



**BERUFLICHES
SCHULZENTRUM FÜR TECHNIK
AUGUST HORCH**

Facharbeit

**im Bildungsgang zum Staatlich geprüften
Techniker für Fahrzeugtechnik**

Musterthema

von

Max Mustermann

Fachschule FS15

Betreuer: Dipl. Ing. Päd. Knaute

Ort, Datum: Zwickau, 10.08.2016

Thema von Mustermann, Max FS 15
am Beruflichen Schulzentrum für Technik „August Horch“ Zwickau

Vorbemerkungen/Vorwort

Maximal eine Seite....

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--------------------------------------|----|
| Inhaltsverzeichnis..... | 2 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 3 |
| Tabellenverzeichnis..... | 4 |
| Formelverzeichnis | 5 |
| 1 Einleitung..... | 6 |
| 2 Transistor | 7 |
| 2.1 Typen | 7 |
| 2.1.1 Bipolartransistor..... | 7 |
| 2.1.2 Spezielle Transistortypen..... | 9 |
| 3 Werkstoffe | 10 |
| 4 Anwendungsbereiche | 11 |
| 4.1 Digitale Schaltungstechnik..... | 12 |
| 4.2 Analoge Schaltungstechnik..... | 13 |
| ... | |
| 5 Fazit/Ehrungen/Ausblick | 29 |
| 6 Quellenangaben | 30 |

Abbildungsverzeichnis

Wenn nötig...

Tabellenverzeichnis

Wenn nötig...

Formelverzeichnis

Wenn nötig...

1 Einleitung

2 Transistor

Ein Transistor ist ein elektronisches Bauelement zum Schalten und Verstärken von elektrischen Signalen, ohne dabei mechanische Bewegungen auszuführen. Transistoren sind die weitaus wichtigsten „aktiven“ Bestandteile elektronischer Schaltungen, welche beispielsweise in der Nachrichtentechnik, der Leistungselektronik und in Computersystemen eingesetzt werden. Besondere Bedeutung haben Transistoren in integrierten Schaltkreisen, was die derzeit weit verbreitete Mikroelektronik ermöglicht.

Der Begriff „Transistor“ ist eine Kurzform des englischen transfer resistor, was in der Funktion einem durch eine angelegte elektrische Spannung oder elektrischen Strom steuerbaren elektrischen Widerstand entspricht. Da die Wirkungsweise einer entsprechenden Elektronenröhre, nämlich der Triode ähnelt, wird der Transistor auch als „Halbleitertriode“ bezeichnet.¹

2.1 Typen

Es gibt zwei wichtige Gruppen von Transistoren, nämlich Bipolartransistoren und Feldeffekttransistoren (FET), die sich durch die Art der Ansteuerung voneinander unterscheiden. Eine Liste mit einer groben Einordnung bzw. Gruppierung der Transistoren sowie weiteren Transistorenvarianten findet sich unter Liste elektrischer Bauelemente.

2.1.1 Bipolartransistor

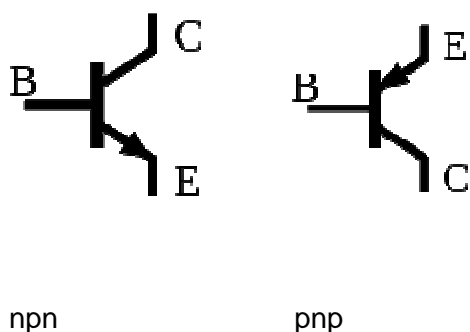


Abb. 1: Schaltsymbole des Bipolartransistors. [1]

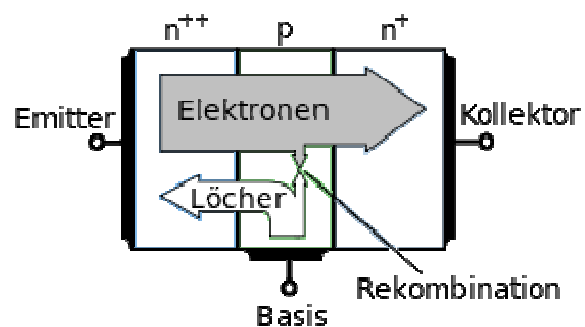


Abb. 2: Schema eines npn-Transistors. [2]

