В современном понимании транзистор — это полупроводниковый прибор с двумя или более р-п переходами и тремя или более выводами, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний.

Наиболее широкое применение в радиолюбительских конструкциях находят биполярные и полевые транзисторы. У полевых транзисторов управление выходным током производится с помощью электрического поля, отсюда и название, полевые. Эти транзисторы имеют три электрода: исток, затвор и сток. Электроды полевого транзистора в определенной степени соответствуют электродам биполярного транзистора — эмит-

теру, базе и коллектору. Достоинством полевого транзистора является то, что ток входного электрода (затвора) очень мал. Это определяет высокое входное сопротивление каскадов на этих транзисторах и тем самым устраняет влияние последующих каскадов схемы на предыдущие. Еще одно достоинство этих транзисторов — низкий уровень собственных шумов, что дает возможность использовать полевые транзисторы в первых каскадах высококачественных усилителей звуковой частоты.

**Основная классификация транзисторов**

Основная классификация транзисторов ведется по исходному материалу, на основе которого они сделаны, максимальной допустимой мощности, рассеиваемой на коллекторе и частотным свойствам. Эти параметры определяют их основные области применения. По мощности транзисторы делят на транзисторы малой, средней и большой мощности, а по частоте — низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные. По исходному полупроводниковому материалу — германиевые и кремниевые.

Основными параметрами биполярных транзисторов являются:

-    статический коэффициент усиления по току **а** в схеме с общей базой;

-    статический коэффициент усиления по току |3 в схеме с общим эмиттером. Параметры аир связаны зависимостями вида в = а/(1 — а) или

а = в/(1 + в);

-    обратный ток коллектора Іко;

-    граничная fгр и предельная fh21 частоты коэффициента передачи тока.

Основными параметрами полевых транзисторов являются:

-    напряжение отсечки U0 — приложенное к затвору напряжение, при котором перекрывается сечение канала;

-    максимальный ток стока Іс. макс;

-    напряжения: между затвором и стоком Uзс, между стоком и истоком Uси и между затвором и истоком Uзи;

-    входная Свх, проходная Спр и выходная Свых емкости.

**Система обозначений**

Встречаются транзисторы (биполярные), которые имеют старую, введенную до 1964 г. систему обозначений. По старой системе в обозначение транзистора входит буква П и цифровой номер. По номеру транзистора можно определить, для каких каскадов радиоэлектронной конструкции он разработан. Если перед буквой П стоит буква М, то это значит, что корпус транзистора холодносварочной конструкции. Расшифровка типов транзисторов по номеру следующая:

Низкочастотные (до 5 МГц):

-    1...100 — германиевые малой мощности, до 0,25 Вт;

-    101...201 — кремниевые до 0,25 Вт;

-    201...300 — германиевые большой мощности, более 0,25 Вт;

-    301...400 — кремниевые более 0,25 Вт.

Высокочастотные (свыше 5 МГц):

-    401...500 — германиевые до 0,25 Вт;

-    501...600 — кремниевые до 0,25 Вт;

-    601...700 — германиевые более 0,25 Вт;

-    701...800 — кремниевые более 0,25 Вт.

Например, П416 Б — транзистор германиевый, высокочастотный, малой мощности, разновидности Б; МП 39 Б — германиевый транзистор, имеющий холодносварочный корпус, низкочастотный, малой мощности, разновидности Б.

В новой системе обозначений используется буквенно-цифровой шифр, который состоит из 5 элементов:

1  элемент системы обозначает исходный материал, на основе которого изготовлен транзистор и его содержание не отличается от системы обозначения диодов, то есть Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — арсенид галлия, И или 4 — индий.

2  элемент — буква Т (биполярный) или П (полевой).

3  элемент — цифра, указывающая на функциональные возможности транзистора по допустимой рассеиваемой мощности и частотным свойствам.

Транзисторы малой мощности, Рmах < 0,3 Вт:

1    — маломощный низкочастотный, Гф< 3 МГц;

2    — маломощный среднечастотный, 3 < frp< 30 МГц;

3    — маломощный высокочастотный, 30 < fгр< 300 МГц.

Транзисторы средней мощности, 0,3 < Рmах <1,5 Вт:

4    — средней мощности низкочастотный;

5    — средней мощности среднечастотный;

6    — средней мощности высокочастотный.

Транзисторы большой мощности, Рmах >1,5 Вт:

7    — большой мощности низкочастотный;

8    — большой мощности среднечастотный;

9    — большой мощности высокочастотный и сверхвысокочастотный (frp > 300 Гц).

4    элемент — цифры от 01 до 99, указывающие порядковый номер разработки.

5    элемент — одна из букв от А до Я, обозначающая деление технологического типа приборов на группы.

