

УДК 37.016:53

**А. П. Коваленко<sup>1</sup>, С. В. Симукова<sup>2</sup>, В. А. Симукова<sup>3</sup>**

**A. P. Kovalenko<sup>1</sup>, S. V. Simukova<sup>2</sup>, V. A. Simukova<sup>2</sup>**

ГАПОУ «Брянский транспортный техникум»

ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет

имени академика И. Г. Петровского

(Брянск, Россия)

ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет»

(Москва, Россия)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА ПРИ УГЛУБЛЕННОМ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ И В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ**

### **INVESTIGATION OF THE VOLTAGE-CURRENT CHARACTERISTIC OF A BIPOLAR TRANSISTOR IN THE IN-DEPTH STUDY OF PHYSICS AND IN THE PROJECT ACTIVITIES OF STUDENTS**

В статье рассматривается лабораторная работа по изучению входных и выходных характеристик биполярного транзистора, которая может использоваться при углубленном изучении физики в 10 классе или в проектной деятельности учащихся.

The article considers laboratory work on the study of the input and output characteristics of a bipolar transistor, which can be used in the in-depth study of physics in the 10th grade or in the project activities of students.

**Ключевые слова:** биполярный транзистор, вольтамперная характеристика, электронный ключ, усилитель тока.

Keywords: bipolar transistor, voltage-current characteristic, electronic key, current amplifier.

В общеобразовательном курсе физики при формировании представлений о полупроводниках как основе современной техники обучающихся знакомят с биполярным транзистором [1].

Биполярный транзистор – уникальный прибор, справедливо считающийся историками физики одним из важнейших изобретений XX века. Усилительные свойства транзистора позволяют использовать его в качестве активного элемента в усилителях и генераторах электрических сигналов, а ключевые свойства – в логических элементах – составляющих интегральных микросхем и микропроцессоров.

Для полноценного усвоения материала учащимися теоретическое объяснение необходимо подкрепить лабораторным экспериментом. Одним из основных исследований при изучении транзистора является получение его входной и выходной вольтамперных характеристик (ВАХ). Анализ ВАХ позволяет усвоить принцип работы транзистора и определить его свойства для дальнейшего практического применения.

Схема электрической цепи для получения ВАХ биполярного транзистора в схеме включения с общим эмиттером [2] представлена на рисунке 1.

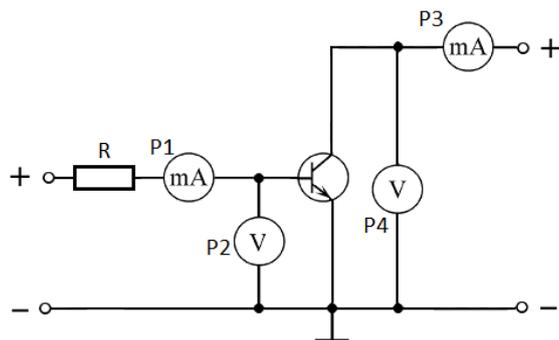


Рис. 1. – Схема электрической цепи для получения вольтамперных характеристик биполярного транзистора в схеме включения с общим эмиттером

В качестве источников питания входной и выходной цепей используются источники постоянного регулируемого напряжения, например, ИПС-1 или ИЭПП-2. Ограничительный резистор R – это магазин сопротивлений P33. В качестве миллиамперметров можно использовать приборы АВО-63 или Щ4313, в качестве вольтметров – Щ4313 или мультиметры.

Миллиамперметр P<sub>1</sub> измеряет силу тока базы, миллиамперметр P<sub>3</sub> – силу тока коллектора; вольтметр P<sub>2</sub> измеряет напряжение перехода база–эмиттер, а вольтметр P<sub>4</sub> – напряжение перехода коллектор–эмиттер.

Используя приборы P<sub>3</sub> и P<sub>4</sub> можно контролировать выходную мощность рассеяния, не допуская её превышения. Для малой выходной мощности рассеяния при получении входной ВАХ миллиамперметр P<sub>3</sub> в цепь можно не включать. При снятии выходной ВАХ необходимо отключить от цепи вольтметр P<sub>2</sub>.

Рассмотрим результаты исследования ВАХ биполярного транзистора КТ315А.

На рисунке 2 приводится фрагмент семейства входных характеристик транзистора при различных напряжениях перехода коллектор–эмиттер. Анализ графиков позволяет сделать обучающимся следующие выводы.

Внешне каждый из графиков аналогичен прямой ветви вольтамперной характеристики диода. Это вполне объясняется тем, что в обоих случаях исследуется  $p-n$  – переход при прямом подключении. Ток через переход база–эмиттер начинает протекать при напряжении на переходе около 0,6 В. Данное напряжение является напряжением «открывания» транзистора. Токи, при которых начинает «открываться» транзистор, находятся в интервале 20 мкА – 100 мкА.

С увеличением напряжения коллектор–эмиттер увеличивается напряжение «открывания» транзистора. Увеличение напряжения коллектор–эмиттер способствует увеличению ширины запирающего слоя на границе коллекторного перехода. Объёмный заряд на границе  $p-n$  – перехода коллектор–база будет

препятствовать движению основных носителей заряда из эмиттера в базу. В этом случае основные носители заряда могут свободно перемещаться из эмиттера в базу только при увеличении напряжения на переходе база–эмиттер.

