

Versuch EL1 Die Diode

10.04/(1.07)

I. Zielsetzung des Versuchs

In diesem Versuch lernen Sie die grundlegenden Eigenschaften eines pn-Halbleiterübergangs kennen.

Dazu werden im ersten Teil des Versuchs die Kennlinien (Strom-Spannungs-Charakteristiken) einer Germaniumdiode und einer Siliziumdiode ausgemessen.

Im zweiten Versuchsteil lernen Sie praktische Anwendungen kennen: Es werden mit Siliziumdioden verschiedene Schaltungen zur Gleichrichtung und Glättung einer Wechselspannung und zum Bau eines spannungsstabilisierten Netzteils realisiert. Dabei werden Filterschaltungen mit Kondensatoren und einer Drosselspule aufgebaut sowie eine einfache Spannungstabilisierung mit einer Zener-Diode.

II. Vorkenntnisse

Bändermodell, Fermistatistik, Elektronen- und Löcherleitung, p-n-Grenzschicht, Diode, Gleichrichtung, Glättung, LC-Siebglied, Spannungstabilisierung.

III. Literatur

R. MÜLLER: Grundlagen der Halbleiter-Elektronik
R. MÜLLER: Bauelemente der Halbleiter-Elektronik
GÄRTNER: Einführung in die Physik des Transistors
TIETZE, SCHENK: Halbleiter-Schaltungstechnik
BAYLEY: Introduction to semiconductor devices
DELANEY: Electronics for physicists
MALMSTADT, ENKE: Electronics for scientists

IV. Theorie zum Versuch

Die einfachste Halbleiterdiode besteht aus einer p-n-Grenzschicht. Es ist möglich, einen analytischen Ausdruck für die Strom-Spannungs-Charakteristik (Kennlinie) einer solchen Halbleiterdiode abzuleiten. Bei der Ableitung bedient man sich der Tatsache, daß eine bestimmte Potentialdifferenz über der Grenzschicht eine bestimmte Elektronenenergie zur Folge hat und daß außerdem die Zahl der Elektronen mit dieser Energie durch die Maxwell-Boltzmann-Verteilung gegeben ist. So verwundert es auch nicht, daß der Faktor $\exp(eU/kT)$ in der Formel auftaucht, wobei e die Elektronenladung, U die Potentialdifferenz, k die Boltzmannkonstante und T die absolute Temperatur bedeutet.

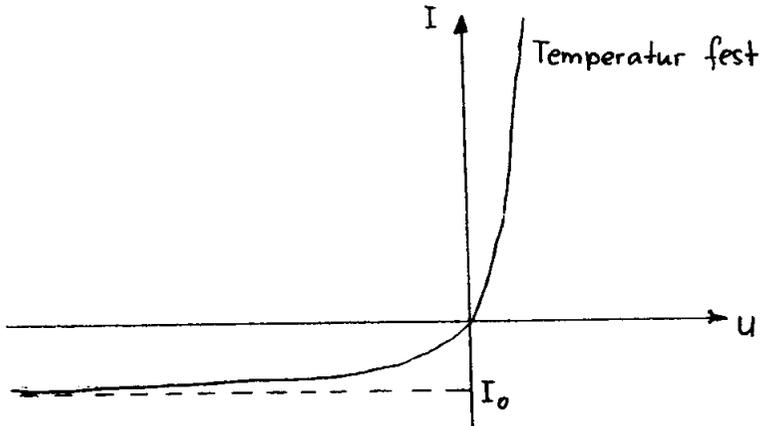
Das Ergebnis der Rechnung, die hier nicht abgeleitet werden soll, ist

$$I = I_0(e^{\frac{eU}{kT}} - 1) \quad (1)$$

Hierin ist I_0 der maximale Sperrstrom für große negative Spannungen U . I_0 ist für eine feste Temperatur eine charakteristische Konstante für eine bestimmte Diode.

Wie groß ist $\exp(eU/kT)$ bei Zimmertemperatur und einer Spannung $U = 1$ Volt bzw. $U = 1$ mV?

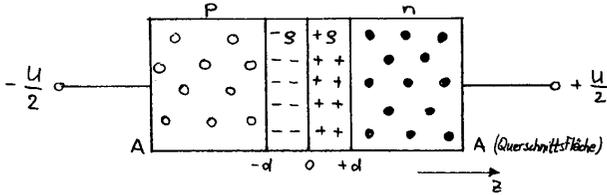
Gemäß Formel (1) hat die Diodenkennlinie folgendes Aussehen:



Um das Verhalten eines Halbleiterelementes zu beschreiben, treten die Begriffe Durchlaßrichtung und Sperrichtung häufig auf (in der angelsächsischen Literatur mit Forward bias bzw. reverse bias bezeichnet). Bei der Durchlaßrichtung ist die Spannung so an die Grenzschicht gelegt, daß die Diode dem Strom einen kleinen Widerstand entgegenstellt. Der Strom fließt also von dem p- in das n-Gebiet. Umgekehrt liegen die Verhältnisse im Sperrfall. Man kann eine Diode im Sperrfall als elektronisch variablen Kondensator betreiben. (Für solche Zwecke gibt es spezielle Dioden, die man Kapazitäts-Dioden oder auch Varaktor-Dioden nennt.)

