

Transistorkennlinien

Einleitung:

In diesem Versuch werden verschiedene Kennlinien an mehreren Schaltungen an einem Transistor gemessen.

Aufgaben:

1.: Ausgangskennlinie für $I_B=0,1mA, 0,3mA, 0,5mA$

Im Normalfall sollte das Ausgangskennlinienfeld eine Schar von Kurven mit zunächst mit der Spannung stark anwachsendem Strom sein, ab einem bestimmten U_{CE} dann in eine flach lineare Funktion übergehen. In unserem Fall steigen die Kurven für kleines U_{CE} zwar stark an, nach einer Kulmination fallen sie jedoch wieder. Bei höherem U_{CE} trat dann bei $I_B=0,1mA$ beim Nachregeln ein Zusammenbrechen des Stromes auf, womit keine Messung mehr möglich war. Den Stromverstärkungsfaktor rechnen wir bei $U_{CE}=2V$ aus den Werten der Tabelle aus:

$$\bar{B} = \frac{1}{3} \cdot \sum_1^3 \frac{I_C}{I_B} = 106$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_1^3 (B_i - 106)^2} = 31,0$$

$$u = \frac{t}{\sqrt{n}} s = 23,6$$

$$\Rightarrow B = 106 \pm 23,6$$

Die Fehlerindikatoren sind nach Herstellerangaben für den jeweiligen Messbereich mit einer prozentualen Toleranz sowohl in x- als auch in y-Richtung mit Fehlerbalken eingetragen. Dies gilt für alle folgenden Diagramme.

2.: Eingangskennlinie

Auch hier ist eine starke Abweichung von den erwarteten Ergebnissen zu sehen: für $U_{CE}=3V$ unterliegt der Strom starken Schwankungen, was im Normalfall eine e-Funktion sein sollte. Für $U_{CE}=0V$ ist dann aber in der logarithmischen Skalierung eine Gerade zu erkennen, so wie das erwartet wird. Die Steigung der Geraden im

halblogarithmischen Maßstab ist der Ausdruck $\frac{e}{kT}$. Also mit den Tabellendaten:

$$I = I_s \cdot \exp\left(\frac{eU}{kT}\right)$$

$$\ln(I) = \ln(I_s) + \frac{e}{kT} U$$

$$\frac{e}{kT} = \frac{\ln(I_2) - \ln(I_1)}{U_2 - U_1} = \frac{\ln(0,15) - \ln(0,001)}{0,6V - 0,45V} = 33,4 \frac{1}{V}$$

$$\Rightarrow T = \frac{e}{k \cdot 33,4 \frac{1}{V}} = 347K$$

und der Sperrstrom:

$$I_s = \frac{I}{\exp\left(\frac{eU}{kT}\right)} = \frac{0,006}{\exp\left(\frac{e \cdot 0,5V}{k \cdot 347}\right)} = 0,33nA$$

3.: Steuerkennlinie

Diese ist gekennzeichnet durch einen Nullverlauf bis zu einer gewissen Spannung, oberhalb der der Strom dann exponentiell ansteigt.

4.: Diodenkennlinie

Der plötzliche Durchbruch der Diode bei einer charakteristischen Grenzspannung ist im Diagramm deutlich zu sehen.

Beantwortung der Fragen:

a) Was versteht man unter einem Halbleiter?

Ein Halbleiter ist ein Festkörper, der - im Gegensatz zu Metallen - bei einer Temperatur von 0K keine Elektronen im Leitungsband hat, d. h. er leitet bei dieser Temperatur nicht. Beim Isolator ist die Energielücke zwischen Leitungsband und Valenzband so groß, dass die Elektronen nicht aus dem Valenzband in das Leitungsband gelangen können; beim Halbleiter hingegen, können mit zunehmender Temperatur immer mehr Elektronen ins Leitungsband gelangen. Dies hat zur Folge, dass Halbleiter mit steigender Temperatur besser leiten, da erst dann ausreichend frei bewegliche Ladungsträger zu Verfügung stehen.

b) Was besagt das Bändermodell?

Bei Atomen, die sich in Gittern bzw. Kristallstrukturen anordnen, überlagern sich die Orbitale. Beim Bändermodell bilden diese Überlagerungen der Orbitale die sogenannten Energiebänder. Vollständig besetzte Bänder werden als Valenzbänder, teilweise oder unbesetzte Bänder werden als Leitungsbänder bezeichnet. Metalle besitzen teilweise besetzte Leitungsbänder, während Halbleiter und Isolatoren unbesetzte Leitungsbänder besitzen. Der Unterschied zwischen Halbleitern und Isolatoren besteht in der geringeren Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband bei Halbleitern.

c) Was versteht man unter Eigen- und Störstellenleitung?

Man spricht von Eigenleitung, wenn im betrachteten Material keine Fremdatome und im Leitungsband bereits Elektronen vorhanden sind (Metall) oder diese durch Anregung in das Leitungsband gehoben wurden (Halbleiter). Die Leitung erfolgt nun sowohl durch Elektronen, als auch durch "Löcher".

