. 2012

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Temperaturabhängigkeit von Widerständen</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Kennlinien</b>	<b>6</b>
2.1	Ermittlung der Kennlinien . . . . .	7
2.2	Frequenzabhängigkeit der Bauteile . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Phototransistor bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Piezoelektrischer Effekt</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Sprungtemperatur des Hochtemperatursupraleiters</b>	<b>8</b>

# Grundlagen

Zu Beginn einige Begriffserklärungen und theoretische Hintergrundinformationen.

## Bändermodell

Das Bändermodell beschreibt die Energieniveaus der Elektronen im Festkörpergitter eines Stoffes.

Betrachtet man nur ein einzelnes Elektron, so lassen sich die Elektronen auf eindeutigen Energieniveaus lokalisieren. In einem Kristallgitter sowie bereits bei der Betrachtung von zwei Elektronen sorgen Wechselwirkungen dafür, dass die Energieniveaus nicht mehr präzise bestimmt werden können. Sie verschwimmen zu sogenannten Energiebändern. Da die Bänder nicht zwingend kontinuierlich ineinander übergehen, kommt es häufig vor, dass Energielücken zwischen den Bändern vorhanden sind.

Damit ein Band zum Leitungsband werden kann, müssen in diesem Energieniveau freie Elektronen vorhanden sein, d.h. ein leeres oder ein voll besetztes Band ist nicht leitend. Das Leitungsband ist das energetisch niedrigste Band, das nicht leer oder voll besetzt ist. Das Band darunter ist somit voll besetzt und wird als Valenzband bezeichnet.

## Unterscheidung von Nichtleitern, Halbleitern und Leitern

Stoffe lassen sich aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit in drei Kategorien unterteilen: Isolatoren, Halbleiter und Leiter. Diese Leitfähigkeit basiert auf der Anzahl der freien Elektronen im sogenannten Leitungsband des Stoffes.

Bei Isolatoren unterscheidet sich das Energieniveau zwischen Valenzband und Leitungsband deutlich, es ist eine sehr hohe thermische Energie nötig, um Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband anzuheben.

Bei den Leitern (Metallen) kann nicht zwischen dem Leitungsband und dem Valenzband unterschieden werden. Daher sind immer freie Ladungsträger vorhanden, Metalle sind also schon bei sehr geringen Temperaturen leitend. Diese Leitfähigkeit nimmt jedoch bei hohen Temperaturen ab, da hier aufgrund der thermisch bedingten Streuung die Elektronen weniger beweglich sind.

Bei Halbleitern ist ebenfalls eine energetische Lücke zwischen Leitungs- und Valenzband jedoch genügen bei Halbleiterelementen bereits Temperaturen leicht oberhalb der Raumtemperatur, um den Elektronen eine ausreichende thermische Energie zuzuführen, damit diese in das Leitungsband wechseln können. Ist nun ein Elektron in das Leitungsband angehoben worden, es ist also nun ein freies Elektron, so fehlt im Kristallgitter ein Elektron. Dieses fehlende Elektron wird als Loch bezeichnet. Über diese Löcher können sich nun Ladungen bewegen, was als Eigenleitung im Valenzband bezeichnet wird.

Der gleiche Effekt ist auch durch Verunreinigungen der Kristallstruktur (p-, oder n-Dotierung) erzielbar.

## Die Diode

Bei der n-Dotierung eines Halbleiters wird ein Atom mit fünf anstatt vier Valenzelektronen in das Halbleitergitter eingebracht, was dazu führt, dass eines dieser Elektronen keinen Bindungspartner im Gitter hat. Dieses Elektron befindet sich energetisch gesehen knapp unterhalb des Leitungsbandes, wodurch es bereits durch eine sehr geringe thermische Energiezufuhr in den Leitungsbereich angehoben wird. Das so in den Kristall eingebrachte Atom wird als Donator bezeichnet, da dieses eine Elektron zur Leitung zur Verfügung stellt.

Die p-Dotierung funktioniert analog zur n-Dotierung, jedoch wird hier ein Atom mit nur drei Valenzelektronen in das Halbleitergitter eingebunden. Dadurch entsteht eine dauerhafte Unterbesetzung einer der Elektronenbindungen, was oben schon als Loch im Halbleitergitter bezeichnet wurde. Dieses Loch kann von einem anderen Elektron aufgefüllt werden, somit können Löcher wandern, was zur Leitfähigkeit des Halbleiters führt.