Bei bipolaren Transistoren tragen sowohl bewegliche negative Ladungsträger, die Elektronen, als auch positive Ladungsträger, sogenannte Defektelektronen, zur Funktion bzw. zum Ladungstransport bei. Defektelektronen, auch als Löcher bezeichnet, sind unbesetzte Zustände im Valenzband, die sich durch Generation und Rekombination von Elektronen im Kristall bewegen. Zu den bipolaren Transistoren gehören unter anderem der IGBT und der HJBT. Der wichtigste Vertreter ist jedoch der Bipolartransistor (engl.: bipolar junction transistor, BJT). Der Bipolartransistor wird durch einen elektrischen Strom angesteuert. Die Anschlüsse werden mit Basis, Emitter, Kollektor bezeichnet (im Schaltbild abgekürzt durch die Buchstaben B, E, C) (siehe Abb. 1). Ein kleiner Steuerstrom auf der Basis-Emitter-Strecke führt zu Veränderungen der Raumladungszonen im Inneren des Bipolartransistors und kann dadurch einen großen Strom auf der Kollektor-Emitter-Strecke steuern. Je nach Dotierungsfolge im Aufbau unterscheidet man zwischen npn- (negativ-positiv-negativ) und pnp-Transistoren (positiv-negativ-positiv). Dotierung bedeutet in diesem Zusammenhang das Einbringen von Fremdatomen bei dem Herstellungsprozess in eine Schicht des hochreinen Halbleitermaterials, um die Kristallstruktur zu verändern. Bipolartransistoren sind grundsätzlich immer selbstsperrend: Ohne Ansteuerung mittels eines kleinen Stromes durch die Basis-Emitter-Strecke sperrt der Transistor auf der Kollektor-Emitter-Strecke. Im Schaltsymbol ist der Anschluss Emitter (E) in beiden Fällen mit einem kleinen Pfeil versehen: Bei einem npn-Transistor zeigt dieser vom Bauelement weg, beim pnp-Transistor weist er zu dem Bauelement hin. Der Pfeil beschreibt die elektrische Stromrichtung (Bewegung gedachter positiver Ladungsträger) am Emitter. In frühen Jahren wurde in Schaltplänen bei den damals oft eingesetzten diskreten Transistoren zur Kennzeichnung des Transistorgehäuses ein Kreis um das jeweilige Symbol gezeichnet. Die Kreissymbole sind durch den heutigen vorherrschenden Einsatz integrierter Schaltungen unüblich geworden. Die Verknüpfung von zwei Bipolartransistoren mit Vor- und Hauptverstärkung zu einer Einheit wird als Darlington-Transistor oder als Darlington-Schaltung bezeichnet. Durch diese Verschaltung kann eine deutlich höhere Stromverstärkung erreicht werden als mit einem einzelnen Transistor.

„Weitere Details zu den Besonderheiten und Ansteuerungen finden sich in dem eigenen Artikel über Bipolartransistoren und in der mathematischen Beschreibung des Bipolartransistors. Einfache Schaltungsbeispiele finden sich in dem Artikel über Transistorgrundschaltungen und bei den Ersatzschaltungen des Bipolartransistors.“ [3]

2.1.2 Spezielle Transistortypen

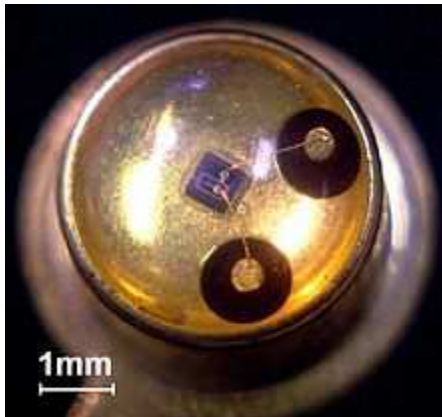


Abb. 3: Nahaufnahme eines Fototransistors. [4]