Durch den Einbau von Fremdatomen in den Halbleiter lassen sich die Leitungseigenschaften genau steuern. Diese Fremdatome geben entweder Elektronen ab (Elektronen-Donatoren, n-Leitung) oder nehmen Elektronen auf (Elektronen-Akzeptoren, p-Leitung). Dadurch lässt sich eine der zwei Leitungsarten fördern. Diese Leitung nennt man Störstellenleitung.

d) Welche Eigenschaften hat ein pn-Übergang?

In einem pn-Übergang diffundieren Löcher vom p-dotierten Halbleiter zum n-dotierten, während Elektronen den umgekehrten Weg nehmen, da im p-Halbleiter ein Überschuss an Löchern und im n-Halbleiter ein Überschuss an Elektronen vorhanden ist. Dies führt dazu, dass sich ein elektrisches Feld ausbildet, das den Vorgang zum Erliegen bringt. In der Umgebung des pn-Übergangs hat sich somit ein Gebiet entwickelt, in dem nahezu alle Ladungsträger gebunden sind. Legt man nun eine Spannung am pn-Halbleiter an, so dass am p-dotierten Halbleiter der positive Pol der Spannungsquelle anliegt, so fließt ein Strom. Polt man die Spannung um, dann sperrt der Halbleiter und der ladungsträgerfreie Raum erweitert sich, bis der gesamte Halbleiter davon erfüllt ist. Danach fließt plötzlich ein großer Strom, da das Feld nicht mehr ausreicht, um die Ladungsträger zurückzuhalten und die Ladungsträger wiederum andere gebundene Ladungsträger aus ihren Bindungen herauszuschlagen. Es kommt zu einem Lawineneffekt; die Diode ist durchgebrochen (Diode = Kombination von einem p- und einem n-Bereich).

e) Was ist ein bipolarer Transistor? Wie ist seine Funktionsweise?

Ein bipolarer Transistor besteht im Wesentlichen aus zwei pn-Übergängen, wobei die Reihenfolge der Schichtung dem Transistor seinen Namen gibt (nnp- oder pnp-Transistor). Im Gegensatz zum unipolaren Transistor werden hier sowohl positive als auch negative Ladungsträger zum Stromtransport verwendet.

Zur Funktionsweise eines bipolaren npn-Transistors (funktional gleichwertig, aber schaltungstechnisch invers zum pnp-Transistor): Zwischen Kollektor C und Emitter E liegt eine positive Spannung U_{CE} an. Ist nun die Basis B negativ gegenüber dem Emitter E, so kann kein Strom zu C fließen (reale Stromrichtung negativer Ladungsträger), da sowohl die BC-, als auch die EB-Diode in Sperrrichtung geschaltet sind. Ist andernfalls B positiv gegenüber E, so ist die BE-Diode in Durchlassrichtung geschaltet und Elektronen gelangen von der n- in die p-Zone. Falls nun die mittlere freie Weglänge der Elektronen bis zur Rekombination mit einem Gitterloch groß und die p-Schicht ausreichend genug ist, so können Elektronen bis zum BC-Übergang diffundieren, wo sie wegen der positiven U_{CE} -Spannung zum Kollektor abgesaugt werden: es fließt ein Strom.

f) Welche Grundschaltungen des Transistors gibt es? Welche Eigenschaften haben sie?

Es gibt drei Arten der Grundschaltung: Emitterschaltung, Basisschaltung und Kollektorschaltung. Der Name der Schaltung gibt darüber Auskunft, welcher Anschluss des Transistors am gemeinsamen Potential von Eingangs- und Ausgangsschaltung liegt.

1. Emitterschaltung:

Der Kollektorstrom I_C wird über den Basisstrom I_B gesteuert. Es ergibt sich eine große Stromverstärkung:

Bei einem geeigneten Arbeitswiderstand hat man auch eine Spannungsverstärkung, so dass sich insgesamt also

$$B = \frac{I_C}{I_B} \approx 100$$

eine große Leistungsverstärkung ergibt.

2. Basisschaltung:

Hier wird der Strom nicht verstärkt ($B \approx 1$). Es ergibt sich aber eine große Spannungsverstärkung.

3. Kollektorschaltung:

Bei dieser Schaltung wird der Strom in etwa so verstärkt wie bei der Emitterschaltung und die Spannung wird nicht verstärkt.

g) Welcher Wellenlänge entspricht die Energielücke in Si und Ge, wenn in einer lichtemittierenden Diode die Lichtemission durch Band-Band-Übergänge erfolgt? Welche Energielücke muss der Halbleiter haben?

Es gilt:

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$$

$$\text{Si} : \lambda = \frac{h \cdot c}{1,12 \text{ eV}} = 1,11 \mu\text{m}$$

$$\text{Ge} : \lambda = \frac{h \cdot c}{0,67 \text{ eV}} = 1,85 \mu\text{m}$$

Ein Halbleiter, der in einer LED durch Band-Band-Übergang eine Wellenlänge von $\lambda = 600 \text{ nm}$ abstrahlen soll, muss eine Energielücke von

$$E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 2,07 \text{ eV}$$

aufweisen.