Bringt man nun eine p- und eine n-dotierte Halbleiterschicht zusammen, so wandern nun, aufgrund thermischer Schwingungen, Elektronen aus der n-dotierten Schicht in die p-dotierte und gleichen somit die dortigen Löcher im Kristallgitter aus. Die so durch thermische Anregung aus der n- in die p-Schicht diffundierenden Elektronen werden durch die entstehende Diffusionsspannung gestoppt, der Vorgang beendet sich also von selbst. Vor dem Zusammenbringen waren die beiden Halbleiterschichten elektrisch neutral. Nun, da sich eine Raumladungszone gebildet hat, in der der p-dotierte Teil nun negativ ionisiert und der n-dotierte Teil nun positiv ionisiert ist.

Es kann nun an die Diode eine Spannung angelegt werden. Liegt an der p-dotierten Seite der Plus-Pol der Spannungsquelle an, so muss nur die Diffusionsspannung überwunden werden ( $U_A > U_D$ ) damit ein großer Strom fließen kann, da die extern angelegte Spannung der Diffusionsspannung entgegenwirkt. Ist die angelegte Spannung als die Eigen-spannung der Grenzschicht, so fließt nur ein sehr geringer Strom, der sobald die Außenspannung die Diffusionsspannung erreicht extrem zunimmt. Die Diode ist somit in Durchlassrichtung gepolt.

Liegt an der p-dotierten Seite der Minus-Pol der Spannungsquelle an, so ist die Diode in Sperrrichtung gepolt. Die angelegte Spannung wirkt in Richtung der Diffusionsspannung und verstärkt diese, die Sperrschicht wird größer.

Wird die anliegende Spannung in Sperrrichtung erhöht, so kann es bei hohen Spannungen zum sogenannten Lawineneffekt kommen, das heißt, dass die Durchbruchspannung der Diode erreicht ist, und das anliegende elektrische Feld die Elektronen so stark beschleunigen kann, dass diese die Diffusionsspannung überwinden können und andere Elektronen aus dem Gitter herauslösen können.

Trägt man die angelegte Spannung über den fließenden Strom auf, so erhält man die sogenannte Diodenkennlinie der verwendeten Diode.

## Zener-Diode

In Durchlassrichtung funktionieren die sogenannten Z-Dioden wie eine normale Diode. Der p-n-Übergang ist bei den Zener-Dioden jedoch sehr schmal, wodurch diese in Sperrrichtung betrieben werden, da analog zum Lawineneffekt die Z-Diode bei einer bestimmten Spannung durchbricht, wobei das Bauteil bei diesem Vorgang nicht zerstört wird. Die Zenerspannung ist jedoch sehr temperaturabhängig.

## Varistor - Spannungsabhängiger Widerstand

Ein Varistor, oder VDR ( $\hat{=}$  Volt Depending Resistor), besteht aus vielen kleinen unterschiedlich dotierten Halbleiterschichten. Aus den vielen so zusammen gebrachten Halbleitern entstehen ohne erkennbare Ordnung Grenzschichten zwischen den Halbleiteranteilen. Da die Grenzschichten ungeordnet sind, ist die Polung des Varistors in einer Schaltung egal. Bei zunehmender Spannung brechen also immer mehr der einzelnen Grenzschichten auf und verringern so den Widerstand des Bauteils. Die Kennlinie einer Varistors verläuft im ersten Quadranten genau wie die einer Diode, im dritten Quadranten ist diese nur im Ursprung punktgespiegelt. Ab einer bestimmten Spannung wird also der Widerstand des Varistors verschwindend gering.

## Photoeffekt

Beim Photoeffekt werden Elektronen durch Photonen aus dem Valenzband in das Leitungsband angehoben. Die absorbierten Photonen müssen jedoch eine Energie besitzen, die mindestens so groß ist, wie die von den Elektronen zum Bandwechsel benötigte. Die Elektronen erhalten diese benötigte Energie durch Stoßübertragung (bereits in der Vorlesung behandelte Photoeffekt).

## Photo-Bauelemente

Bauelemente können den Photoeffekt nutzen, um zum Beispiel den eigenen Widerstand zu ändern.

Beim Photowiderstand wird durch die auf das Bauteil einfallenden Photonen die vorhandene Gitterstruktur zerstört, wobei Elektronen freigesetzt werden, die die Leitfähigkeit des Bauteils erhöhen.