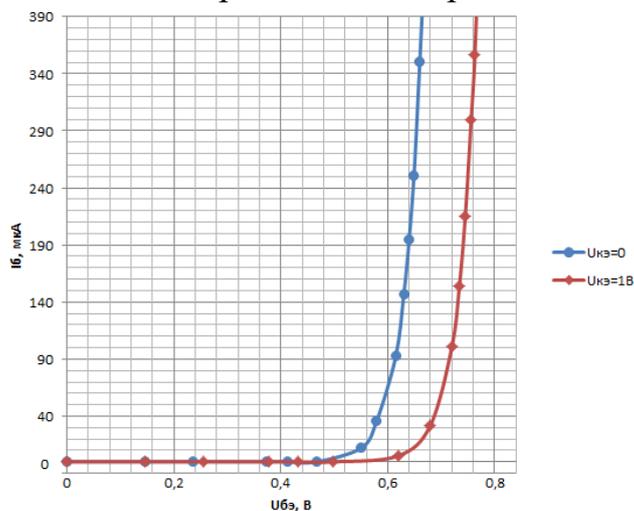


Рис. 2. – Семейство входных характеристик биполярного транзистора КТ135А

На рисунке 3 приводится семейство выходных характеристик транзистора. Это пять графиков выходных ВАХ, снятых при токах базы от 20 мкА до 100 мкА с интервалом в 20 мкА каждый. При малом токе базы, равном 10 мкА, снять выходную характеристику не получилось. Анализ графиков позволяет сделать обучающимся следующие выводы.

Внешне каждый из графиков аналогичен обратной ветви вольтамперной характеристики диода, симметрично отображённой относительно начала координат. Схожесть с обратной ветвью объясняется тем, что данные графики выражают зависимость силы тока через  $p-n$  – переход база–коллектор с запирающим слоем на границе от приложенного напряжения.

Из графиков видно, что ток в транзисторе достигает насыщения при значении напряжения коллектор–эмиттер примерно 400 мВ. Это означает, что при данном напряжении все свободные носители заряда, способные двигаться через  $p-n$  – переход, участвуют в направленном движении.

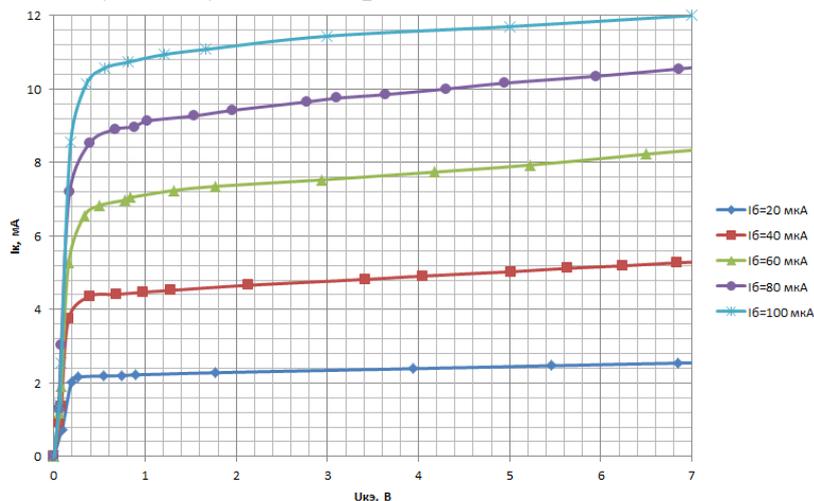


Рис. 3. – Семейство выходных характеристик биполярного транзистора КТ315А

Величина тока базы влияет на величину тока насыщения: чем больше сила тока базы, тем больше сила тока насыщения транзистора. Данную закономерность можно объяснить большим количеством носителей заряда, оказавшихся в базе в результате протекания тока база–эмиттер: чем больше ток база–эмиттер, тем больше носителей заряда окажутся в области базы и далее пересекут  $p-n$  – переход база–коллектор.

Анализируя входные характеристики, а также тот факт, что получить выходную ВАХ при малом токе базы, равным 10 мкА, не удалось, обучающиеся должны сделать вывод, о том, что ток в цепи коллектора появляется (транзистор «открывается») при напряжении база–эмиттер не меньше, чем 0,6 В (напряжение «открывания» транзистора). Таким образом проявляются ключевые свойства биполярного транзистора [3].

Сравнивая значения входных токов базы и токов насыщения каждого из графиков семейства выходных характеристик, можно сделать вывод о том, что биполярный транзистор является усилителем тока. Так, например, при входном токе величиной 20 мкА можно получить выходной ток примерно равный 2000 мкА.

Проведение описанного лабораторного эксперимента позволяет учащимся осознать принцип работы транзистора, научиться получать и анализировать графики. Данное исследование можно проводить как в высших и средне-профессиональных образовательных учреждениях, так и общеобразовательных учреждениях, в классах с углубленным изучением физики. Очень полезно использование данного эксперимента в проектной деятельности учащихся по исследованию полупроводниковых приборов.

#### **Список использованных источников**

1. Мякишев Г.Я. Физика. 10 класс: учеб. Для общеобразоват. организаций: базовый и углубл.уровни / Г.Я.Мякишев, Б.Б.Буховцев, Н.Н.Сотский; под ред. Н.А.Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2023. – 432 с.
2. Ляшко М.Н. Радиотехника: Лаб. практикум. [Для физ.-мат. фак. пед. ин-тов]. 2-е изд., перераб. и доп. - Мн.: Выш. школа, 1981. - 269 с., ил.
3. Иноземцев В.А., Иноземцева С.В. Введение в электронику. - Брянск: Изд - во БГПУ, 2001. – 150 с.