Например, КТ540Б — кремниевый транзистор средней мощности среднечастотный, номер разработки 40, группа Б.

При изготовлении транзисторов используют различные технологические приемы, в результате чего получаются приборы со специфическими особенностями, эксплуатационными свойствами и параметрами. Цоколевка транзисторов, широко используемых радиолюбителями, дана на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Цоколевка отечественных транзисторов



Рис. 2.2. Цоколевка отечественных транзисторов (продолжение)

**Цветовая и цифровая маркировка**

Транзисторы, как и другие радиокомпоненты, маркируют с помощью цветового кода. Цветовой код состоит из изображения геометрических фигур (треугольников, квадратов, прямоугольников и др.), цветных точек и латинских букв. Код наносится на плоских частях, крышке и других местах транзистора. По нему можно узнать тип транзистора, месяц и год изготовления. Места маркировки и расшифровка цветовых кодов некоторых типов транзисторов приведены на рис. 2.3...2.5 и в табл. 2.2...2.4. Практикуется также маркировка некоторых типов транзисторов цифровым кодом (табл. 2.5).

Таблица 2.2  Цветовая и кодовая маркировки маломощных среднечастотных и высокочастотных транзисторов



Таблица 2.3  Цветовая маркировка транзистора КТ3107

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип транзистора | Группы транзисторов | Месяц выпуска | Год выпуска |
| Обозначение | Маркировка | Обозначение | Маркировка | Обозначение | Маркировка | Обозначение | Маркировка |
|   |   |   |   | ян в. | бежевая |   |   |
|   |   | А | розовая | фев. | синяя | 1977 | бежевая |
|   |   | Б | желтая | март | зеленая | 1978 | еалатовая |
|   |   | в | синяя | апр. | красная | 1979 | оранжевая |
|   |   | Г | бежевая | май | еалатовая | 1980 | электрик |
|   |   | д | оранжевая | июнь | серая | 1981 | бирюзовая |
| KT3107 | голубая | Е | электрик | июль | коричневая | 1982 | белая |
|   |   | Ж | cалатовая | авг. | оранжевая | 1983 | красная |
|   |   | И | зеленая | сент. | электрик | 1984 | коричневая |
|   |   | к | красная | окт. | белая | 1985 | зеленая |
|   |   | л | серая | ноябр. | желтая | 1986 | голубая |
|   |   |   |   | дека б. | голубая |   |   |



Рис. 2.3. Места цветовой и кодовой маркировки маломощных среднечастотных и высокочастотных транзисторов в корпусе КТ-26 (ТО-92)



Рис. 2.4. Места цветовой маркировки транзистора КТ3107 в корпусе КТ-26 (ТО-92)



Рис. 2.5. Места кодовой маркировки транзисторов в корпусе КТ-27 (ТО-126)

Таблица 2.4  Цветовая и кодовая маркировки транзисторов



Таблица 2.5 Кодовая маркировка мощных транзисторов

|  |  |
| --- | --- |
| Код | Тип |
| 4 | KT814 |
| 5 | KT815 |
| 6 | КТ816 |
| 7 | KT817 |
| 8 | КТ683 |
| 9 | КТ9115 |
| 12 | К.У112 |
| 40 | КТ940 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Год выпуска | Код | Месяц выпуска | Код |
| 1986 | и | Январь | 1 |
| 1987 | V | Февраль | 2 |
| 1988 | W | Март | 3 |
| 1989 | X | Апрель | 4 |
| 1990 | А | Май | 5 |
| 1991 | В | Июнь | 6 |
| 1992 | С | Июль | 7 |
| 1993 | D | Август | 8 |
| 1994 | Е | Сентябрь | 9 |
| 1995 | F | Октябрь | 0 |
| 1996 | Н | Ноябрь | N |
| 1997 | 1 | Декабрь | D |
| 1998 | К | - | - |
| 1999 | L | - | - |
| 2000 | М | - | - |



**Параметры транзистора как четырехполюсника. h-параметры**

Биполярный транзистор в схемотехнических приложениях представляют как четырехполюсник и рассчитывают его параметры для такой схемы. Для транзистора как четырехполюсника характерны два значения тока I1 и I2 и два значения напряжения U1 и U2 (рис. 5.23).



**Рис. 5.23. Схема четырехполюсника**

В зависимости от того, какие из этих параметров выбраны в качестве входных, а какие в качестве выходных, можно построить три системы формальных параметров транзистора как четырехполюсника. Это системы z-параметров, y-параметров и h-параметров. Рассмотрим их более подробно, используя линейное приближение.

