

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Севастопольский государственный университет»

# **Исследование транзисторов и ключевых схем на биполярных и униполярных транзисторах**

**Методические указания**

к выполнению лабораторной работы

для студентов, обучающихся по направлению

**09.03.02 “Информационные системы и технологии”**

дневной и заочной формы обучения

**Севастополь 2016**

УДК 004.732

**Исследование транзисторов и ключевых схем на биполярных и униполярных транзисторах.** Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине "Электроника" / Сост. В.С. Чернега — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016 — 11 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине "Электроника". Целью методических указаний является помощь студентам в освоении методики снятия вольт-амперных характеристик транзисторов и измерения их параметров, экспериментального исследования ключевых схем на биполярных и полевых транзисторах. Излагаются теоретические и практические сведения необходимые для выполнения лабораторной работы, программа исследований, требования к содержанию отчета.

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры информационных систем (протокол № 1 от 29 августа 2016 г)

Допущено учебно-методическим центром СевГУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Кротов К.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ИС

## Лабораторная работа

### Исследование транзисторов и ключевых схем на биполярных и униполярных транзисторах

#### 1. Цель работы

Экспериментальные исследования характеристик биполярных и униполярных транзисторов и ключевых схем. Приобретение практических навыков измерения электрических параметров и регистрации временных диаграмм с помощью электро- и радиоизмерительных приборов.

#### 2. Основные теоретические положения

**Транзистор** — трехэлектродный полупроводниковый прибор, позволяющий входным сигналом управлять током в электрической цепи. В зависимости от используемых носителей заряда различают биполярные и полевые транзисторы.

В биполярных транзисторах одновременно используются два типа носителей заряда — *электроны* и *дырки*. Этим он отличается от *униполярного* (полевого) транзистора, в работе которого участвует только один тип носителей заряда.

В биполярных транзисторах используется два *p-n* перехода от которых выводятся три электрода. Управляющим электродом в биполярных транзисторах обычно является база, а основной ток протекает между эмиттером и коллектором. Носители заряда движутся от эмиттера через тонкую базу к коллектору. База отделена от эмиттера и коллектора *p-n* переходами. Ток протекает через транзистор лишь тогда, когда носители заряда инжектируются из эмиттера в базу через *p-n* переход. В базе они являются неосновными носителями заряда и легко проникают через другой *p-n* переход между базой и коллектором, ускоряясь при этом. Управление выходным током транзистора осуществляется за счет изменения тока базы.

Униполярный транзистор имеет три электрода: исток, сток и затвор. В таком транзисторе ток протекает от истока до стока через канал под затвором. Канал образуется в легированном полупроводнике в промежутке между затвором и нелегированной подложкой, в которой нет носителей заряда, и она не может проводить ток. Управление выходным током униполярного транзистора осуществляется за счет изменения напряжения (электрического поля) на затворе, в связи с чем униполярный транзистор называют полевым.

В зависимости от того, какой электрод является общим для входной и выходной цепей, различают три схемы включения транзисторов:

с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК) — для биполярных транзисторов;

с общим истоком, с общим затвором и с общим стоком – для униполярных транзисторов.

На практике чаще всего используются схемы включения с общим эмиттером и общим истоком, в которых наблюдается максимальное усиление сигналов.

Основными параметрами биполярных транзисторов являются коэффициенты передачи токов:

$\alpha = I_K / I_E$  – коэффициент передачи эмиттерного тока в коллектор, равный от 0,9 до 0,99;

$\beta = I_K / I_B$  – коэффициент передачи базового тока в коллектор, принимающий значения от 10 до 1000.

Для оценки максимально допустимых режимов работы транзисторов используют следующие параметры:

максимально допустимое напряжение коллектор–эмиттер (для различных транзисторов  $U_{кэ\text{ макс}} = 10 - 2000 \text{ В}$ );

максимально допустимая мощность рассеяния коллектора  $P_{к\text{ макс}}$  – по ней транзисторы делят на транзисторы малой мощности (до 0,3 Вт), средней мощности (0,3 - 1,5 Вт) и большой мощности (более 1,5 Вт), транзисторы средней и большой мощности часто снабжаются специальным теплоотводящим устройством – радиатором;

максимально допустимый ток коллектора  $I_{к\text{ макс}}$  – до 100 А и более;

границная частота передачи тока  $f_{гр}$  (частота, на которой коэффициент усиления по току становится равным единице).

