

16 Bipolartransistoren

Der Bipolartransistor (BJT) ¹ wurde 1947 in den Bell Laboratorien erfunden. Diese Erfindung leitete eine Revolution in der Elektronik ein und hat mit der etwa ein Jahrzehnt später entwickelten Planartechnologie das Tor zu dem sich rasch weiterentwickelnden Gebiet der integrierten Schaltungen ² aufgestoßen.

Vom Leistungstransistor, mit Sperrschichtflächen von der Größenordnung mm^2 , bis zum selbstjustierten Bipolartransistor für HF-Anwendungen, mit Sperrschichtflächen von der Größenordnung μm^2 , wird eine breite Palette von Bipolartransistoren für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen hergestellt. Gegenstand dieses Kapitels ist eine Darstellung der grundlegenden Prinzipien, die Beschreibung des Bipolartransistors durch elementare Kleinsignal- und Großsignalnetzwerkmodelle, für die Praxis relevante Grenzwerte sowie Bauformen von Bipolartransistoren.

16.1 Einführung

Bipolartransistoren sind aus zwei nahe beieinander liegenden pn-Übergängen in einem Halbleiterkristall aufgebaut. Dabei werden, wie in Abb. 16.1 schematisch dargestellt, entweder zwei n-dotierte Gebiete durch ein p-dotiertes Gebiet voneinander getrennt (*nnp-Transistor*) oder zwei p-dotierte Gebiete durch ein n-dotiertes Gebiet (*pnp-Transistor*). Die drei unterschiedlich dotierten Gebiete werden als Emitter (E), Basis (B) und Kollektor (C) bezeichnet. Jedes dieser Gebiete ist mit einem Ohmschen Kontakt und einer Zuleitung versehen; der Bipolartransistor ist ein Bauelement mit drei Anschlußklemmen: Emitter, Basis und Kollektor.

Der Basisanschluß hat die Funktion der *Steuerelektrode*; mit ihm kann der Strom vom Emitter zum Kollektor – der sog. *Transferstrom* – gesteuert werden. Im Fall des npn-Transistors fließen Elektronen vom Emitter ³ zum Kollektor – die technische Stromflußrichtung ist mithin vom Kollektor

¹Der Name „Transistor“ wurde erst später geprägt [1]; er erklärt sich aus der Tatsache, daß Transistoren ursprünglich als stromgesteuerte Spannungsquellen aufgefaßt wurden. Das Kleinsignalübertragungsverhalten wird dann durch den Übertragungswiderstand (transresistance) beschrieben: transistor steht abkürzend für transresistor. Diese Namensgebung deckt sich nicht mehr mit der heute als zweckmäßiger empfundenen Darstellung der Transistoren als spannungsgesteuerte Stromquelle. Die Abkürzung BJT kommt von englisch bipolar junction transistor.

²Im Bereich der hochintegrierten Schaltkreise sind die Bipolartransistoren zwar mittlerweile weitgehend durch MOS-Feldeffekttransistoren verdrängt worden, sie haben jedoch nach wie vor breite Anwendungsgebiete in der analogen Schaltungstechnik, für Digitalschaltungen bei sehr hohen Taktfrequenzen, sowie als vergleichsweise robuste Einzelhalbleiter.

³Der Emitter „emittiert“ die den Transferstrom tragenden Ladungsträger (Elektronen beim npn-, Löcher beim pnp-Transistor), der Kollektor „sammelt“ sie ein.

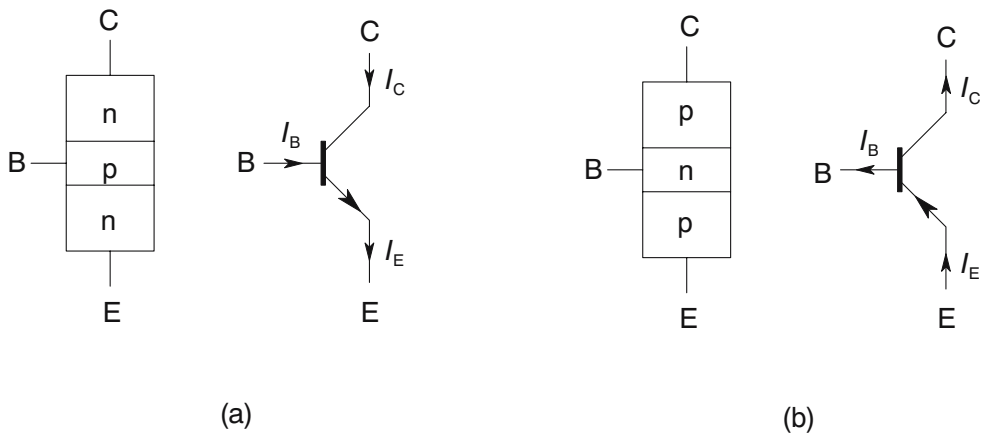


Abb. 16.1. Prinzipieller Aufbau und Schaltzeichen für (a) npn- und (b) pnp-Transistoren

zum Emitter. Dies wird im Schaltzeichen (Abb. 16.1 a) des npn-Transistors berücksichtigt: Der den Emitter kennzeichnende Pfeil zeigt die Richtung des Stromflusses im Normalbetrieb an. Beim pnp-Transistor wird der Transferstrom von Löchern getragen; die technische Stromflußrichtung stimmt hier mit der Richtung des Teilchenstroms überein: Im Schaltsymbol (Abb. 16.1 b) ist der „Emitterpfeil“ vom Emitter zum Kollektor orientiert. Die Wirkungsweise des npn-Transistors⁴ wird zunächst anhand des Bandschemas erläutert.

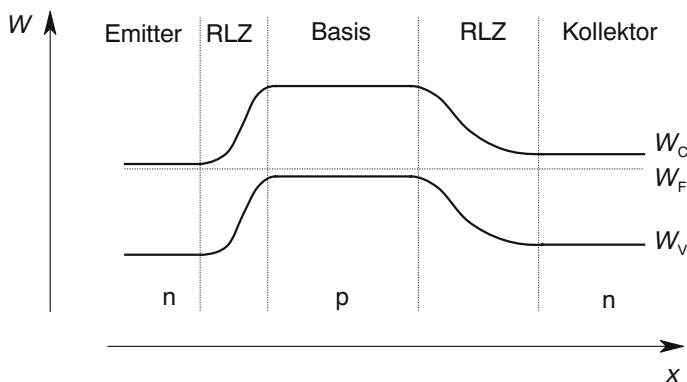


Abb. 16.2. Bandschema eines npn-Bipolartransistors ohne extern angelegte Spannungen (RLZ = Raumladungszone, W_C = Leitungsbandkante, W_V = Valenzbandkante, W_F = Fermi-Energie)

Transistoreffekt, Bandschema. Abbildung 16.2 zeigt das Bandschema eines npn-Bipolartransistors ohne extern angelegte Spannungen. Die Fermi-Energie

⁴Im Folgenden werden – wegen ihrer größeren technischen Bedeutung – nahezu ausschließlich npn-Bipolartransistoren betrachtet. Diese zeichnen sich gegenüber pnp-Transistoren gleicher Abmessungen durch eine höhere Stromverstärkung und kürzere Schaltzeiten aus, was in der größeren Beweglichkeit der Elektronen begründet ist. Die für npn-Bipolartransistoren gewonnenen Ergebnisse lassen sich durch Vertauschen der Dotierung, Polaritäten der Ladungsträger und angelegten Spannungen direkt auf pnp-Transistoren übertragen.