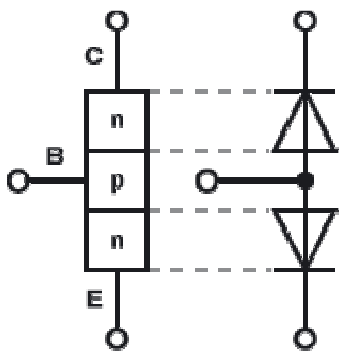
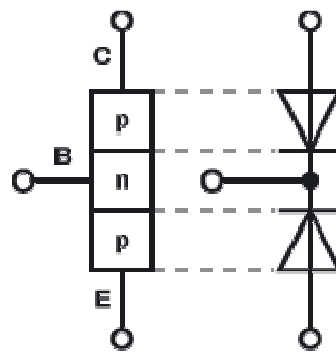


Der Transistor

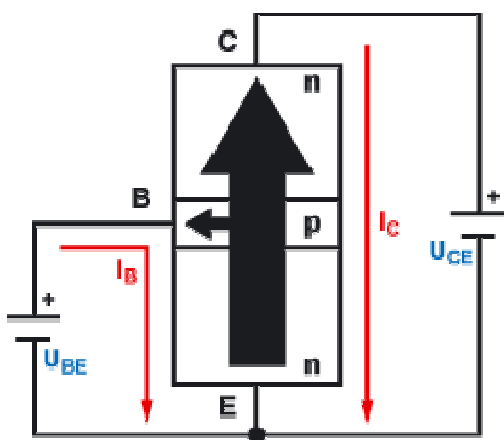


Der npn-Transistor besteht aus zwei n-leitenden Schichten. Dazwischen liegt eine dünne p-leitende Schicht.



Der pnp-Transistor besteht aus zwei p-leitenden Schichten. Dazwischen liegt eine dünne n-leitende Schicht.

Funktionsweise eines npn-Transistors



Bei der Funktionsweise des Transistors muss man die Stromrichtung beachten. Will man das physikalische Prinzip erklären, dann spricht man vom Elektronenstrom oder der physikalischen Stromrichtung (von Minus nach Plus). In Schaltungen und mathematischen Berechnungen wird die technische Stromrichtung (von Plus nach Minus) verwendet. Durch das Anlegen einer Spannung U_{BE} von 0,7 V, ist die untere Diode (Prinzip) in Durchlassrichtung geschaltet. Die Elektronen gelangen in die p-Schicht und werden von dem Plus-Pol der Spannung U_{BE} angezogen. Da die p-Schicht sehr klein ist, wird nur ein geringer Teil der Elektronen angezogen.

Der größte Teil der Elektronen bewegt sich weiter in die obere Grenzschicht. Dadurch wird diese leitend und der Plus-Pol der Spannung U_{CE} zieht die Elektronen an. Es fließt ein Kollektorstrom I_C . Bei üblichen Transistoren rutschen etwa 99% der Elektronen von Emitter zum Kollektor durch. In der Basisschicht bleibt etwa 1% der Elektronen hängen und fließen dort ab.

Eigenschaften eines npn-Transistors

1. Der Kollektorstrom I_C fließt nur, wenn auch ein Basisstrom I_B fließt. Wird der Basisstrom I_B verändert, dann verändert sich auch der Kollektorstrom I_C . Innerhalb des Transistors wirkt die Basisstromänderung wie eine Widerstandsänderung. Der Transistor wirkt bei einer Basisstromänderung wie ein elektrisch gesteuerter Widerstand.
2. Der Kollektorstrom I_C ist um ein vielfaches von 20 bis 10000-mal größer als der Basisstrom I_B . Dieser Größenunterschied kommt von der Aufteilung des Elektronenflusses von Kollektor (C) und Basis (B). Diesen Größenunterschied nennt man Stromverstärkung B . Er lässt sich aus dem Verhältnis I_C zu I_B berechnen.
3. Wenn kein Basisstrom I_B fließt, dann sperrt der Transistor. Sein Widerstand in der Kollektor-Emitter-Strecke ist unendlich groß. Die Spannung am Kollektor-Emitter ist sehr groß. Fließt ein Basisstrom, dann wird der Transistor leitend. Sein Widerstand ist kleiner geworden. Damit ist auch die Spannung am Kollektor-Emitter kleiner. Genauer betrachtet führt eine Zunahme am Eingang (Basis) zu einer Abnahme am Ausgang (Kollektor-Emitter). Man nennt das auch invertierendes Verhalten. Diese Eigenschaft ist das Schaltverhalten des Transistors und wird in der Elektronik sehr häufig angewendet (Transistor als Schalter).
4. Wenn die Spannung U_{CE} kleiner ist, als die Spannung U_{BE} , dann befindet sich der Transistor in der Sättigung oder im Sättigungsbetrieb. Das passiert dann, wenn der Transistor durch den Basisstrom überflutet wird. Der Basisstrom ist dann so groß, dass die maximale

