

TRANSISTORKENNLINIEN 1 (TRA 1)

DANIEL DOLINSKY UND JOHANNES VRANA

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
2. Messverfahren	1
3. Bemerkung zur Fehlerrechnung	1
4. Stromverstärkungsfaktor	2
5. Eingangskennlinie	2
6. Beantwortung der Fragen	4

1 EINLEITUNG

In diesem Versuch werden die Kennlinien eines Transistors (Ausgangs-, Eingangs-, Steuerkennlinie) und die Diodenkennlinie der Basis-Emitter-Strecke gemessen und grafisch dargestellt.

2 MESSVERFAHREN

Es standen für jede Messung der Transistorkennlinien zwei Schaltungen zur Verfügung (siehe Skript). Davon sind jeweils die rechten die geeigneten, da sie spannungsrichtig sind. Die Verfälschung des gemessenen Stromes in der rechten, spannungsrichtigen Anordnung fällt nämlich weniger stark ins Gewicht, als die Spannungsverfälschung in der linken, stromrichtigen Anordnung.

3 BEMERKUNG ZUR FEHLERRECHNUNG

Die Fehlerrechnung (Ausgleichsgerade und Mittelwert) wurde mit einem Programm von JOHANNES VRANA ausgeführt. (Der Quelltext ist am Ende des Protokollheftes zu finden; die darin verwendeten Formeln sind aus dem Skript)

4 STROMVERSTÄRKUNGSFAKTOR

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

$$f_B = B \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{I_C}}{I_C}\right)^2 + \left(\frac{f_{I_B}}{I_B}\right)^2}$$

I_C/mA	I_B/mA	B
$20,1 \pm 0,1$	$0,100 \pm 0,001$	$201,0 \pm 2,3$
$62,3 \pm 0,1$	$0,300 \pm 0,001$	$207,7 \pm 0,8$
$102,6 \pm 0,1$	$0,500 \pm 0,001$	$205,2 \pm 0,5$

Durchschnitt: $\bar{B} = 204,62$

Standardabweichung: $s = 3,3707$

Meßunsicherheit: $u_B = 2,5617$

Ungenauigkeit: $f_B = 2,245$

gesamte Meßunsicherheit: $u = \sqrt{u_B^2 + f_B^2} = 3,406$

$$\Rightarrow \bar{B} = 205 \pm 4$$

5 EINGANGSKENNLINIE

$$I = I_S \cdot \exp\left(\frac{e \cdot U}{k \cdot T}\right)$$

$$\ln I = \ln I_S + \frac{e \cdot U}{k \cdot T}$$

Aus der Ausgleichsgeraden ergibt sich der Achsenabschnitt a_0 und die Steigung a_1 , wobei

$$a_0 = \ln I_S$$

und

$$a_1 = \frac{e}{k \cdot T}$$

sind. Die Temperatur läßt sich dementsprechend so berechnen:

$$T = \frac{e}{k \cdot a_1}$$

und der Sperrstrom:

$$I_S = \exp(a_0)$$

Die Fehler lassen sich so berechnen:

$$u_T = \frac{e \cdot u_{a_1}}{k \cdot a_1^2}$$

$$u_{I_S} = u_{a_0} \cdot \exp(a_0)$$

U_{CE}/V	a_0	a_1	T/K	$I_S/10^{-15}\text{ A}$
$0,00 \pm 0,02$	$-33,6 \pm 0,6$	$37,3 \pm 0,9$	$310,91 \pm 0,11$	$2,6 \pm 1,5$
$3,00 \pm 0,03$	$-34,5 \pm 1,1$	$35,9 \pm 1,6$	$323,58 \pm 0,17$	$1,0 \pm 1,1$

Die Temperatur ist bei einer Kollektor-Emitter-Spannung von 0 V mit $37,76 \pm 0,11\text{ °C}$ niedriger, als wie $50,43 \pm 0,17\text{ °C}$, wenn eine erhöhte Spannung von 3 V angelegt ist. Der Transistor wärmt sich also mit einer Erhöhung der Kollektor-Emitter-Spannung auf. Der Sperrstrom liegt in einer Größenordnung von 10^{-15} A , also sehr klein.

