

Auswertung des Versuches
P2-52
Widerstandskennlinien und ihre
Temperaturabhängigkeit

Markus Engelhardt

Manuel Schmidberger

2005-05-30

Inhaltsverzeichnis

1	Temperaturabhängigkeit eines Halbleiterwiderstandes	3
2	Kennlinien verschiedener Widerstände	4
2.1	Spannungsabhängigkeit der Stromstärke eines Edelmetallwiderstandes	4
2.2	Kaltwiderstand einer 60 W-Glühbirne (Wolfram-Glühwendel)	4
2.3	Kaltwiderstand einer 50 W-Kohledampflampe	5
3	Spannungsabhängigkeit der Stromstärke	5
3.1	Siliziumdiode	5
3.2	Zenerdiode	5
3.3	Germaniumdiode	5
3.4	Varistor	6
4	Punktweises Strom- und Spannungsmessen	7
5	Tunneldiode	7
5.1	Spannungsabhängigkeit der Stromstärke einer Tunneldiode .	7
5.2	Sprungverhalten der Stromstärke	8
5.3	Spannungsüberhöhungen durch Einbau einer Spule	8
6	Widerstand einer Festplatte	8

1 Temperaturabhängigkeit eines Halbleiterwiderstandes

Zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit eines Halbleiterwiderstandes wird eine Wheatstonesche Brückenschaltung mit einem Referenzwiderstand $R_2 = 101 \Omega$ aufgebaut. Der Halbleiterwiderstand wird beheizt. In regelmäßigen Temperaturabständen von $\Delta T = 10 K$ wird der Brückenstrom am Potentiometer auf Null geregelt. Der am Potentiometer abgelesene Wert wird in Abhängigkeit der zugehörigen Temperatur notiert. Mit Hilfe der Wheatstoneschen Gleichung kann nun der unbekannte Halbleiterwiderstand bestimmt werden.

Da sich hierbei wie erwartet mit zunehmender Temperatur ein exponentiell abfallender Widerstand einstellt (siehe Abbildung 1) wird zur Bestimmung der temperaturabhängigen Widerstandsgleichung der Logarithmus des Widerstandes über den Kehrwert der Temperatur aufgetragen (siehe Abbildung 2).

Aus der resultierenden Geradengleichung lassen sich die gesuchten Koeffizienten a und b bestimmen:

Es gilt: $a = 0,009 \Omega$ und $b = 2991 K$

Für die Widerstandsgleichung ergibt sich somit:

$$R(T) = 0,009 \Omega \cdot e^{\frac{2991 K}{T}}$$

Anwendungen eines Heißleiters:

- Ein Halbleiter kann zur Temperaturmessung verwendet werden. Dazu wird die Widerstandsgleichung nach der Temperatur aufgelöst:

$$T = \frac{2991 K}{\ln R(T) - \ln 0,009}$$

- Befindet sich ein Halbleiter in einem Gefäß mit Flüssigkeit, so wird dieser gekühlt. Die Oberfläche des Widerstandes und somit die Kühlung sind von der Füllhöhe abhängig.
Der Widerstand des Halbleiters kann dadurch als Maß für den Füllstand verwendet werden.
- Ein Halbleiter kann auch zur Strombegrenzung verwendet werden. Dazu wird er mit dem zu schützenden Bauteil in Reihe geschaltet. Bei größer werdender Stromstärke erwärmt sich der Halbleiter und damit auch sein Widerstand. Somit fließt weniger Strom durch den Halbleiter und dem zu schützenden Bauteil.

2 Kennlinien verschiedener Widerstände

Vor Durchführung der nachfolgenden Versuche muss eine Kalibrierung des Oszillators durchgeführt werden.

Dazu wird eine bekannte Spannung angelegt und mit einem Voltmeter gemessen. Da diese Spannung der Effektivspannung entspricht, ist der gemessene Wert noch mit dem Faktor $\sqrt{2}$ zu multiplizieren, um die zugehörige Maximalspannung zu erhalten.

2.1 Spannungsabhängigkeit der Stromstärke eines Edelmetallwiderstandes

Als erstes wird die Kennlinie eines Edelmetallwiderstandes am Oszillator dargestellt. Hierbei ist in x-Richtung die Spannung am Widerstand und in y-Richtung die Stromstärke über den Referenzwiderstand ($R = 101 \Omega$) dargestellt. Die sich ergebende Gerade wird in dem dafür vorgesehenen Formblatt übertragen.

Für den Platinwiderstand ergibt sich daraus:

$$R_{Pt} = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U_y}{\frac{\Delta U_x}{R_n}} = \frac{1,5 \text{ V}}{\frac{0,8 \text{ V}}{101 \Omega}} = \underline{189 \Omega}$$

Die Erwärmung mit einem Föhn ergibt nur eine kaum sichtbare Änderung der Geradensteigung. Dies liegt an der zu geringen Leistung des Föhnes.

