

Versuch EL2
Der Transistor

9.06

I. Ziel des Versuchs

In diesem Versuch sollen grundlegende Eigenschaften eines Flächentransistors und einige Anwendungen in einfachen Verstärkerschaltungen untersucht werden.

Dazu messen Sie die Eingangs- und Ausgangskennlinien eines npn-Transistors. Außerdem werden Sie die Kennlinien auf dem Oszillographen (Kennlinienschreiber) darstellen.

II. Vorkenntnisse

p-n-Grenzschicht, Bändermodell,
pnp- und npn-Transistor,
Elektronen- und Löcherleitung,
Spannungen und Ströme beim Betrieb eines Transistors,
Grundsaltungen, Verstärkung, Kennlinienfelder

Literatur

R. MÜLLER: Grundlagen der Halbleiterelektronik
R. MÜLLER: Bauelemente der Halbleiterelektronik
GÄRTNER: Einführung in die Physik des Transistors
BAYLEY: Introduction to semiconductor devices
DELANEY: Electronics for physicists
MALMSTADT, ENKE: Electronics for scientists

1) Einführung

Der Flächentransistor kann als ein Paar Flächendioden mit einer gemeinsamen n- oder p-Region verstanden werden. Ist die n-Region gemeinsam, liegt ein pnp-Transistor vor, ist die p-Region gemeinsam, ein npn-Transistor.

In Versuch EL1 wurden schon die charakteristischen Eigenschaften einer p-n-Verbindung besprochen. Die elektrischen Eigenschaften eines p-n-Überganges sind in Abb. 1 wiederholt. In Vorwärtsrichtung überqueren die Löcher die Grenzfläche in die n-Region hinein, wo sie mit den Elektronen rekombinieren. Ebenso überqueren die Elektronen die Grenzschicht in die p-Region hinein und rekombinieren dort mit den Löchern. Wird das äußere

Feld umgekehrt, dann bewegen sich die Majoritätsträger von der Grenzfläche weg zu ihren jeweiligen Seiten hin. Ein kleiner Strom in Rückwärtsrichtung wird von Ladungsträgern beider Vorzeichen aufrechterhalten, die in der Region der Grenzschicht erzeugt werden.

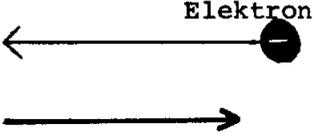
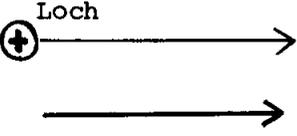
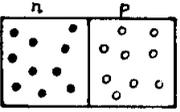
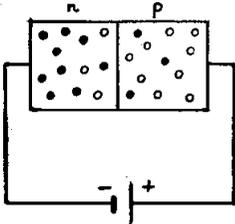
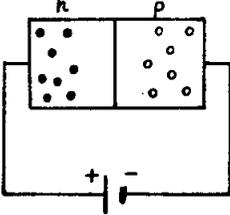
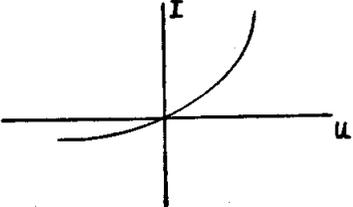
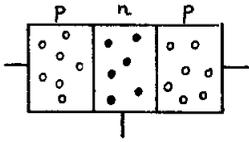
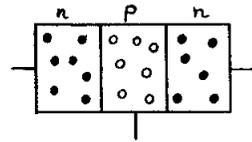
 <p>a) Halbleiter haben zwei verschiedene Ladungsträger: Elektronen mit negativer Ladung ...</p>	 <p>b) ... und Löcher, da wo Elektronen fehlen. Die Löcher verhalten sich wie positiv geladene Teilchen.</p>
 <p>c) Eine Halbleiter-Grenzfläche trennt eine n-Region, in der die Majoritätsträger Elektronen sind, von einer p-Region mit Löchern als Majoritätsträger.</p>	 <p>d) Wenn eine positive Spannung an die p-Region gelegt wird, wird ein starker Strom über die Grenzfläche erzeugt. Elektronen fließen nach rechts, Löcher nach links.</p>
 <p>e) Wird eine negative Spannung an die p-Region angelegt, fließt nur ein sehr kleiner „Rückwärts“-Strom.</p>	 <p>f) Eine p-n-Grenzfläche ist also ein Stromgleichrichter.</p>

