

Министерство образования и науки Российской Федерации
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

**Методические указания
к лабораторным работам по курсам
«Электроника»,
«Электроника и микроэлектроника»,
«Электроника и микропроцессорная техника»**

Часть 1. Полупроводниковые приборы

Издание переработанное и дополненное

Кафедра РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

Москва

2012 год

В настоящем пособии объединены методические указания ко всей номенклатуре лабораторных работ по курсам «Электроника», «Электроника и микроэлектроника», «Электроника и микропроцессорная техника», посвященных исследованию полупроводниковых приборов. Программа курса лабораторных работ для студентов различных специальностей определяется преподавателем.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для исследования различных типов полупроводниковых приборов используется макет "Полупроводниковые приборы", который предназначен для исследования вольтамперных характеристик (ВАХ) и импульсных свойств приборов. Схемы измерений собираются с помощью перемычек. Гнёзда 4, 7, 8, 16 соединены с корпусом макета.

Исследуемые полупроводниковые приборы расположены в верхней части макета. Типы приборов указаны на макете. В протоколе измерения следует указать номер макета.

В качестве источника постоянного напряжения используются стабилизированные источники питания ИПС-1 или «Марс». Выходное напряжение регулируется двумя потенциометрами "ГРУБО" и "ПЛАВНО". Перед началом работы и при внесении изменений в схему оба потенциометра источника питания должны быть выведены в крайнее левое положение.

При исследовании ВАХ полупроводниковых приборов для измерения тока и напряжения используются цифровые вольтметры В7-58/2 и мультиметры М3900. Для исследования работы полупроводниковых приборов в импульсном режиме используются генератор импульсов Г5-63 и двухканальный осциллограф АСК-1022. Измерительные приборы следует подключать к макету с помощью соединительных проводов и кабелей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Цель работы: исследование характеристик германиевого и кремниевого диодов, изучение методики измерения характеристик и расчет параметров математической модели диода по характеристикам.

Задание и порядок выполнения работы

1. Начертить принципиальную схему для снятия ВАХ диода с указанием полярности подключения источника питания и типов измерительных приборов. Для приборов указать пределы измерений. Выписать из приложений 1-2 типы и основные параметры исследуемых диодов и стабилитрона. Исследуемые диоды обозначены на макете VD1 и VD2; один из диодов германиевый, другой кремниевый. Стабилитрон имеет обозначение VD3. Типы исследуемых приборов указаны на макете.

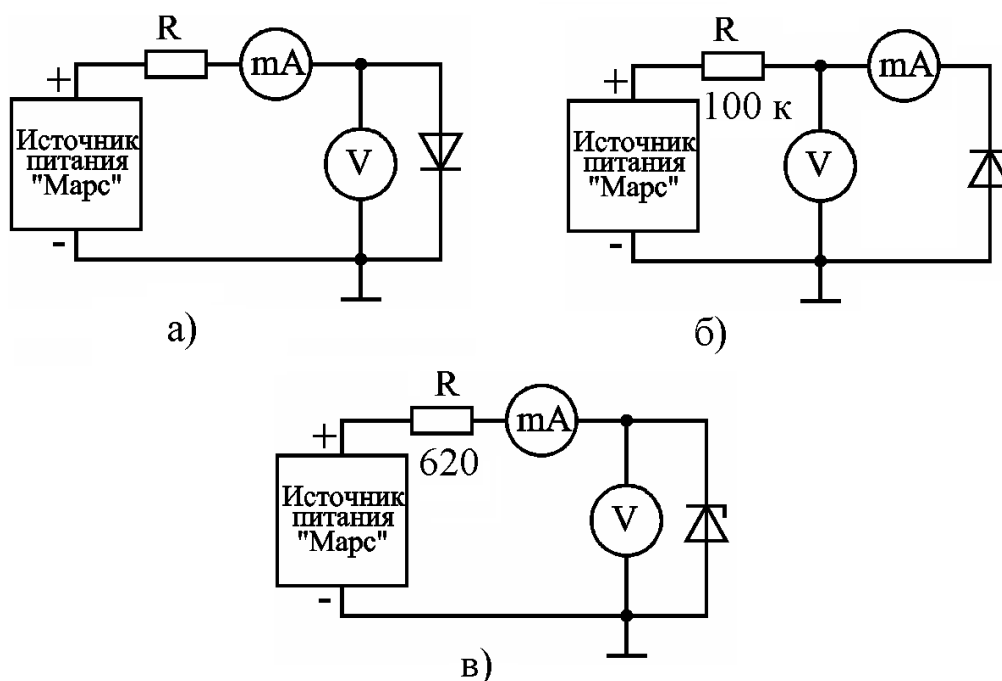


Рис. 1. Схемы для исследования прямой ветви ВАХ диода (а), обратной ветви ВАХ диода (б) и обратной ветви ВАХ стабилитрона (в)

2. Снять прямую ветвь ВАХ диодов VD1 и VD2.