2.2 Kaltwiderstand einer 60 W-Glühbirne (Wolfram-Glühwendel)

Analog zur vorhergehenden Aufgabe wird nun die Kennlinie einer 60 W-Glühbirne am Oszilloskop dargestellt. Hieraus kann nun der Kaltwiderstand der Glühbirne bestimmt werden.

Es gilt:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U_y}{\frac{\Delta U_x}{R_n}} = 200 \Omega$$

wobei R_n der Ersatwiderstand mit $R_n = 101 \Omega$

Der Kaltwiderstand ist überraschend hoch aber immer noch deutlich geringer als der Betriebswiderstand $R = 807 \Omega$

2.3 Kaltwiderstand einer 50 W-Kohledampflampe

Anstelle der Glühbirne wird nun eine 50 W-Kohledampflampe verwendet. Aus dessen Kennlinie wird wieder der Kaltwiderstand berechnet:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U_y}{\frac{\Delta U_x}{R_n}} = 1767,5 \, \Omega$$

Der Kaltwiderstand der Kohledampflampe ist somit höher als der Betriebswiderstand von $R = 968 \, \Omega$, woraus sich erklärt, dass die Kohledampflampe länger braucht, um ihre Endhelligkeit zu erreichen als die 60 W-Glühlampe.

3 Spannungsabhängigkeit der Stromstärke

Die nachfolgenden Versuche werden erst zuerst ohne und anschließend mit Erwärmung der Dioden mit Hilfe eines Föhnes durchgeführt.

3.1 Siliziumdiode

In diesem Versuch wird die Kennlinie einer Siliziumdiode am Oszilloskop dargestellt und wieder in ein Formblatt übernommen.

In Durchlassrichtung ergibt sich eine charakteristische Kennlinie einer SID mit einer Diffusionsspannung von $U_{\text{Diff}} = 0,5 \, \text{V}$. In Sperrrichtung ist keine Abbruchspannung sichtbar, da diese außerhalb des darstellbaren Bereiches liegt ($U_{\text{Ab}} \approx 40 \, \text{V}$).

3.2 Zenerdiode

Analog zur Siliziumdiode wird anschließend die Kennlinie einer Zenerdiode dargestellt. In Durchlassrichtung ergibt sich wieder das Bild einer Diode mit einer Diffusionsspannung von $U_{\text{Diff}} = 0,64 \, \text{V}$. In Sperrrichtung ist die Abbruchspannung sichtbar. Sie stellt sich bei einer Zenerspannung von $U_Z \approx 5 \, \text{V}$ ein.

3.3 Germaniumdiode

Die qualitative Verlauf der Kennlinie einer Germaniumdiode (GED) ist der einer SID ähnlich. Sie unterscheiden sich lediglich in der Tatsache, dass bei der GED die Stromstärke nicht so schnell zunimmt wie bei der SID.

Des Weiteren liegt die Diffusionsspannung einer GED niedriger als bei der SID, und zwar bei $U_{\text{Diff}} \approx 0,25 \text{ V}$.

In Sperrrichtung ist bei der GED erneut kein Abbruch sichtbar.

3.4 Varistor

Wie in der Vorbereitung bereits diskutiert ist die auf dem Oszilloskopbildschirm dargestellte Kennlinie punktsymmetrisch zum Ursprung. Die Diffusionsspannung des Varistors ist deshalb sowohl in Durchlass- als auch in Sperrrichtung vorhanden und liegt bei $U_{\text{Diff}} \approx 6 \text{ V}$.

Bei allen Dioden ergab sich nach Erwärmen mit dem Föhn ein nur kaum feststellbarer Unterschied, was wieder in der zu geringen Leistung des Heizgerätes begründet liegt.

- a) Der Arbeitswiderstand einer Diodengleichrichterschaltung muss groß genug gewählt werden, damit die Spannung, die an der Diode abfällt größer ist als die Durchlassspannung. Ist das nicht der Fall, so kann kein Strom durch die Diode fließen.
Der Arbeitswiderstand hingegen muss klein genug gewählt werden, um zu verhindern, dass bei einer hohen Stromstärke eine große Spannung an der Diode abfällt, das dies die Diode durch die hohe Verlustleistung und dadurch entstehende Erhitzung zerstören kann.
- b) Eine Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode wird dadurch erreicht, dass die Diode parallel zu dem Stromkreis geschaltet wird, in dem die Spannung stabilisiert werden soll. Bei steigender Eingangsspannung bricht die Zenerdiode durch und verringert somit die Eingangsspannung.
Durch den Einbau von mehreren in Reihe geschalteten Zenerdioden lässt sich eine größere Spannungsstabilisierung erreichen.
- c) Ein Varistor kann als Schutz gegen induzierte Spannungen an geschalteten Induktivitäten verwendet werden. Dazu wird dieser parallel zu der Spule geschaltet. Bei geringen Stromstärkeänderungen wird in der Spule nur eine geringe Gegenspannung induziert und der Varistor bleibt damit unbeeinflusst, da er bei geringen Spannungen schlecht leitet.
Bei einer großen Stromstärkeänderung und einer damit einhergehenden großen Gegenspannung, die in der Spule induziert wird, leitet der Varistor gut und führt die Spannung ab.