Abb. 1

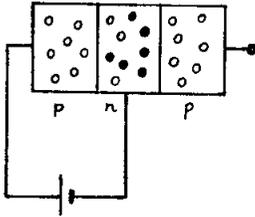


a) Ein Transistor besteht aus 2 p-n-Grenzflächen mit einer n-Region in der Mitte ...



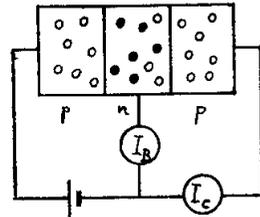
b) ... oder einer p-Region in der Mitte.

Emitter Basis Kollektor

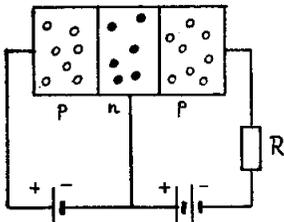


c) Wird eine Grenzfläche in Vorwärtsrichtung vorgespannt, werden Minoritätsträger in die Basis gezogen.

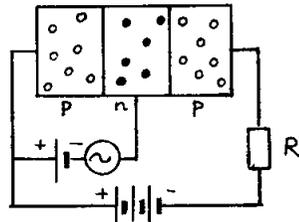
Emitter Basis Kollektor



d) Diese Ladungsträger diffundieren zur zweiten Grenzschicht. Dort werden sie gesammelt. Im Idealfall werden alle Ladungsträger gesammelt, es fließt kein Basisstrom.



e) Wird ein Widerstand in den Kollektorstromkreis gesetzt, dann ergibt sich eine Spannung, die dem Emitterstrom proportional ist. Der Kollektor wird in umgekehrter Richtung vorgespannt, um Ladungsverschiebungen über der Kollektorgrenzschicht zu verhindern.



f) Im üblichen Transistorverstärkerkreis wird Signal über die Basis eingegeben und das verstärkte Signal über den Kollektor entnommen.

Abb. 2

Das Verhalten eines Transistors wird in Abb. 2 beschrieben. Mit einer positiven Vorspannung über der p-n-Grenzschicht links gelangen Löcher in die Basisregion (Abb. 2c). Die meisten dieser Löcher diffundieren über die Basis in die Kollektor-Grenzschicht. Ein kleiner Teil rekombiniert jedoch in der Basis mit Elektronen und erzeugt so den Basisstrom I_B (Abb. 2d). Die Kollektor-Grenzschicht ist in der umgekehrten Richtung vorgespannt (Abb. 2e) und erzeugt einen sehr kleinen Strom von Elektronen in die Basis.

Die gebräuchliche Nomenklatur von Strömen und Spannungen von Schaltkreisen mit Transistoren ist in Abb. 3 gezeigt. Nach dem Kirchhoffschen Gesetz gelten die Relationen:

$$I_E + I_C + I_B = 0 \quad (1)$$

$$U_{BE} + U_{CB} = U_{CE} \quad (2)$$

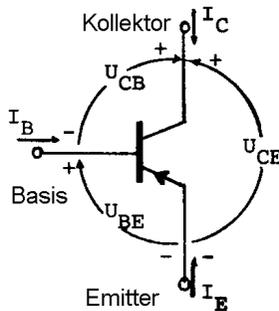


Abb.3: Ströme und Spannungen in Schaltkreisen mit Transistoren

Daraus folgt, daß der elektrische Zustand des Transistors von je zwei Spannungen und zwei Strömen vollständig beschrieben wird. Der Pfeil auf der Emitterleitung beschreibt die Injektion der Ladungsträger vom Emitter zur Basis. In Abb. 3 ist die Pfeilrichtung für einen pnp-Transistor dargestellt, für einen npn-Transistor ist sie umgekehrt.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, das Verhalten eines Transistors zu beschreiben. In der Emitterschaltung wird der Basisstrom I_B als Funktion der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} für verschiedene feste Werte der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} aufgezeichnet (Abb. 4).