Bei der Photodiode und beim Phototransistor sind die Halbleiterschichten sehr dünn und so angelegt, dass Photonen Elektronen in der in der Sperrschicht und außerhalb lösen können, durch die nun ein Stromfluss möglich ist. Beim Transistor ist zu beachten, dass kein Basisanschluss existiert und die Lichtempfindlichkeit des Transistors wesentlich größer ist.

## Piezoelektrischer Effekt

Der Piezoeffekt tritt auf, wenn ein Festkörper durch eine gerichtete Kraft so verformt wird, dass ein Dipol entsteht. Dies ist der direkte Piezoeffekt. Beim indirekten Piezoeffekt wird eine elektrische Spannung an den Festkörper angelegt, und so ein Feld erzeugt, das den Festkörper verformt, da sich die im Gitter enthaltenen Ladungsträger nach dem resultierenden Feld ausrichten.

## Supraleiter

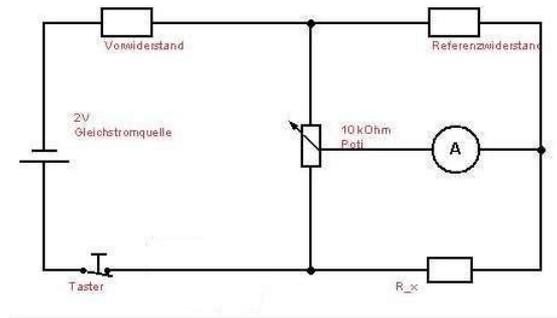
Supraleiter haben ab einer gewissen kritischen Temperatur ( $T_C$ ) einen verschwindend geringen Widerstand. Dies resultiert aus den sogenannten Cooper-Paaren. Ein Cooper-Paar ist ein Elektronenpaar das aufgrund von Wechselwirkungen keine Energie an das Festkörperrgitter abgeben kann, wie es bei normalen Leitern der Fall ist. Oberhalb der kritischen Temperatur zerfallen diese Cooper-Paare wieder in einzelne Elektronen, was wieder zu einem höheren Widerstand führt.

## 1 Temperaturabhängigkeit von Widerständen

Es soll bei diesem Versuch die Temperaturabhängigkeit eines Widerstandes ermittelt werden. Dies wird für zwei unterschiedliche Widerstände (NTC und PT100).

- **NTC-Widerstand:** Ein NTC-Widerstand ist ein Heißleiterwiderstand, was bedeutet, dass dieser bei hohen Temperaturen eine bessere elektrische Leitfähigkeit aufweist. (NTC  $\hat{=}$  Negative Temperatur Coefficient)
- **PT100-Widerstand:** Ein PTC-Widerstand ist ein Kaltleiterwiderstand (Positiv Temperatur Coefficient). Der angegebene Wert in der Bezeichnung PT100 bedeutet, dass der Widerstand bei  $0^\circ\text{C}$  einen ohmschen Widerstandswert von  $100\Omega$  hat. Die Leitfähigkeit nimmt mit abnehmender Temperatur zu.

Es soll die als Temperaturspanne der Widerstand von Raumtemperatur auf  $200^\circ\text{C}$  erhitzt werden. Beim Erwärmen soll die R-T-Abhängigkeit des NTC-Widerstandes ermittelt werden, beim Abkühlen die des PT100-Widerstandes.



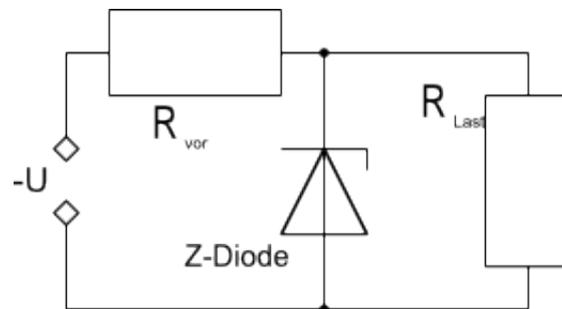
Wheatstonesche Brückenschaltung

Die Wheatstonesche Brückenschaltung eignet sich bei diesem Versuch gut, da man durch das Potentiometer das Widerstandsverhältnis  $\frac{R_{Poti1}}{R_{Poti2}} = \frac{R_{Referenz}}{R_x}$  einstellen kann, was erreicht ist, wenn das Ampèremeter keinen messbaren Strom mehr anzeigt. Zudem wird diese Messung nicht durch den Innenwiderstandes eines Messgerätes beeinflusst.