Neben den Transistorgrundtypen gibt es einige weitere Varianten für spezielle Anwendungsbereiche wie den Bipolartransistor mit isolierter Gateelektrode, abgekürzt IGBT. Diese Transistoren finden seit Ende der 1990er Jahre vor allem in der Leistungselektronik Anwendung und stellen eine Kombination aus MOS- und Bipolartechnologie in einem gemeinsamen Gehäuse dar. Da diese Leistungstransistoren Sperrspannungen bis zu 6 kV aufweisen und Ströme bis zu 3 kA schalten können, ersetzen sie in der Leistungselektronik zunehmend Thyristoren. Fototransistoren (siehe Abb. 3) sind optisch empfindliche bipolare Transistoren, wie sie unter anderem in Optokopplern Verwendung finden. Die Steuerung dieser Transistoren erfolgt nicht durch einen kleinen Basis-Emitter-Strom – mitunter wird der Basisanschluss auch weggelassen –, sondern ausschließlich durch den Einfall von Licht gesteuert (beispielsweise angewendet in Lichtschranken). Licht hat in der Raumladungszone des p-n-Überganges des Bipolartransistors eine ähnliche Wirkung wie der Basisstrom, der normalerweise an der Basis(B), auf engl. Gate(G), geschaltet wird. Deswegen sollten herkömmliche Transistoren, bei welchen dieser Effekt unerwünscht ist, in einem lichtundurchlässigen Gehäuse untergebracht sein. Ein heute kaum noch verwendeter Transistor ist der Unijunctiontransistor, abgekürzt UJT.

Er ähnelt in seiner Funktion eher Thyristoren bzw. den Diacs, wird historisch aber zu den Transistoren gezählt. Seine Funktion, beispielsweise in Sägezahngeneratoren, wird heute großteils durch integrierte Schaltungen realisiert.

In manchen Flüssigkristallbildschirmen, den meist farbfähigen TFT-Displays, kommen pro Pixel im aktiven Bildbereich bis zu drei Dünnschichttransistoren (engl. thin film transistor, TFT) zu Anwendung. Diese Feldeffekttransistoren sind praktisch durchsichtig.

Sie werden zur Ansteuerung der einzelnen Pixel verwendet und ermöglichen im Vergleich zu den transistorlosen, farbfähigen LC-Displays einen höheren Kontrast. Je nach Größe des TFT-Display können pro Bildschirm bis zu einigen Millionen Dünnschichttransistoren eingesetzt werden. In elektrisch programmierbaren Festwertspeichern wie EPROMs und EEPROMs finden spezielle MOSFET mit einem sogenannten Floating Gate als primäres Speicherelement Anwendung. Durch die im Floating Gate gespeicherte elektrische Ladung ist der Transistor permanent ein- bzw. ausgeschaltet und kann den Informationsgehalt von einem Bit speichern. Das Beschreiben, und bei einigen Typen auch das Löschen, wird mittels des quantenmechanischen Tunneleffektes ermöglicht. In integrierten Schaltungen werden weitere spezielle Formen wie der Multiemitter-Transistor eingesetzt, welcher bei Logikgattern in der Transistor-Transistor-Logik die eigentliche logische Verknüpfung der Eingangssignale durchführt.

3 Werkstoffe



Abb. 4: Nahaufnahme eines Halbleiterplättchens (engl. die) mit einem Bipolartransistor von oben und den Anschlussdrähten. [5]

Bipolare Transistoren wurden in der Anfangszeit aus dem Halbleiter Germanium gefertigt, während heute überwiegend der Halbleiter Silizium sowohl bei Feldeffekttransistoren als auch Bipolartransistoren verwendet wird (siehe Abb. 4).

Der schrittweise Ersatz von Germanium durch Silizium im Laufe der 1960er und 1970er Jahre geschah unter anderem aus folgenden Gründen (vgl. Thermische Oxidation von Silizium):

Silizium besitzt ein stabiles, nichtleitendes Oxid (Siliziumdioxid), hingegen ist Germaniumoxid wasserlöslich, was unter anderem die Reinigung komplizierter macht.