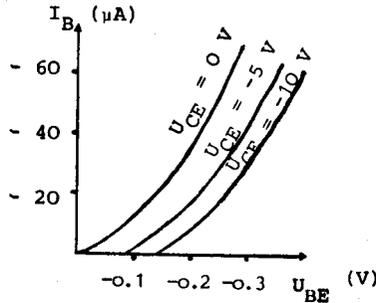


Abb.4 Eingangskennlinie eines Transistors

Für $U_{CE} = 0$ erinnert die Kurve an die Kennlinie einer Flächendiode. In diesem Fall besitzen die Minoritätsträger, die vom Emitter in die Basis gelangen, nicht genügend Energie, um bis in den Kollektor zu kommen. Bei einem festen U_{BE} und wachsendem U_{CE} wird der Basisstrom I_B kleiner. Das verursacht eine Verschiebung der Eingangskennlinie nach rechts.

In Abb. 5 sind die Ausgangskennlinien eines Transistors dargestellt. Die Auswahl der einzelnen Variablen scheint zufällig, ihre Nützlichkeit wird jedoch klar, wenn man das Verhalten von Transistorverstärkern untersucht. Diese Kurvenschar ist ganz analog zu den Anodenspannungskennlinien einer Vakuumtriode oder Pentode.

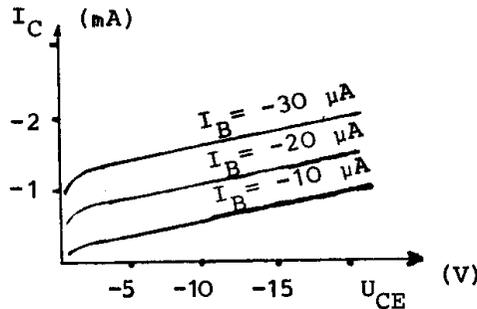


Abb. 5: Ausgangskennlinien eines Transistors

Wenn U_{CE} , größer als Null ist, ist I_B wesentlich kleiner als I_E (etwa 2 %). Daraus folgt, daß in gewöhnlichen Operationen fast alle Minoritätsträger, die vom Emitter injiziert werden, den Kollektor erreichen; nur wenige rekombinieren mit den Majoritätsträgern in der Basis und steuern zu I_B bei.

III. Versuchsaufbau und Durchführung

In diesem Versuch sollen die Eingangs- und Ausgangskennlinien eines npn-Transistors in Emitterschaltung ausgemessen und auf dem Oszillografen sichtbar gemacht werden.

1) Messung der Eingangs- und Ausgangskennlinien

Um Eingangs- und Ausgangskennlinien zu messen, wird Schaltung 1 (Abb. 6) aufgebaut.

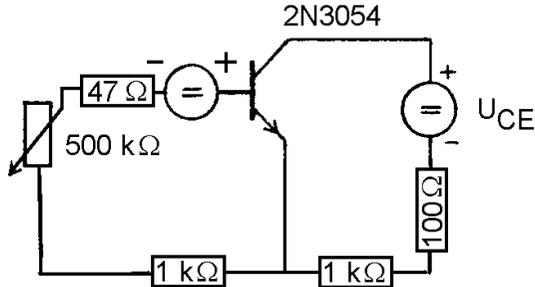


Abb. 6: Schaltung 1

Bei dieser Schaltung werden alle Spannungen, einschließlich derjenigen, die die Ströme festlegen, mit einem einzigen Digitalvoltmeter gemessen, dessen einer Eingang mit dem Emitter verbunden ist. In dieser Schaltung ist der Emitter gemeinsamer Anschluß für Eingang und Ausgang.