Важнейшими характеристиками биполярных транзисторов являются входные  $I_K = \varphi(U_{бэ})$  и выходные  $I_K = \psi(U_{кэ})$  при  $I_B = \text{const}$  вольт-амперные характеристики.

Основными параметрами униполярных транзисторов являются следующие:

коэффициент усиления — отношение изменения напряжения исток-сток к изменению напряжения затвор-исток при постоянном токе стока;

крутизна стоко-затворной характеристики, чем она больше, тем «острее» реакция транзистора на изменение напряжения на затворе;

входное сопротивление  $R_{вх}$ , определяется сопротивлением обратно смещенного р-п перехода и обычно достигает единиц и десятков МОм (что выгодно отличает полевые транзисторы от биполярных «родственников»);

максимальный ток стока  $I_{с\text{ макс}}$  при фиксированном напряжении затвор-исток;

максимальное напряжение сток-исток  $U_{си}$ , после которого уже наступает пробой;

внутреннее (выходное) сопротивление  $R_{вых}$ . Оно представляет собой сопротивление канала для переменного тока (напряжение затвор-исток — константа).

Основными характеристиками униполярных транзисторов являются:

*выходная (стоковая)* — зависимость тока стока  $I_c$  от напряжения исток-сток  $U_{ис}$  при постоянном напряжении затвор-исток  $U_{зи}$ ;

*стоко-затворная* — зависимость тока стока  $I_c$  от напряжения затвор-исток  $U_{зи}$  при постоянном напряжении между истоком и стоком  $U_{си}$ .

Практически все цифровые элементы информационной и вычислительной техники построены на транзисторах (биполярных или чаще на КМОП), работающих в ключевом режиме.

Биполярные транзисторы, работающие в режиме ключа, обычно включаются по схеме с общим эмиттером. На рис.2.1 приведены схема транзисторного ключа (а), эквивалентная схема контактного ключа (б) и временная диаграмма входного и выходного сигналов (в).

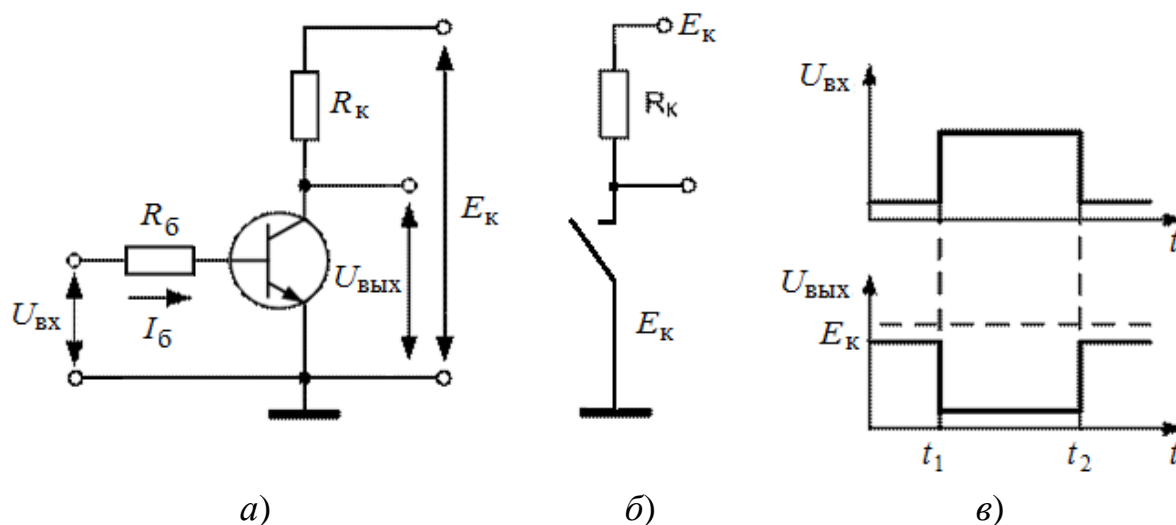


Рисунок 2.1 – Схема ключа на биполярном транзисторе (а), эквивалентная схема (б) и временная диаграмма (в)