Stromverstärkung schon längst erreicht ist und der Kollektorstrom nicht mehr weiter steigt. Generell hat das keine negativen Auswirkungen, solange der maximale Basisstrom nicht überschritten wird. Dabei wird der Transistor zerstört. Allerdings hat der Sättigungsbetrieb negative Auswirkungen auf das Schaltverhalten eines Transistors. Bei einem schnellen Schaltvorgang, wenn die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} schnell wechseln muss. Dann muss der Transistor erst von der Ladungsträgerüberflutung freigeräumt werden. Das dauert länger, als wenn nur wenige Ladungsträger über die Basis abfließen. Diese Verzögerung macht sich bei hohen Schaltfrequenzen negativ bemerkbar. Dann sollte der Sättigungsbetrieb vermieden werden.

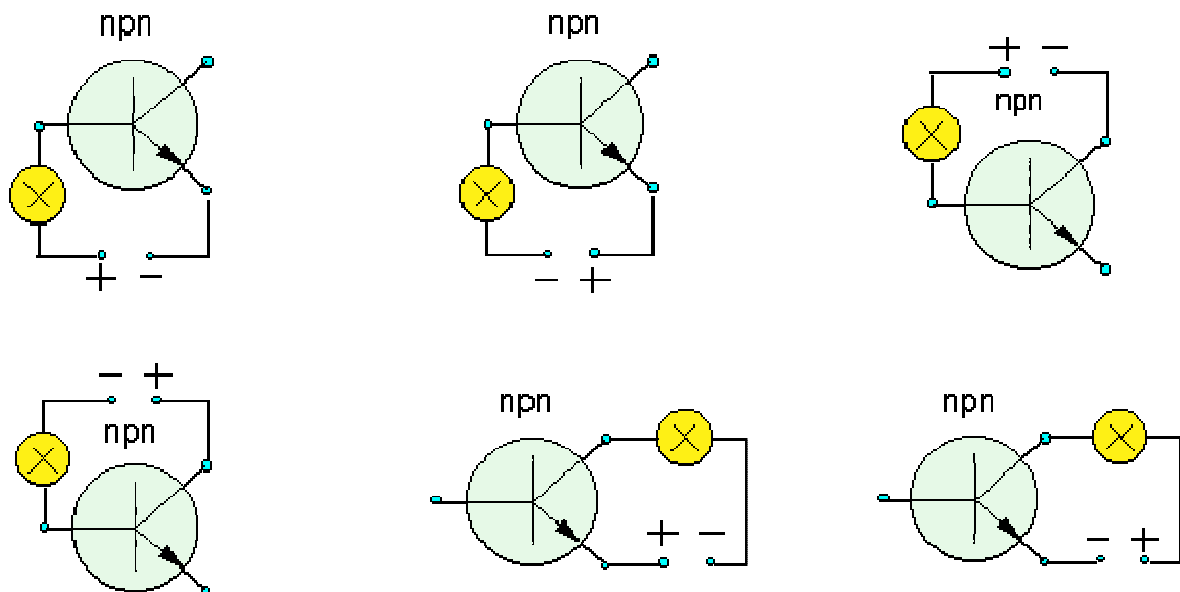
5. Der npn-Transistor vereint zwei Stromkreise in sich. Der Stromkreis mit der Spannung U_{BE} wird als Steuerstromkreis bezeichnet. Der Stromkreis mit der Spannung U_{CE} wird als Arbeits- oder Laststromkreis bezeichnet.

Aufgabe 1

Erkläre mit eigenen Worten wie der Transistor aufgebaut ist und wie er funktioniert. Was versteht man unter der Stromverstärkung B ? Leite nun aus den Größen I_C , I_B und B eine Formel her, mit der man den Kollektorstrom berechnen kann?