Erhöht man die Sperrspannung über einer Diode, dann bewegen sich sowohl die Elektronen als auch die Löcher von der Grenzschicht weg und man erhält ein elektrisch geladenes Gebiet in einem kleinen Bereich um die Grenzschicht.

Lassen Sie uns ein einfaches Beispiel betrachten:



Im Sperr-Fall mit einer Spannung U über der Diode haben sich die Elektronen und Löcher um eine Entfernung d von jeder Seite der Grenzschicht wegbewegt. Dies bewirkt Bereiche mit den Ladungsdichten $+\rho$ und $-\rho$. Diese Ladungsverteilung erinnert an einen Kondensator mit einer effektiven Ladung auf jeder Seite, die gegeben ist durch

$$Q = \rho A d. \quad (2)$$

Es bleibt uns nunmehr, eine Beziehung zwischen U und d aufzustellen.

Die in der obigen Abbildung dargestellte Situation unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Plattenkondensator dadurch, daß man kein konstantes elektrisches Feld zwischen den Platten hat.

Bei einer Diode steigt das Feld linear bis zum Maximalwert $\frac{Q}{\epsilon A}$ an der Grenze zwischen p- und n-Material an (ϵ ist die dielektrische Konstante) und fällt dann wieder bei $z = d$ auf Null ab. Die Feld- und Potentialverläufe für den Plattenkondensator und für die Diode sind in den nachfolgenden Abbildungen (Seite 4) wiedergegeben. Das Potential über der Grenzschicht ist gegeben durch

$$U = - \int_{-d}^{+d} E dz = \frac{Qd}{\epsilon A} \quad (3)$$

Da wegen Gleichung (2) gilt: $d = \frac{Q}{\rho A}$, erhalten wir

$$U = \frac{1}{\epsilon \rho} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (4)$$

Die „Kleinsignal-Kapazität“ der Diode, definiert als

$$C_V = \frac{dQ}{dU} \quad (5)$$

ist dann gegeben durch

$$C_V = \frac{A}{2} \left(\frac{\varepsilon \rho}{U} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

d.h. im Sperrbereich läßt sich die Kapazität der Diode durch die Vorspannung U variieren. Diese Eigenschaft eines elektronisch einstellbaren Kondensators wird bei Kapazitäts- oder Varaktordioden ausgenutzt. **In unserem Versuch werden wir uns mit der Diodenkapazität aber nicht weiter beschäftigen.**

Eine andere Anwendung finden Dioden beim Bau von Gleichspannungs-Netzteilen. Mit einer oder mehreren Dioden lassen sich Wechselspannungen gleichrichten. Um eine konstante Gleichspannung zu erhalten, verwendet man zur Glättung Kondensatoren und RC- oder LC-Siebglieder. Besonders konstante Gleichspannungen lassen sich mit Hilfe von Zener-Dioden erzeugen, da diese im Sperrbereich oberhalb der Zener-Spannung einen sehr kleinen differentiellen Widerstand

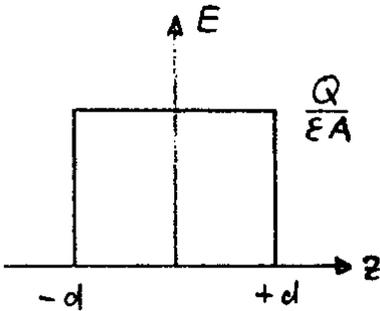
$$r = \frac{dU}{dI} \quad (7)$$

besitzen; d.h. Schwankungen des Stromes I verursachen nur sehr kleine Änderungen der Spannung U an der Zener-Diode.

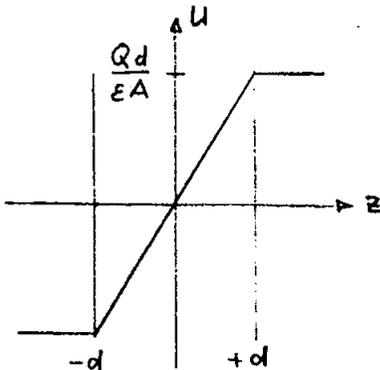
Plattenkondensator



In einem gewöhnlichen Plattenkondensator liegen die Ladungen $+Q$ und $-Q$ auf Platten der Fläche A getrennt durch ein Medium mit der Dielektrizitätskonstante ϵ .