***Система z-параметров***

Зададим в качестве входных параметров биполярного транзистора как четырехполюсника токи I1 и I2, а напряжения U1 и U2 будем определять как функции этих токов. Тогда связь напряжений и токов в линейном приближении будет иметь вид:



Коэффициенты zik в этих уравнениях определяются следующим образом:

- определяются как входное и выходное сопротивления.

- сопротивления обратной и прямой передач.

Измерения z-параметров осуществляются в режиме холостого хода на входе (I1 = 0) и выходе (I2 = 0). Реализовать режим разомкнутого входа I1 = 0 для биполярного транзистора достаточно просто (сопротивление эмиттерного перехода составляет всего десятки Ом и поэтому размыкающее сопротивление в цепи эмиттера в несколько кОм уже позволяет считать I1 = 0). Реализовать режим разомкнутого выхода I2 = 0 для биполярного транзистора сложно (сопротивление коллекторного перехода равняется десяткам МОм и размыкающее сопротивление в цепи коллектора в силу этого должно быть порядка ГОм).

***Система y-параметров***

Зададим в качестве входных параметров биполярного транзистора как четырехполюсника напряжения U1 и U2, а токи I1 и I2 будем определять как функции этих напряжений. Тогда связь токов и напряжений в линейном приближении будет иметь вид:



Коэффициенты в уравнениях имеют размерность проводимости и определяются следующим образом:

- входная и выходная проводимости.

- проводимости обратной и прямой передач.

Измерение y-параметров происходит в режиме короткого замыкания на входе (U1 = 0) и выходе (U2 = 0). Реализовать режим короткого замыкания на входе (U1 = 0) для биполярного транзистора достаточно сложно (сопротивление эмиттерного перехода составляет всего десятки Ом и поэтому замыкающее сопротивление в цепи эмиттера должно составлять доли Ома, что достаточно сложно). Реализовать режим короткого замыкания на выходе U2 = 0 для биполярного транзистора просто (сопротивление коллекторного перехода равняется десяткам МОм и замыкающие сопротивления в цепи коллектора могут быть даже сотни Ом).

***Система h-параметров***

Система h-параметров используется как комбинированная система из двух предыдущих, причем из соображений удобства измерения параметров биполярного транзистора выбирается режим короткого замыкания на выходе (U2 = 0) и режим холостого хода на входе (I1 = 0). Поэтому для системы h-параметров в качестве входных параметров задаются ток I1 и напряжение U2, а в качестве выходных параметров рассчитываются ток I2 и напряжение U1, при этом система, описывающая связь входных I1, U2 и выходных I2, U1 параметров, выглядит следующим образом:



Значения коэффициентов в уравнении для h-параметров имеют следующий вид:

- входное сопротивление при коротком замыкании на выходе;

- выходная проводимость при холостом ходе во входной цепи;

- коэффициент обратной связи при холостом ходе во входной цепи;

- коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе.

Эквивалентная схема четырехполюсника с h-параметрами приведена на рисунке 5.24а, б. Из этой схемы легко увидеть, что режим короткого замыкания на выходе или холостого хода на входе позволяет измерить тот или иной h-параметр.



**Рис. 5.24. Эквивалентная схема четырехполюсника:
а) биполярный транзистор в схеме с общей базой; б) биполярный транзистор в схеме с общим эмиттером**

Рассмотрим связь h-параметров биполярного транзистора в схеме с общей базой с дифференциальными параметрами. Для этого воспользуемся эквивалентной схемой биполярного транзистора на низких частотах, показанной на рисунке 5.24а, а также выражениями для вольт-амперных характеристик транзистора в активном режиме. Получаем:



Для биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером (рис. 5.24б) выражения, описывающие связь h-параметров с дифференциальными параметрами, будут иметь следующий вид:





Для различных схем включения биполярного транзистора (схема с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором) h-параметры связаны друг с другом. В таблице 2 приведены эти связи, позволяющие рассчитывать h-параметры для схемы включения с общей базой, если известны эти параметры для схемы с общим эмиттером.

Таблица 2. Связи между h параметрами



Дифференциальные параметры биполярных транзисторов зависят от режимов их работы. Для схемы с общим эмиттером наибольшее влияние испытывает коэффициент усиления эмиттерного тока h21э в зависимости от тока эмиттера. На рисунке 5.25 приведена эта зависимость для транзисторов КТ215 различных типономиналов. В области малых токов (микромощный режим) коэффициент усиления уменьшается вследствие влияния рекомбинационной компоненты в эмиттерном переходе, а в области больших токов (режим высокого уровня инжекции) - коэффициент усиления уменьшается вследствие уменьшения коэффициента диффузии.



**Рис. 5.25. Зависимость коэффициента h21э для различных транзисторов марки КТ215Д от эмиттерного тока Iэ [24, 29]**