Siliziumdioxid eignet sich zur Oberflächenpassivierung der Halbleiter, wodurch die Umgebung (Verschmutzungen, Oberflächenladungen usw.) die elektrischen Eigenschaften der Bauelemente deutlich weniger beeinflussten und somit reproduzierbarer wurden.

Mit der thermischen Oxidation von Silizium existierte ein einfacher Herstellungsprozess von Siliziumdioxid auf einkristallinem Silizium. Die dabei entstehende Silizium-Siliziumdioxid-Grenzfläche zeigt eine geringe Anzahl an Grenzflächenladungen, was unter anderem die praktische Umsetzung von Feldeffekttransistoren mit isoliertem Gate ermöglichte.

Silizium ist genauso wie Germanium ein Elementhalbleiter. Bei Silizium ist die Gewinnung und Handhabung einfacher als bei Germanium. Für Spezialanwendungen werden weitere Materialien eingesetzt. So besitzen einige Verbindungshalbleiter wie das giftige Galliumarsenid bessere Eigenschaften für hochfrequente Anwendungen, sind aber teurer zu fertigen und benötigen andere Fertigungseinrichtungen. Um diese praktischen Nachteile von Galliumarsenid zu umgehen, existieren verschiedene Halbleiterkombinationen wie Siliziumgermanium, die für höhere Frequenzen verwendbar sind. Für Hochtemperatur-anwendungen kommen für die Herstellung von Transistoren spezielle Halbleitermaterialien wie Siliziumkarbid (SiC) zur Anwendung. Diese Transistoren können beispielsweise direkt an einem Verbrennungsmotor bei Temperaturen bis zu 600 °C eingesetzt werden. Bei silizium-basierenden Halbleitern liegt die maximale Betriebstemperatur im Bereich von 150 °C.

4 Anwendungsbereiche

Transistoren werden heutzutage in nahezu allen elektronischen Schaltungen verwendet. Der Einsatz als einzelnes (diskretes) Bauelement spielt dabei eine nebensächliche Rolle. Sogar in der Leistungselektronik werden zunehmend mehrere Transistoren auf einem Substrat gefertigt, dies geschieht hauptsächlich aus Kostengründen.

Eine ältere Typisierung von Transistoren erfolgte nach den Einsatzgebieten:

- Kleinsignaltransistoren – einfache, ungekühlte Transistoren für analoge NF-Technik für Leistungen bis ca. 1 W
- Leistungstransistoren – robuste, kühlbare Transistoren für Leistungen oberhalb 1 W
- Hochfrequenztransistoren – Transistoren für Frequenzen oberhalb 100 kHz, bei Frequenzen jenseits der 100 MHz wird auch die äußere Gestaltung beispielsweise in Streifenleitertechnik ausgeführt
- Schalttransistoren – Transistoren mit günstigem Verhältnis von Durchlass- zu Sperrstrom, bei denen die Kennlinie nicht besonders linear zu sein braucht, in Varianten für kleine und für große Leistungen [6]

Heute differenziert man noch mehr nach dem Anwendungsgebiet. Die Maßstäbe haben sich ebenfalls verschoben, die Grenze von 100 kHz für HF-Transistoren würde heute ca. um den Faktor 1000 höher angesetzt werden.