6 BEANTWORTUNG DER FRAGEN

1. Ein Halbleiter ist ein Festkörper mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von 10^{-9} bis $10^{-3} \Omega \text{ cm}$. Außerdem leitet ein intrinsischer Halbleiter bei 0 K nicht. Bei höheren Temperaturen nimmt sein Widerstand aber ab, also seine Leitfähigkeit zu.
2. Die Elektronen eines Atoms befinden sich in bestimmten Regionen. In Kristallen verbinden sich diese Regionen zu Bänder, die durch verbotene Energiezonen unterteilt sind. Die Elektronen, die sich in den abgeschlossenen Innenschalen oder in den Valenzbändern befinden, können sich nicht bewegen. Nur die im teilweise besetzten Leitungsband befindlichen für Leitung sorgen. In Metallen ist das Leitungsband, im Gegensatz zu Halb-, oder Nichtleitern, bei 0 K besetzt. In Halbleitern ist die Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband aber so klein, daß angeregte Elektronen (z.B. bei höherer Temperatur) in das Leitungsband „springen“ können.
3. Wenn Elektronen in das Valenzband gehoben wurden, sind dadurch auch gleich viele „Löcher“ im Valenzband entstanden. Die Leitung erfolgt nun sowohl durch Elektronen, als auch durch „Löcher“. Diese Leitung nennt man Eigenleitung.
Durch den Einbau von Fremdatomen in das Halbleiterkristall lassen sich die Leitungseigenschaften genau steuern. Diese Fremdatome sind entweder Elektronen-Donatoren (n-Leitung) oder Akzeptoren (p-Leitung). Dadurch läßt sich eine der zwei Leitungsarten fördern. Diese Leitung nennt man Störstellenleitung.
4. Bei einem pn-Übergang grenzt ein p-leitender Bereich an einen n-leitenden Bereich. Durch das Konzentrationsgefälle für Löcher und Elektronen entsteht ein Diffusionsstrom, der durch das entstehende elektrische Feld ausgeglichen wird. Es entsteht dadurch eine Sperrschicht mit der Diffusionsspannung U_D .
Legt man nun eine äußere Spannung in Flußrichtung an, so wird U_D vermindert. Dadurch wird auch die Raumladungszone kleiner. Dadurch steigt der Diffusionsstrom an.
Legt man eine Sperrspannung an, so wird U_D noch erhöht, und es kann so gut wie kein Strom mehr fließen. Falls man die Spannung aber über einen kritischen Wert hinaus erhöht, steigt der Strom sprunghaft an (Durchbruch). Hierbei reicht die Energie der Ladungsträger aus um ein Elektronen-Loch-Paar zu erzeugen. Da jeder entstandene freie Ladungsträger weitere Stöße durchführen kann, kommt es zu einem Lawineneffekt.
5. Ein Transistor ist entweder aus npn-, oder aus pnp-leitenden Gebieten aufgebaut. (Weitere Beschreibung nur für npn) Die drei Bereiche heißen Emitter (E), Basis (B) und Kollektor(C). Er heißt bipolar, wenn beide Ladungsträgerarten zum Ladungstransport beitragen, sonst unipolar. Es werden Spannungen so angelegt, daß die EB-Diode in Flußrichtung und die CB-Diode in Sperrrichtung geschaltet ist. Am basisseitigen Rand der EB-Raumladungszone herrscht eine hohe Konzentration an Elektronen. Durch die Sperrpolung werden die Elektronen in der BC-Raumladungszone abgesaugt. Die Konzentration der Elektronen am kollektorseitigen Rand der BC-Raumladungszone ist niedrig. Es entsteht also ein Konzentrationsgefälle zwischen Emitter und Kollektor. Durch die Basis entsteht ein Diffusionsstrom. Wenn die Basis B dünn ist, ist der Kollektorstrom gleich dem Emitterstrom.
6. Man kennt folgende drei Grundschaltungsarten des Transistors: Emitter, Basis- und Kollektorschaltung. Die Namen beziehen sich darauf, welcher Anschluß für Eingangs- und Ausgangskreis auf demselben Potential liegt (Schaltungen siehe [?]).
 - Emitterschaltung
Der Kollektorstrom I_C wird über den Basisstrom I_B gesteuert. Da $I_B \ll I_C$ ist die

Stromverstärkung β groß. Kleine Spannungsänderungen ΔU_e bewirken wegen der nicht-linearen Kennlinie große Änderungen des Basisstroms I_B und damit auch des Kollektorstroms I_C . So erhält man bei geeignetem Arbeitswiderstand R ebenfalls eine Spannungsverstärkung. Insgesamt ergibt sich eine große Leistungsverstärkung.

- Basisschaltung

Hier ist keine Stromverstärkung vorhanden, da I_C ungefähr gleich I_B ist. Allerdings ist U_{CE} größer als U_{BE} . Daraus folgt eine große Spannungsverstärkung.

- Kollektorschaltung

Da $|U_{BE}| \ll |U_{CB}|$ ist, ergibt sich eine äußerst geringe Spannungsverstärkung. Die Stromverstärkung ist ähnlich der bei der Emitterschaltung.

7.

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

Element	E_G / eV	$\lambda / \mu\text{m}$
Ge	1,12	1,11
Si	0,67	1,85