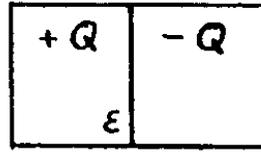


Das elektrische Feld ist konstant im Gebiet zwischen den Platten.

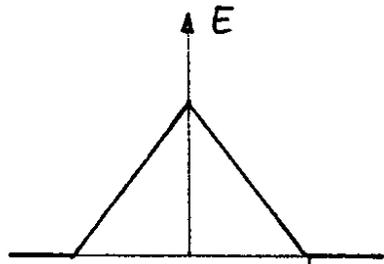


Das Potential steigt linear zwischen den Platten an.

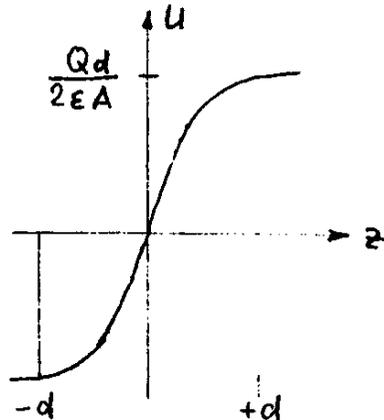
Diode



In einer in Sperrichtung betriebenen Diode sind die Ladungen $+Q$ und $-Q$ in der Grenzschicht gleichmäßig verteilt.



Das Feld steigt linear bis zum Zentrum der Grenzschicht an und fällt dann wieder linear ab.



In der Diodengrenzschicht wird das Potential durch eine parabolische Funktion von z beschrieben.

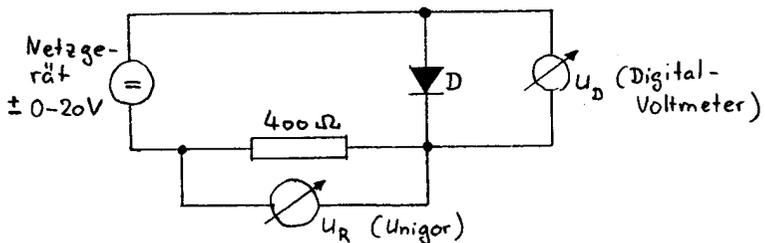
V. Versuchsdurchführung

Allgemeiner Hinweis: Verbindungen zwischen Punkten des Schaltkastens dürfen nur mit Kurzschlußsteckern vorgenommen werden. (Kabel sind nur für Verbindungen zu äußeren Meßinstrumenten zu verwenden!)

Versuchsprogramm

1) Messung von Dioden-Kennlinien

Die Kennlinien einer Germanium-Diode (AA 144) und einer Silizium-Zener-Diode (ZD 5.1) sollen im Durchlaß- und Sperrbereich mit Hilfe der folgenden Schaltung ausgemessen werden.



Wichtig:

Bei der Messung der Diodenkennlinie fließen in Sperrichtung nur sehr kleine Ströme. Anstelle der oben angegebenen Schaltung kann es sinnvoller sein, den Sperrstrom direkt mit dem Unigor (als Amperemeter) zu messen.

Dabei muß aber unter allen Umständen der 400-Ω-Widerstand als Vorwiderstand im Stromkreis zwischen Netzgerät und Diode bleiben!

Oft wird nämlich versehentlich die Diode in Durchlaßrichtung geschaltet, wo ohne Schutzwiderstand ein so großer Strom fließen kann, daß die Diode zerstört wird.

Korrigieren Sie den Einfluß der Meßinstrumente.

Tragen Sie die Kennlinie $I = f(x)$ graphisch auf. Stellen Sie die Kennlinie im Durchlaßbereich auf halbblotlogarithmischem Papier dar.

Welchen Verlauf erwarten Sie?

- 2) Gleichrichtung und Glättung einer Wechselspannung, Bau eines spannungsstabilisierten Netzteils.

2.1. Einweggleichrichtung

- a) Bauen Sie eine Einweggleichrichtung nach Schaltung 2a) auf (siehe folgende Seite). Beobachten Sie bei $R_L = \max.$ die Ausgangsspannung U_A auf dem Oszillografen. Skizzieren Sie den Verlauf von U_A .
- b) Glätten Sie die Ausgangsspannung mit Hilfe des Kondensators C_L (Schaltung 2b)

- 1.) Zunächst mit $C_L = 15 \mu\text{F}$.

Beobachten Sie die Ausgangsspannung U_A auf dem Oszillografen und skizzieren Sie den Verlauf. Messen Sie die Gleichspannung U_{\sim} und den Restbrumm U_{\sim} als Funktion des Stromes I , indem Sie den Lastwiderstand R_L variieren (5 Meßwerte).