Собрать схему для снятия характеристики; диод VD1 включить в прямом направлении в соответствии со схемой рис. 1, а. При

снятии начального участка прямой ветви ВАХ (токи менее 150 мкА) последовательно с диодом включить резистор 100 кОм. Изменяя выходное напряжение источника питания, последовательно устанавливать токи диода 50 мкА, 100 мкА; 500 мкА, 1 мА, 2 мА, 5 мА, 7 мА, 10 мА и измерять соответствующие им напряжения на диоде. Для получения токов 500 мкА и более заменить резистор 100 кОм на 620 Ом, предварительно отключив источник питания (либо уменьшив его выходное напряжение до нуля).

Аналогично снять прямую ветвь ВАХ диода VD2.

По результатам измерений построить графики прямых ветвей ВАХ диодов VD1 и VD2 в одной системе координат.

3. Снять обратную ветвь ВАХ диодов VD1 и VD2.

Собрать схему снятия обратной ветви ВАХ с диодом VD1 (рис. 2, а). Последовательно с диодом включить резистор 100 кОм. Изменяя выходное напряжение источника напряжения, последовательно устанавливать напряжения на диоде 0,5 В, 1 В, 2 В, 5 В, 7 В, 10 В и измерять соответствующие им токи диода.

Аналогично снять обратную ветвь диода VD2. По результатам измерений построить графики обратных ветвей диодов VD1 и VD2 в одной системе координат.

4. Собрать схему снятия обратной ветви ВАХ стабилитрона VD3 (рис. 1, в). Последовательно со стабилитроном включить резистор 620 Ом. Медленно увеличивая выходное напряжение источника питания, добиться увеличения обратного тока стабилитрона до 0,5 мА (стабилитрон входит в режим электрического пробоя) и измерить напряжение на стабилитроне. Далее, изменяя выходное напряжение источника питания, последовательно устанавливать токи стабилитрона 1 мА, 2 мА, 5 мА, 7 мА, 10 мА и измерять соответствующие им напряжения на стабилитроне. По результатам измерений построить график обратной ветви ВАХ стабилитрона.

4. Определить внутреннее сопротивление измерителя тока для всех использованных при снятии ВАХ пределов измерения. Для этого из схемы исключить диод, т.е. собрать схему рис. 2, а. Для пределов 20 и 200 мкА последовательно с измерителем тока включить резистор 100 кОм, для остальных пределов – 620 Ом.

Изменяя напряжение источника питания, установить ток, протекающий через измеритель тока (для удобства можно устанавливать ток, кратный 10, например 10 мА), измерить падение напряжения на измерителе тока и по результатам определить его внутреннее сопротивление.

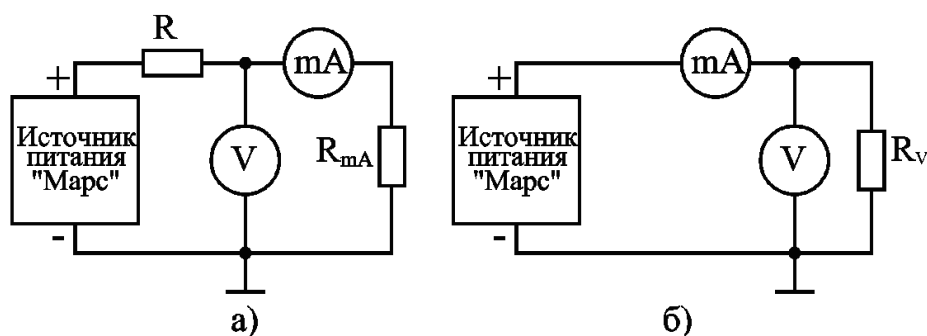


Рис. 2. Схемы для определения внутреннего сопротивления миллиамперметра (а) и вольтметра (б)

6. Определить внутреннее сопротивление вольтметра для всех использованных при снятии ВАХ пределов измерения. Для этого собрать схему рис. 2. б. Изменяя напряжение источника питания, установить по вольтметру напряжение 10 В (для предела 20 В) или 1 В (для предела 2 В), измерить ток и по результатам измерений определить внутреннее сопротивление вольтметра.