## 2 Kennlinien

Die Kennlinie eines elektrischen Bauteiles erhält man, indem man den durch das Bauteil fließenden Strom über die anliegende Spannung aufträgt.

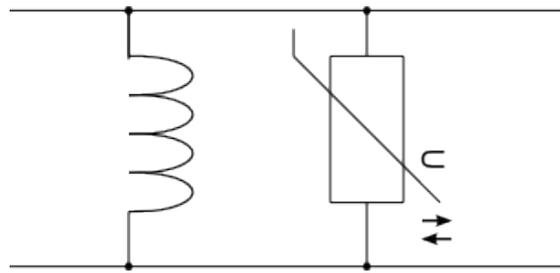
In der Aufgabenstellung wird noch gefordert eine Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit Hilfe einer Zener-Diode zu entwerfen.



Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit einer Zener-Diode

Die Zenerdiode verhält sich in Sperrichtung bei geringen Spannungen wie ein hochohmiger Widerstand. Erhöht sich die Spannung schlagartig und würde den Lastwiderstand zerstören, so bricht die Zener-Diode bei der Zenerspannung durch und entlastet den Widerstand, da die Diode nun einen sehr geringen Widerstand hat kann ein großer Strom durch die Diode fließen.

Zudem sollte eine Schaltung mit einem Varistor als Schutz vor induzierten Spannungen erstellt werden:



Schutzschaltung gegen induzierte Spannungen

Da der Varistor bei hohen Spannungen einen geringeren Widerstand hat, muss dieser in Reihe geschaltet werden, um für mögliche Spannungsspitzen als "Kurzschlusssicherung" zu dienen.

## 2.1 Ermittlung der Kennlinien

Es soll mit der "Versuchsbox (2)" bei einer Wechselspannung, der Frequenz 100 Hz, die Kennlinien von:

- Si-Diode
- Ge-Diode
- Zener-Diode
- Varistor
- Photodiode
- Photowiderstand
- 4 verschiedenfarbige LEDs

Die Kennlinien sollen anschließend interpretiert werden. Zur Aufnahme wird das Oszilloskop im x-y-Modus verwendet.

## 2.2 Frequenzabhängigkeit der Bauteile

Es soll die qualitativ die Frequenzabhängigkeit der in 2.1 verwendeten Bauteile bei einer Wechselspannungsfrequenz von 10 kHz ermittelt werden.

## 3 Phototransistor bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken

Nun wird mit Hilfe der Schaltung der vorherigen Aufgabe die Kennlinie des Phototransistors bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken ermittelt und soll anschließend interpretiert werden. Die Beleuchtungsstärke wird durch die Betriebsspannung der Lampe variiert.

## 4 Piezoelektrischer Effekt

Hier soll der Piezoelektrische Effekt untersucht werden, indem auf das Piezoelement in Form von Schallwellen verschiedene Drücke durch einen Lautsprecher, der am Frequenzgenerator angeschlossen wird, ausgeübt werden.

Im Anschluss daran, soll das Piezoelement als Piezolautsprecher verwendet werden und mögliche Einsatzgebiete des Piezoelektrischen Effektes in der Praxis diskutiert werden.

## 5 Sprungtemperatur des Hochtemperatursupraleiters

Bei diesem Versuch soll die Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters ermittelt werden. Wir verwenden hierfür die schon aufgebaute Vierleiterschaltung. Diese eignet sich für diesen Versuch besonders gut, da bei einer bekannten Stromstärke die Spannung hochohmig am zu untersuchenden Bauteil gemessen wird und so durch das ohmsche Gesetz auf dessen Widerstand geschlossen werden kann.

Der erste Schritt des Versuche ist, den Supraleiter durch Stickstoff auf 77 K abzukühlen, dann soll die Temperatur in Schritten von 5 K erhöht werden und jeweils der Widerstand des Supraleiters ermittelt werden. Dadurch lässt sich ein R-T-Diagramm erstellen, mit dessen Hilfe sich die Sprungtemperatur des Supraleiters bestimmen lässt.

## Literatur

- Vorbereitungshilfe der Praktikumshomepage
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Energiebändermodell>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Lawinendurchbruch>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Vierleiterschaltung>