

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение характеристик п-р-п транзистора

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Биполярный транзистор – это электронный прибор, состоящий из трех чередующихся слоев полупроводников, легированных акцепторной и донорной примесями, которые называются базой, коллектором и эмиттером. В зависимости от последовательности чередования этих слоев транзистор может быть типа п-р-п или р-п-р. Биполярный транзистор можно однозначно описать, например, с помощью его входной характеристики, регулировочной характеристики и выходной характеристики. В этом опыте с помощью измерений получают примеры этих характеристик для п-р-п транзистора, строят их графики и оценивают.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение входной характеристики, т.е. зависимости тока базы I_B от напряжения «база-эмиттер», U_{BE} .
- Измерение регулировочной характеристики, т.е. зависимости тока коллектора I_C от тока базы I_B при фиксированном напряжении «коллектор-эмиттер», U_{CE} .
- Измерение выходной характеристики, т.е. зависимости тока коллектора I_C от напряжения «коллектор-эмиттер» при фиксированном токе базы I_B .

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Плата с гнездами для установки элементов схем	U33250
1	Набор из 10 перемычек, P2W19	U333093
1	Резистор 1 кОм, 2 Вт, P2W19	U333024
1	Резистор 47 кОм, 0,5 Вт, P2W19	U333034
1	Потенциометр 220 Ом, 3 Вт, P4W50	U333042
1	Потенциометр 1 кОм, 1 Вт, P4W50	U333044
1	Транзистор NPN, BD 137, P4W50	U333082
1	Источник питания переменного/постоянного тока, 0–12 В, 3 А (230 В, 50/60 Гц)	U117601-230 или
1	Источник питания переменного/постоянного тока, 0–12 В, 3 А (115 В, 50/60 Гц)	U117601-115
3	Универсальный аналоговый измерительный прибор AM50	U17450
1	Набор из 15 соединительных проводов для опытов длиной 75 и сечением 1 мм ²	U13800

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Биполярный транзистор – это электронный прибор, состоящий из трех чередующихся слоев полупроводников, легированных акцепторной и донорной примесями, которые называются базой (В), коллектором (С) и эмиттером (Е). База находится между коллектором и эмиттером и используется для управления транзистором. Вообще биполярный транзистор напоминает два диода, которые включены в противоположных направлениях и имеют общий анод или катод. Биполярность возникает потому, что две разновидности легирования позволяют и электронам, и дыркам участвовать в переносе зарядов.

В зависимости от последовательности чередования этих слоев транзистор может быть типа п-р-п или р-п-р (Рис. 1). Биполярные транзисторы используются как четырехполюсники в трех базовых схемах, различающихся порядком подключения электродов и называющихся схемами с общим эмиттером, с общим коллектором и с общей базой. Сами названия указывают, какие из электродов являются общими для входа и выхода.

Далее рассматриваются только транзисторы п-р-п типа.

Существует четыре режима работы п-р-п транзистора, зависящих от того, являются ли его переходы «база-эмиттер» или «база-коллектор» проводящими (открытыми), т.е. смещенными в прямом направлении ($U_{BE}, U_{BC} > 0$), или непроводящими (закрытыми), т.е. смещенными в обратном

направлении ($U_{BE}, U_{BC} < 0$), (см. Таблицу 1). В режиме смещения в прямом направлении электроны из эмиттера движутся в базу через смещенный в прямом направлении переход «база-эмиттер» транзистора ($U_{BE} > 0$), а дырки из базы движутся в эмиттер. Поскольку эмиттер намного сильнее легирован примесью, чем база, больше электронов попадает из эмиттера в базу, чем дырок из базы в эмиттер, что сводит к минимуму их рекомбинацию. Поскольку ширина базы короче диффузионной длины электронов, которые в самой базе являются неосновными носителями заряда, электроны диффундируют сквозь базу в обедненный слой между базой и коллектором, прежде чем дрейфовать дальше к самому коллектору. Это происходит потому, что обедненный слой образует барьер только для основных носителей заряда. Это приводит к тому, что имеет место ток переноса заряда I_T из эмиттера в коллектор, который вносит основной вклад в ток коллектора I_C в режиме смещения в прямом направлении. Поэтому транзистор можно рассматривать как источник тока, управляемый напряжением, в котором током I_C на выходе может управлять напряжение U_{BE} на входе. Электроны, которые рекомбинируют в базе, выходят оттуда в виде тока базы I_B , который гарантирует постоянный ток переноса заряда I_T , тем самым обеспечивая то, что транзистор остается в устойчивом состоянии. Поэтому небольшой входной ток I_B может управлять намного большим выходным током I_C ($I_C \approx I_T$), что позволяет осуществлять усиление тока.