Обработка экспериментальных данных

1. По измеренным ВАХ определить:
 - 1) сопротивление по постоянному току и дифференциальное сопротивление диодов VD1 и VD2 в прямом включении для $I_{пр} = 5$ мА;
 - 2) сопротивление по постоянному току и дифференциальное сопротивление диодов VD1 и VD2 в обратном включении для $U_{обр} = 5$ В;
 - 3) дифференциальное сопротивление стабилитрона при токах стабилизации 2 мА и 7 мА.
2. Использовать результаты измерений для определения параметров математической модели диода (для РЛ-1).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) параметры исследованных диодов и стабилитрона;
- 4) графики измеренных ВАХ;
- 5) результаты обработки экспериментальных данных;
- 6) выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА. МОДЕЛЬ ЭБЕРСА-МОЛЛА

Цель работы: исследование характеристик и параметров биполярного транзистора, изучение методики измерения вольтамперных характеристик, расчет параметров модели Эберса-Молла.

Задание и порядок выполнения работы

1. Начертить принципиальные схемы для измерения ВАХ биполярного транзистора в схеме ОЭ с указанием полярности подключения источников питания и измерительных приборов. В состав макета входят 2 биполярных транзистора: германиевый (VT1) и кремниевый (VT2). Исследуемый транзистор задается преподавателем. Выписать из приложения 3 тип и основные параметры исследуемого транзистора.

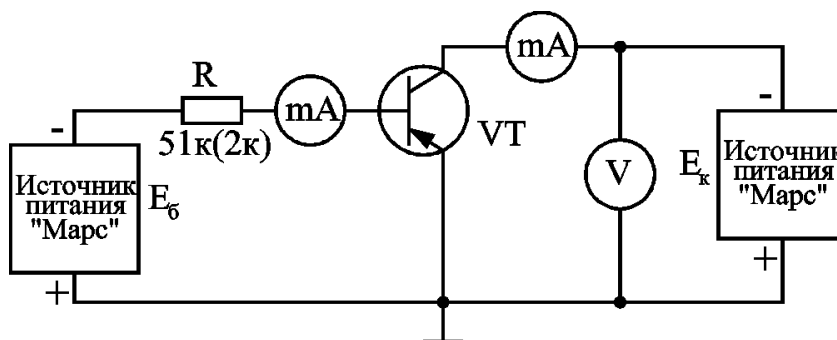


Рис. 3. Схема для исследования выходных ВАХ биполярного транзистора

2. Снять семейство выходных ВАХ транзистора в нормальном включении для трёх значений тока базы.

Собрать схему измерения в соответствии с рис. 3. В цепь базы включить резистор 51 кОм. На графике-заготовке выходной характеристики построить кривую допустимой мощности исследуемого транзистора.

Изменяя напряжение источника питания в коллекторной цепи E_k , установить $U_{кэ} = -5$ В. Плавное изменение напряжения источника питания в базовой цепи E_b , установить ток коллектора $I_k = 5$ мА и измерить соответствующий ему ток базы I_b' .

Снять семейство выходных характеристик транзистора при трех значениях тока базы: $I_b = 0,5I_b'$; I_b' ; $1,5I_b'$. Изменяя E_k , устанавливать по вольтметру в коллекторной цепи необходимые значения $U_{кэ}$ и измерять соответствующие значения I_k . При измерениях сле-

доть за тем, чтобы выходные характеристики не выходили за пределы области допустимой мощности; особое внимание обратить на начальный участок ВАХ (при изменении $U_{кэ}$ от 0 до -1 В). При снятии каждой из трёх выходных ВАХ необходимо контролировать постоянство базового тока. Построить графики снятых выходных ВАХ на графике-заготовке.

3. Снять выходную характеристику транзистора при инверсном включении. Для этого перемычки, подходящие к коллектору и эмиттеру транзистора, поменять местами. Аналогично п. 2 определить ток базы I_6'' , при котором ток коллектора равен 5 мА при напряжении на коллекторе -5 В, и снять выходную характеристику при токе базы I_6'' .

4. Определить статический коэффициент передачи тока базы для нормального и инверсного включений транзистора для точки с напряжением на коллекторе -5 В и токов базы соответственно I_6' и I_6'' .

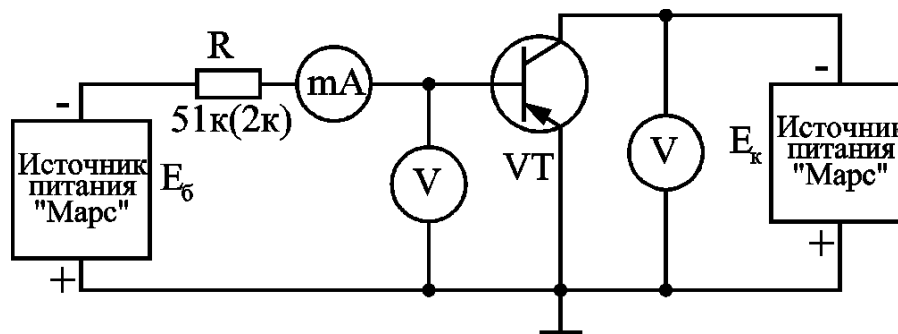


Рис. 4. Схемы для исследования входной ВАХ биполярного транзистора

5. Снять входные характеристики транзистора при нормальном включении.