4 Punktweises Strom- und Spannungsmessen

Die Spannungsabhängigkeit der Stromstärke des Varistor kann auch durch punktweises Strom- und Spannungsmessen bestimmt werden. Dazu wird die Spannung in 1 V-Schritten 0 bis 13 V erhöht, und die jeweils herrschende Stromstärke gemessen.

Aus dem in der Vorbereitung gegebenen Zusammenhang zwischen der Spannung U und der Stromstärke I ergibt sich das in den Abbildungen 3 und 4 dargestellte Schaubild. Aus der Steigung m der Ausgleichsgeraden aus Abb. 4 lässt sich der Koeffizient b und aus dessen Y-Achsenabschnitt der Koeffizient c ermitteln.

Es gilt: $b = m = 0,48$ und $c = 2,9 \Omega$

Hieraus ergibt sich für die stromstärkenabhängige Spannung:

$$\underline{U(I) = 2,9 \Omega \cdot I^{0,48}}$$

5 Tunneldiode

5.1 Spannungsabhängigkeit der Stromstärke einer Tunneldiode

Um die Spannungsabhängigkeit der Stromstärke einer Tunneldiode zu bestimmen, wird im $300 \mu A$ -Bereich gemessen. Dies hat zur Folge, dass der Innenwiderstand des μA -Multizets bei $R_i = 600 \Omega$ liegt, und somit die Arbeitsgerade des Multizets die Kurve der Tunneldiode in nur einem Punkt schneidet. Dadurch wird das Sprungverhalten der Stromstärke (siehe Aufgabe 5.2) umgangen. Der Stromverlauf in Abhängigkeit der Spannung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Das lokale Maximum des Tunneleffektes liegt bei $I = 155 \mu A$ und $U = 62 V$. Das lokale Minimum der Leitfähigkeit liegt bei $I = 40 \mu A$ und $U = 275 V$. Die graphische Veranschaulichung ist den Abbildungen 5, 6 und 7 zu entnehmen.

Hieraus sind die Eigenschaften einer Tunneldiode sehr gut erkennbar.

Beim Maximum des Tunneleffektes ist es für die Elektronen energetisch am Günstigsten vom Valenzband zum Leitungsband zu tunneln. Mit zunehmender Spannung benötigen die Elektronen weniger Energie um die Grenzschicht zu umlaufen, als sie zu durchtunneln.

Dies zeigt sich in dem zweiten Anstieg der Stromstärke, der dem Anstieg einer Germaniumdiode entspricht.

5.2 Sprungverhalten der Stromstärke

Im Gegensatz zur vorhergehenden Aufgabe wird nun am Multizet im $100\ \mu\text{A}$ -Bereich gemessen. In diesem Bereich ist der Innenwiderstand des Multizet $R_i = 1700\ \Omega$. Dadurch ergeben sich drei Schnittpunkte der Arbeitsgeraden mit der Kennlinie der Tunneldiode.

Wird nun die Stromstärke von Null langsam hochgeregelt, so springt diese beim Erreichen des ersten Schnittpunktes sofort auf den Wert des letzten Schnittpunktes.

Somit verläuft die Stromstärke nicht stets entlang der Kennlinie, sondern wählt zwischen den Schnittpunkten den Weg der Arbeitsgeraden. Anschließend verläuft sie wieder entlang der Kennlinie.

5.3 Spannungsüberhöhungen durch Einbau einer Spule

Schließlich wird eine Spule zur Diode in Reihe geschaltet.

Erhöht man nun den Strom bis zum ersten Arbeitspunkt, kommt es durch Änderungen der Stromstärke in kurzer Zeit zur Induktion von Spannungen gemäß der Regel von Lenz: $U_{\text{ind}} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$

Da $\frac{dI}{dt}$ negativ ist, ist die induzierte Spannung positiv. Da U_{ind} sehr groß ist, folgt mit $U_0 = U_{\text{ind}} + U_D$, dass U_D negativ sein muss.

Somit springt U_D beim Erreichen des ersten Arbeitspunktes in den negativen Bereich. Anschließend baut sich die induzierte Spannung wieder ab, und U_D läuft wieder entlang der Kennlinie zum Arbeitspunkt. Beim Erreichen des Arbeitspunktes wiederholt sich der Vorgang.

Interessant bei diesem Versuch ist, dass man somit eine Möglichkeit hat Wechselspannung aus Gleichspannung zu erzeugen.

6 Widerstand einer Festplatte

Dieser Versuch kann wegen ungenügender Ausrüstung leider nicht durchgeführt werden.