Биполярный транзистор описывается четырьмя характеристиками: входной характеристикой, регулировочной или характеристикой базы, выходной характеристикой и характеристикой обратной связи (см. Таблицу 2). В этом опыте проводится измерение (на примере) входной, регулировочной и выходной характеристик п-р-п транзистора и строятся их графики.

Табл. 1: Четыре режима работы п-р-п транзистора

U_{BE}	U_{BC}	Режим работы
> 0	< 0	Нормальный режим
> 0	> 0	Насыщение
< 0	> 0	Обратный режим
< 0	< 0	Выключенное состояние

Табл. 2: Четыре характеристики п-р-п транзистора в нормальном режиме

Название	Зависимость	Параметр
Входная характеристика	$I_B(U_{BE})$	
Регулировочная характеристика	$I_C(I_B)$	$U_{CE} = \text{пост. значение}$
Выходная характеристика	$I_C(U_{CE})$	$I_B = \text{пост. значение}$
Характеристика обратной связи	$U_{BE}(U_{CE})$	$I_B = \text{пост. значение}$

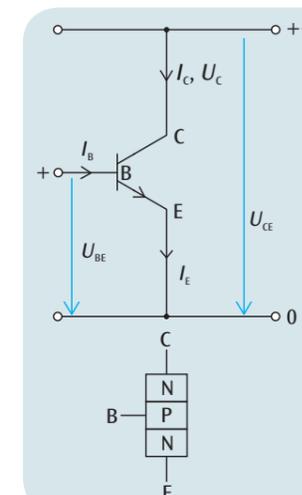


Рис. 1: Принципиальная конструкция п-р-п транзистора, включая соответствующее условное обозначение в электрических схемах, а также обозначения напряжения и тока.

ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Пороговое напряжение U_{Th} можно найти из входной характеристики, а коэффициент усиления можно найти из регулировочной характеристики

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Из выходной характеристики можно найти рассеяние мощности $P = U_{CE} \cdot I_C$.

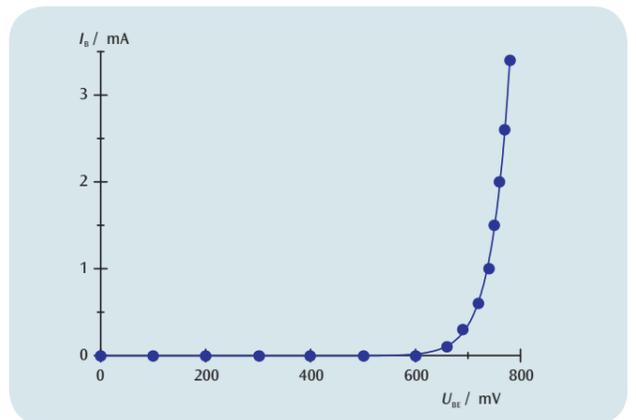


Рис. 2: Входная характеристика

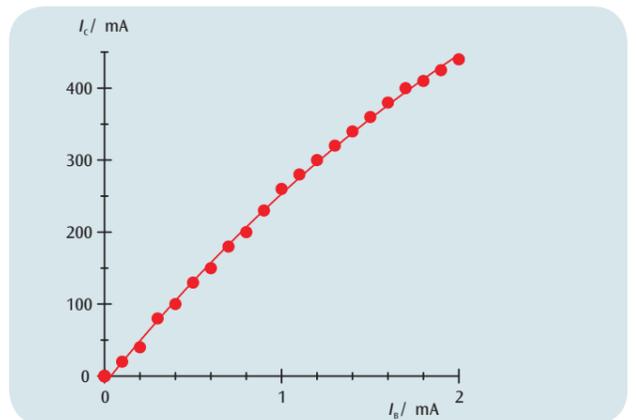


Рис. 3: Регулировочная характеристика при $U_{CE} = 5,2$ В

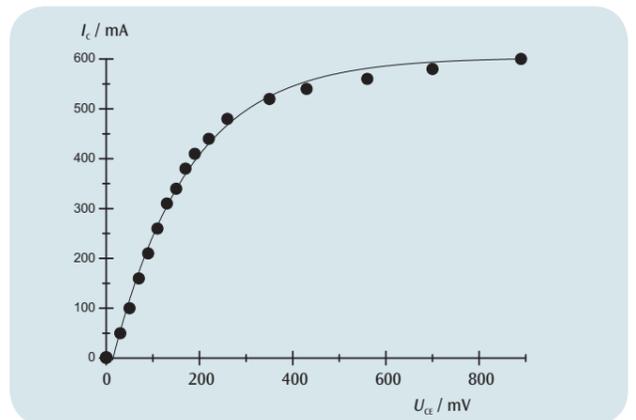


Рис. 4: Выходная характеристика при $I_B = 4,2$ мА