Um die Eingangskennlinien zu erhalten, wird jeweils für eine Kennlinie U_{CE} konstant gehalten und I_B in Abhängigkeit von U_{BE} gemessen. Bei den Ausgangskennlinien wird I_C als Funktion von U_{CE} für jeweils feste I_B gemessen. Beim Aufbau der Schaltung können nicht die beiden variablen Spannungsquellen des Meßplatzsystems benutzt werden. (Warum nicht?) Nehmen Sie deshalb als Spannungsquelle für U_{BE} den 5-V-Ausgang, und für U_{CE} einen der variablen Ausgänge (Welchen?).

Messen Sie 2 Eingangskennlinien ($U_{CE} = 0$ bzw. 4 V) und 4 Ausgangskennlinien ($U_{CE} = \text{max. } 4 \text{ V}$).

2) Darstellung der Kennlinie auf dem Oszillografen

Zur Darstellung der Transistorkennlinie auf dem Oszillografen wird einmal U_{CE} konstant gehalten und U_{BE} zyklisch variiert, d.h. U_{BE} wird gewobbelt (Eingangskennlinie) bzw. I_B festgehalten und U_{CE} gewobbelt (Ausgangskennlinie).

Zum Sichtbarmachen der Eingangskennlinien wird Schaltung 2 (Abb. 7) aufgebaut. Warum brauchen Sie einen Übertrager?

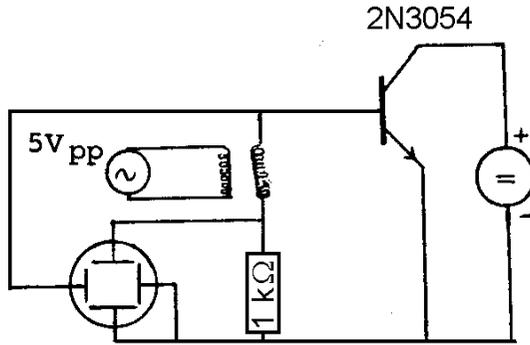


Abb. 7: Schaltung 2

Geben Sie die Sinusfunktion mit einer Wobelfrequenz von 500 Hz und einer Spannung von 5 V auf den Ausgang des Meßplatzsystems (Offset-Spannung: 0 V).

Was beobachten Sie, wenn Sie 5 kHz bzw. 50 kHz Wobelfrequenz einstellen? Warum?

Zeichnen Sie die auf dem Oszillografen dargestellten Eingangskennlinien (Anfangs- und Endposition bei $U_{CE} = 0$ V bzw. 4 V) in das Diagramm mit der ausgemessenen Eingangskennlinie.

Zur Darstellung der Ausgangskennlinien wird Schaltung 3 (Abb. 8) aufgebaut.

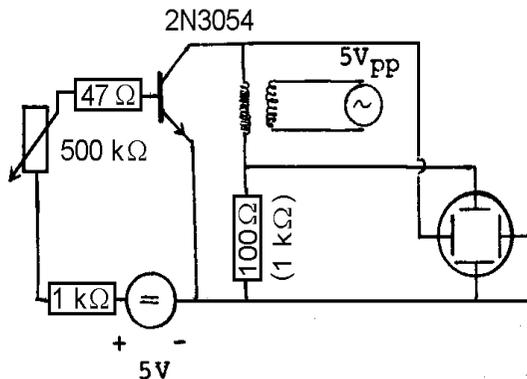


Abb. 8: Schaltung 3

Übertragen Sie die Kennlinien, die Sie auf dem Oszillografen sehen, ebenfalls in das Diagramm mit den gemessenen Ausgangskennlinien.