Резистор  $R_б$  предназначен для ограничения тока базы транзистора  $I_б$ , чтобы он не превышал максимально допустимого значения. В промежуток времени от 0 до  $t_1$  входное напряжение и ток базы близки к нулю, и транзистор находится в режиме отсечки. Напряжение  $U_{КЭ}$ , является выходным и будет близко к  $E_K$ . В промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2$  входное напряжение и ток базы транзистора становятся максимальными, и транзистор перейдёт в режим насыщения. После момента времени  $t_2$  транзистор переходит в режим отсечки. Следовательно, можно сделать вывод, что транзисторный ключ является инвертором, т. е. изменяет фазу сигнала на  $180^\circ$ .

На рисунке 2.2а изображена схема КМОП ключа (вентиля) на основе униполярных транзисторов с индуцированным каналом, который осуществляет инверсию входного сигнала (элемент НЕ). То есть если на вход подается высокий уровень напряжения (логическая единица), то с выхода снимается логический ноль и наоборот. Эквивалентные схемы КМОП ключа на контактных ключах при двух значениях сигналов управления показаны на рис. 2.2б и рис.2.2в. Как видно из эквивалентных схем, выход инвертора соединен либо с шиной сиг-

нального заземления (на выходе логический 0), либо с шиной источника питания (на выходе логическая 1). В схеме КМОП инвертора, в отличие от схем с резистором, сквозной ток отсутствует при любом состоянии вентиля. Это означает, что при идеальных ключах схема не потребляет энергии. В реальных условиях закрытый транзистор имеет очень большое, но конечное сопротивление и в устройстве протекает очень маленький (доли микроампер) ток. В момент переключения, когда оба транзистора находятся в полукотрытом состоянии, сквозной ток существенно возрастает.

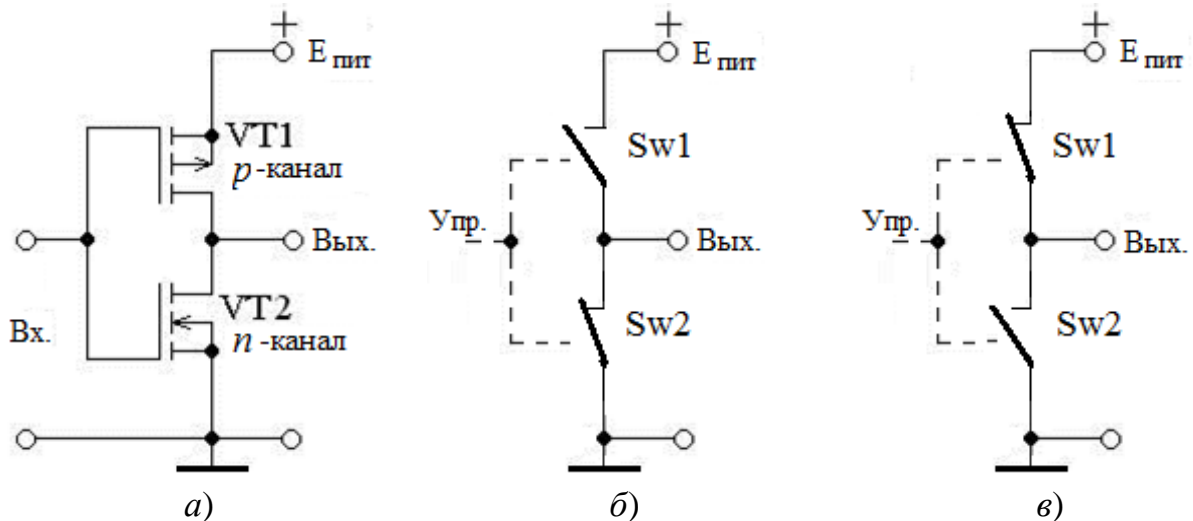


Рисунок 2.2 – Схема КМОП-ключа (а), эквивалентные схемы при различных сигналах управления на входе (б,в)

Это приводит к тому, что при увеличении частоты переключения средний ток, потребляемый схемой, увеличивается, что приводит к разогреву ключевых элементов.