4.1 Digitale Schaltungstechnik

Ausgehend von der Zahl der gefertigten Bauelemente ist das Hauptanwendungsgebiet von Transistoren in der Digitaltechnik der Einsatz in integrierten Schaltungen, wie beispielsweise RAM-Speichern, Flash-Speichern, Mikrocontroller, Mikroprozessoren und Logikgattern. Dabei befinden sich bei hochintegrierten Schaltungen über 1 Milliarde Transistoren auf einem Substrat, welches meistens aus Silizium besteht und eine Fläche von einigen Quadratmillimetern aufweist. Die im Jahr 2009 noch exponentiell wachsende Steigerungsrate bei der Bauelementeanzahl pro integriertem Schaltkreis wird auch als Moor'sches Gesetz bezeichnet. Jeder dieser Transistoren wird dabei als eine Art elektronischer Schalter eingesetzt, um einen Teilstrom in der Schaltung ein- oder auszuschalten. Mit dieser immer höheren Transistoranzahl je Chip (siehe Tabelle 1) wird dessen Speicherkapazität größer oder seine Funktionsvielfalt, indem bei modernen Mikroprozessoren beispielsweise immer mehr Aktivitäten in mehreren Prozessorkernen parallel abgearbeitet werden können. Alles dies steigert in erster Linie die Arbeitsgeschwindigkeit; weil die einzelnen Transistoren innerhalb der Chips dabei aber auch immer kleiner werden, sinkt auch deren jeweiliger Energieverbrauch, so dass die Chips insgesamt auch immer energiesparender (bezogen auf die Arbeitsleistung) werden. Die Größe der Transistoren (Gate-Länge) bei hochintegrierten Chips beträgt im Jahr 2009 oft nur noch wenige Nanometer. So beträgt beispielsweise die Gate-Länge von Prozessoren, die in der sogenannten 45-nm-Technik gefertigt wurden, nur rund 21 nm.

Die 45 nm bei der 45-nm-Technik beziehen sich auf die Größe der kleinen lithographisch fertigmachen Struktur, sogenannte feature size, was in der Regel der unterste Metallkontakt mit den Drain-Source-Gebieten ist.

Die führenden Halbleiterunternehmen treiben diese Verkleinerung auch noch in den nächsten Jahren voran, so stellte Intel im Dezember 2009 die neuen 32-nm-Testchips vor, die Anfang 2010 in Serie gehen sollen.

Auch AMD/Globalfoundries hat angekündigt im Jahr 2010 die Serienproduktion in 28-nm- und 32-nm-Technik zu starten. Intel erhofft sich durch neue Technologien eine Reduzierung der Größe bis auf 11 nm bis 2015.

Tabelle 1: Beispiele für die Anzahl der auf einigen Mikroprozessoren eingesetzten Transistoren angegeben. [7]

| Prozessortyp | Anzahl der Transistoren | Technologieknoten | Entwicklungsjahr |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| Intel 4004 | 2.300 | 10.000 nm | 1971 |
| Intel Pentium (P5) | 3.100.000 | 800 nm | 1993 |
| Intel Core 2 (Yorkfield) pro Die | 410.000.000 | 45 nm | 2007 |
| Intel Itanium 2 Tukwila | 2.046.000.000 | 65 nm | 2010 |
| AMD Tahiti XT | 4.312.711.873 | 28 nm | 2011 |
| Nvidia Kepler GK110 | 7.100.000.000 | 28 nm | 2012 |

4.2 Analoge Schaltungstechnik

In der analogen Schaltungstechnik finden sowohl Bipolartransistoren als auch Feldeffekttransistoren in Schaltungen wie dem Operationsverstärker, Signalgeneratoren oder als hochgenaue Referenzspannungsquelle Anwendung. Als Schnittstelle zu digitalen Anwendungen fungieren Analog-Digital-Umsetzer und Digital-Analog-Umsetzer. Die Schaltungen sind dabei im Umfang wesentlich kleiner. Die Anzahl der Transistoren pro Chip bewegen sich im Bereich von einigen 100 bis zu einigen 10 000 Transistoren. In Transistorschaltungen zur Signalverarbeitung wie Vorverstärker ist das Rauschen eine wesentliche Störgröße. Es spielt dabei vor allem das thermische Rauschen, das Schrotrauschen sowie das 1/f-Rauschen eine Rolle. Bei dem MOS-Feldeffekttransistor ist das 1/f-Rauschen bereits unter ca. 1 MHz besonders groß. Das unterschiedliche Rauschverhalten bestimmt ebenfalls die möglichen Einsatzbereiche der Transistortypen, beispielsweise in Niederfrequenzverstärkern oder in speziellen rauscharmen Hochfrequenzumsetzern.

Und folgende Seiten ...

5 Fazit/Ehrungen/Ausblick

...

6 Quellenangaben

[1] ...

[2] ...

Selbstständigkeitserklärung

...

Anlagen

...

Themenbestätigung

...