U_{\sim} und I sollen durch Spannungsmessungen mit dem Unigor gemessen werden, (warum nicht mit dem DVM?), U_{\sim} wird mit dem Oszillographen gemessen. Tragen Sie graphisch das Verhältnis U_{\sim} / U_{\sim} gegen I auf.

- 2.) Wiederholen Sie die Messung mit dem größeren Kondensator

$$C_L = 100 \mu\text{F}.$$

Frage: Wodurch ist eine Vergrößerung von C_L begrenzt?

- c) Verbessern Sie die Glättung durch Hinzuschalten eines LC-Siebgliebes (Schaltung 2c). Dabei ist $C_S = 100 \mu\text{F}$, $L_S = 10 \text{ H}$. Machen Sie die gleichen Messungen wie beim vorherigen Punkt (nur $C_L = 100 \mu\text{F}$).

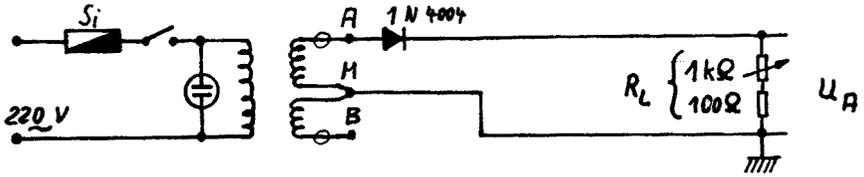
2.2. Zweiweggleichrichtung

Bauen Sie eine Zweiweggleichrichtung mit Glättung nach Schaltung 2d) auf. Führen Sie die gleichen Messungen wie bei der Einweggleichrichtung durch. Welche Frequenz hat der Restbrumm?

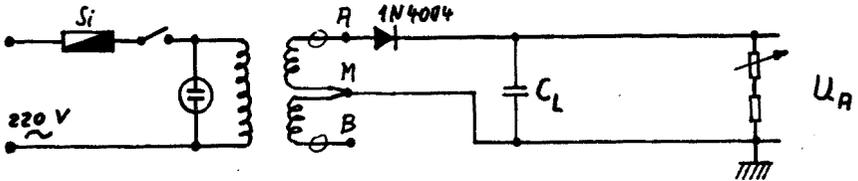
2.3. Spannungsstabilisierung

Bauen Sie ein spannungsstabilisiertes Netzteil (Schaltung 2e) auf. Warum ist der zusätzliche Widerstand R_V wichtig? Messen Sie die Ausgangsgleichspannung U_{\sim} über der Zener-Diode als Funktion des Laststromes I (graphische Darstellung). Messen Sie U_{\sim} mit dem DVM, I durch Spannungsmessung mit dem Unigor.

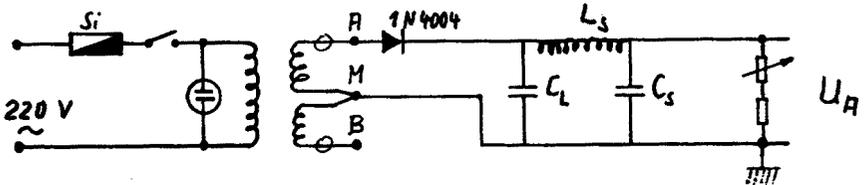
Schaltung 2a)



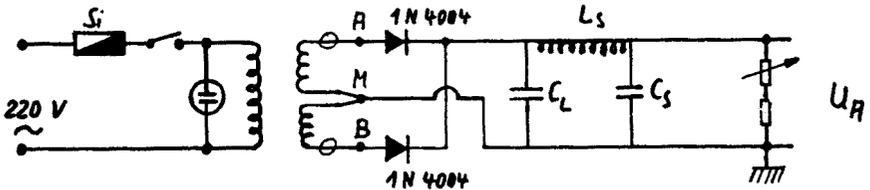
Schaltung 2b)



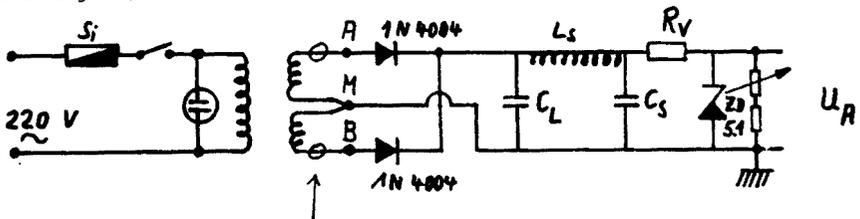
Schaltung 2c)



Schaltung 2d)



Schaltung 2e)



Thermosicherung, springt bei $I \gg 0,5 \text{ A}$ heraus, dann nach 1/2 Minute schwarzen Knopf wieder hineindrücken!