Aufgabe 2

Beschrifte die Schaltskizzen (**Basis, Emitter, Kollektor**) und entscheide, ob der Transistor leitet oder sperrt. **Hinweis:** Bei zweipoligem Anschluss kann nur die Basis - Emitter Strecke und die Basis - Kollektor - Strecke leiten. Bei welcher Polarität Leitung vorliegt, hängt von der Art des Transistors ab.



Die Kennlinien eines Transistors

Die Arbeitsweise eines Transistors wird durch seine Kennlinien charakterisiert. Diese stellen die Spannungen und Ströme am Transistor zueinander in Beziehung. Die wichtigsten Kennlinien sind die folgenden:

- Die **Eingangskennlinie** gibt beim Transistor den Basisstrom in Abhängigkeit von der Basis-Emitter-Spannung an, kurz $I_B(U_{BE})$. Da U_{BE} über einem pn-Übergang abfällt, gleicht diese Kennlinie einer Diodenkennlinie: Bis zur Durchlassspannung verläuft sie nahe bei null, danach steigt sie steil an.
- Die **Stromsteuerkennlinie** ist nur für den Transistor definiert. Sie gibt den Kollektorstrom in Abhängigkeit vom Basisstrom an, kurz $I_C(I_B)$. Für einen weiten Bereich verläuft sie linear. Dort gilt $I_C = B \cdot I_B$, wobei B der *Stromverstärkungsfaktor* ist.

- Die **Ausgangskennlinie** gibt beim Transistor den Kollektorstrom in Abhängigkeit von der Kollektor-Emitter-Spannung bei konstantem Basisstrom an, kurz $I_C(U_{CE})$. Manchmal wird statt des Basisstroms auch die Basisspannung als konstant festgelegt. Üblicherweise zeichnet man mehrere Ausgangskennlinien in dieselbe Grafik, wobei man verschiedene Werte für Basisstrom bzw. Basisspannung nimmt. Man spricht daher von einem *Ausgangskennlinienfeld*. Die Ausgangskennlinien steigen zunächst steil an. Dort arbeitet der Transistor im Sättigungsbereich. Ab einer bestimmten Spannung bleiben sie in etwa konstant. Dort arbeitet der Transistor im Verstärkungsbereich.
- Die **Übertragungskennlinie** ist nur für den Transistor definiert. Sie gibt den Kollektorstrom in Abhängigkeit von der Basis-Emitter-Spannung an, kurz $I_C(U_{BE})$.

Aufgabe 3

Die folgende Tabelle zeigt typische Messergebnisse für einen Kleinsignal-npn-Transistor wie z.B. den BC548. Der Kollektorstrom geht bei $I_C=4,9\text{mA}$ in die Sättigung, weil er durch den Arbeitswiderstand begrenzt wird. Zeichne die I_C - I_B Kennlinie mit $x = I_B$ in mA und $y = I_C$ in mA. Was fällt Dir auf? Um welche Art von Kennlinie handelt es sich hierbei? Berechne den Stromverstärkungsfaktor B aus den ersten 5 möglichen Messergebnissen.

| I_B in A | I_C in mA |
|------------|-------------|
| 0 | 0 |
| 5 | 1 |
| 10 | 2 |
| 15 | 3 |
| 20 | 4 |
| 25 | 4,90 |
| 30 | 4,90 |
| 35 | 4,90 |
| 40 | 4,90 |

Die Sättigung

Beim Einsatz des Transistors als Schalter erhöht man den Basisstrom so weit, dass der Kollektorstrom nur noch vom Arbeitswiderstand und der Anschlussspannung abhängt. Der Kollektorstrom kann dann auch durch einen größeren Basisstrom nicht mehr vergrößert werden, d.h. er ist gesättigt. Der Transistor ist also voll durchgesteuert und wie ein Schalter eingeschaltet. Umgekehrt schaltet man den Basisstrom ganz ab, um den Transistor als Schalter zu sperren.

Aufgabe 4

An zwei Anschlüssen eines npn-Transistors wird eine Batterie und ein Lämpchen angeschlossen. In welchen Fällen kann das Lämpchen leuchten?

- Wenn der Kollektor an Minus und die Basis an Plus liegen.
- Wenn der Kollektor an Plus und die Basis an Minus liegen.
- Wenn der Emitter an Minus und die Basis an Plus liegen.