Для снятия вольт-амперных характеристик биполярного транзистора применяется схема, изображенная на рис.2.3. Для снятия ВАХ униполярных транзисторов схема аналогичная, только вместо биполярного используется униполярный транзистор. Входной сигнал подается на затвор, а общим электродом является сток транзистора.

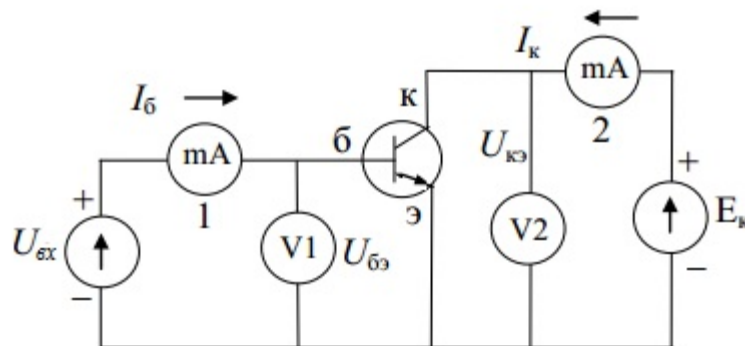


Рисунок 2.3 – Схема снятия ВАХ транзисторов

### 3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из персонального компьютера, на котором установлены система моделирования электронных и микропроцессорных систем Proteus VSM. Proteus VSM по умолчанию устанавливается в папку C:\Program\Files\Labcenter Electronics\Proteus. Особенности работы с данной системой описаны в методических указаниях к лабораторной работе №1.

### 4. Программа выполнения лабораторной работы

4.1. Используя конспект и рекомендованную литературу, изучить теоретический материал, относящийся к теме работы.

4.2. Создать на рабочем поле симулятора схему для измерения ВАХ биполярного  $n-p-n$  транзистора (рис.2.3). Тип транзистора и напряжение источника питания выбирается согласно варианту (Приложение А). В качестве источника входного сигнала использовать источник напряжения 1,5 В и потенциометр POT-HG. Снять зависимость тока  $I_b$  базы от напряжения  $U_{бэ}$  база-эмиттер. Входной ток изменять от 0 до 500 мкА.

4.3. Снять зависимость тока коллектора  $I_k$  от тока базы  $I_b$  и определить коэффициент усиления транзистора по току  $\beta$ .

4.4. Создать на рабочем поле симулятора схему транзисторного ключа (инвертора) на  $n-p-n$  транзисторе. Тип транзистора выбирается согласно варианту (Приложение А).

4.5. Подключить на вход ключа генератор прямоугольных импульсов, а выход ключа соединить со входом 2-го канала осциллографа. Первый вход осциллографа подключить к генератору прямоугольных импульсов. Амплитуду импульсов установить равной 3В, форма импульсов – меандр. Длительности передних и задних фронтов – 1 мкс. В качестве нагрузки применить резистор сопротивлением 20 кОм.

4.6. Снять осциллограммы входных и выходных импульсов при частотах прямоугольной последовательности 10, 50 и 100 кГц. Измерить время задержки переключения ключа при переходе из режима отсечки в насыщение и обратно.

4.7. Создать на рабочем поле симулятора схему транзисторного ключа (инвертора) на КМОП-транзисторах (см. рисунок Приложения Б). Для этой цели использовать транзисторную пару 2SJ118 и 2SK1058.

4.8. Повторить пп. 4.5 и 4.6 для инвертора на КМОП-транзисторах.

4.9. Измерить величину потребляемого тока при изменении частоты переключения инвертора от 10 до 100 кГц.

### 5. Содержание отчета

- 5.1. Цель и программа работы.
- 5.2. Расчетные соотношения для исследуемых схем.
- 5.3. Принципиальные электрические схемы исследуемых устройств.
- 5.4. Таблицы, графики и временные диаграммы экспериментальных исследований.
- 5.5. Выводы по результатам экспериментов.

## **6. Контрольные вопросы**

- 6.1. Расскажите об устройстве и принципе функционирования биполярного транзистора.
- 6.2. Начертите схемы включения биполярного транзистора.
- 6.3. Назовите основные параметры транзисторов и расскажите, как на практике определить эти параметры.
- 6.4. Начертите схемы снятия вольт-амперных характеристик биполярных и униполярных транзисторов.
- 6.5. Расскажите об устройстве и принципе функционирования униполярного транзистора.
- 6.6. Начертите схемы включения полевого транзистора.
- 6.7. Начертите схему транзисторного ключа на *n-p-n*-транзисторе, поясните назначение резисторов в схеме и работу устройства.
- 6.8. Начертите схему транзисторного ключа на КМОП-транзисторе и поясните работу устройства.
- 6.9. Каковы преимущества КМОП-инвертора по сравнению с инвертором на биполярных транзисторах?
- 6.10. Поясните, почему возрастает потребляемая мощность КМОП-инвертором с ростом частоты переключения.
- 6.11. Поясните, каким образом на практике можно определить задержку переключения транзисторного ключа.
- 6.12. Начертите схему транзисторного каскада усиления напряжения и поясните назначение элементов схемы и принцип работы усилителя.

## **Список рекомендованной литературы**

1. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
2. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
3. Микушин А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры / А.В. Микушин, А.М. Сажнев, В.И. Сединин. - СПб, БХВ-Петербург, 2010. – 832 с.

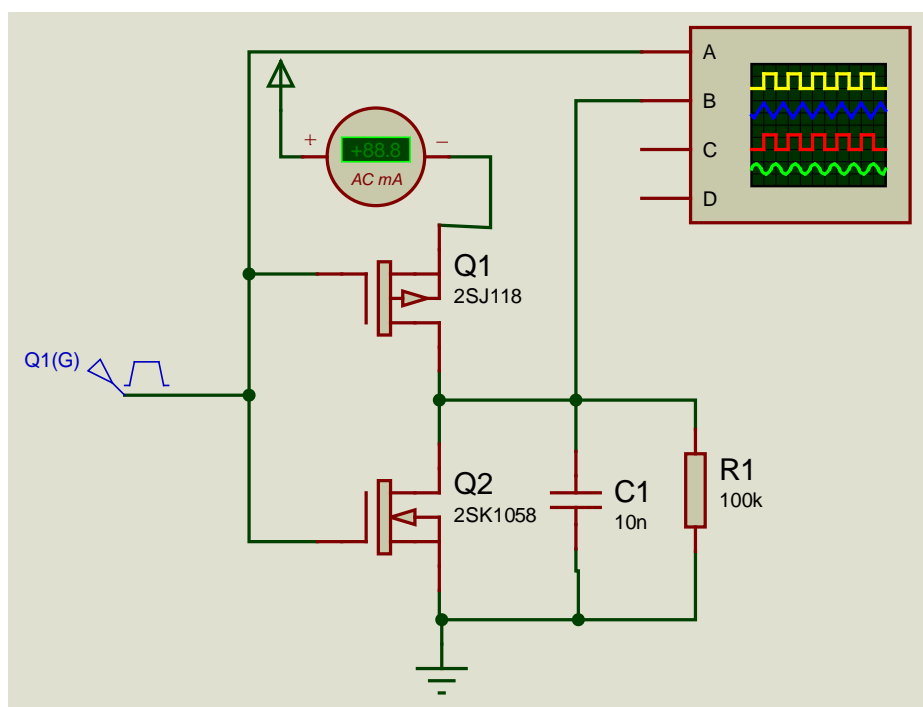


4. Чернега В.С. Электроника. Конспект лекций для направления обучения  
09.03.02.- Севастополь: СевГУ, 2016.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Варианты заданий

Номер варианта	Параметры		Примечание
	Напряжение источника питания, В	Тип транзистора	
1	9	BC108	
2	10	BC212	
3	12	2N2926	
4	15	2N3702	
5	8	BFY90	
6	6	2N2907	

## Приложение Б. Схема исследования ключа на КМОП-транзисторах





Заказ №

Тираж

экз.

Тип. СевГУ