Собрать схему в соответствии с рис. 4. Установить $U_{кэ} = -5$ В. Изменяя $E_б$, устанавливать по миллиамперметру в базовой цепи необходимые значения $I_б$ и измерять соответствующие значения $U_{бэ}$. Ток базы изменять от 0 до $1,5I_б'$, шаг изменения выбрать таким, чтобы получить в указанном диапазоне не менее 8 точек.

Аналогично снять входную характеристику при напряжении на коллекторе 0 В (для этого необходимо уменьшить напряжение источника коллекторного питания до нуля и после этого соединить коллектор с эмиттером (т.е. с общим проводом)).

6. Снять входную характеристику транзистора при инверсном включении при $U_{кэ} = -5$ В. Ток базы изменять от 0 до $1,5I_б''$.

Обработка экспериментальных данных

1. По снятым ВАХ графически определить h -параметры для $I_K = 5$ мА и $U_{KЭ} = -5$ В.

2. Использовать результаты измерений в прямом и инверсном включении для определения параметров модели Эберса-Молла (для РЛ-1).

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) параметры исследованного биполярного транзистора;
- 4) графики измеренных ВАХ;
- 5) результаты обработки экспериментальных данных;
- 6) выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Цель работы: исследование характеристик и параметров полевого транзистора, изучение методики измерения характеристик полевого транзистора, расчёт параметров эквивалентной схемы.

Задание и порядок выполнения работы

1. Начертить принципиальную схему для измерения ВАХ полевого транзистора в схеме с общим истоком с указанием полярности измерительных приборов и источников питания. Выписать из приложения 4 тип и основные параметры исследуемого транзистора.

2. Снять семейство выходных характеристик полевого транзистора.

Собрать схему измерения (рис. 5). На графике-заготовке для выходных характеристик построить кривую допустимой мощности. Экспериментально определить напряжение отсечки $U_{отс}$, т.е. такое

напряжение на затворе, при котором $I_c=0$; напряжение сток-исток выставить равным 10 В. Снять семейство выходных характеристик для значений $U_{зи}=0; 0,2U_{отс}; 0,4U_{отс}; 0,6U_{отс}; 0,8U_{отс}$.

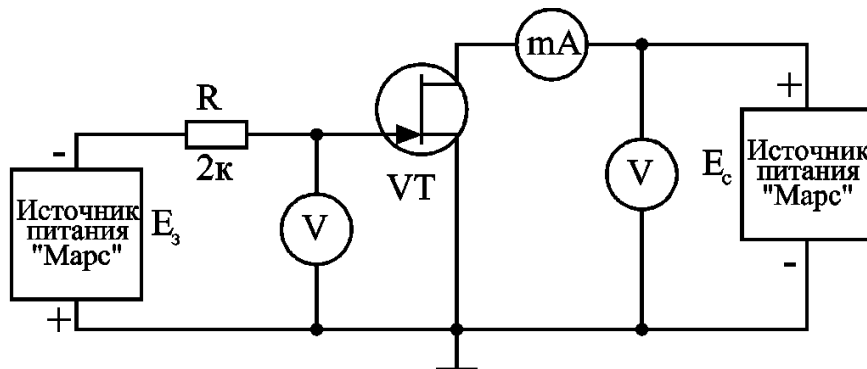


Рис. 5. Схема для исследования ВАХ полевого транзистора

Указать значение тока насыщения $I_{с.нас}$ и напряжения насыщения $U_{си.нас}$, используя выходную ВАХ для $U_{зи}=0$.

3. Снять семейство проходных статических характеристик для $U_{си}=0,5\text{ В}; 1\text{ В}; 2\text{ В}; U_{си.нас}; U_{си}>U_{си.нас}$.

Обработка экспериментальных данных

1. Определить крутизну S_{\max} характеристики, снятой для $U_{си.нас}$ в точке $U_{зи}=0$.

2. Определить напряжение отсечки, используя соотношение

$$U_{отс} = I_{с.нас} / S_{\max}$$

3. Определить крутизну и внутреннее сопротивление полевого транзистора при $U_{си} > U_{си.нас}$ и $U_{зи}=0,4U_{отс}$.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) параметры исследованного полевого транзистора;
- 4) графики измеренных ВАХ;
- 5) результаты обработки экспериментальных данных;
- 6) выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы: исследование импульсных свойств биполярного транзистора, определение их зависимостей от режима работы транзистора.

Задание и порядок выполнения работы

1. Начертить схему для исследования транзистора в режиме переключения (рис. 6, а) с указанием полярности включения приборов и источников питания, указать типы измерительных приборов.

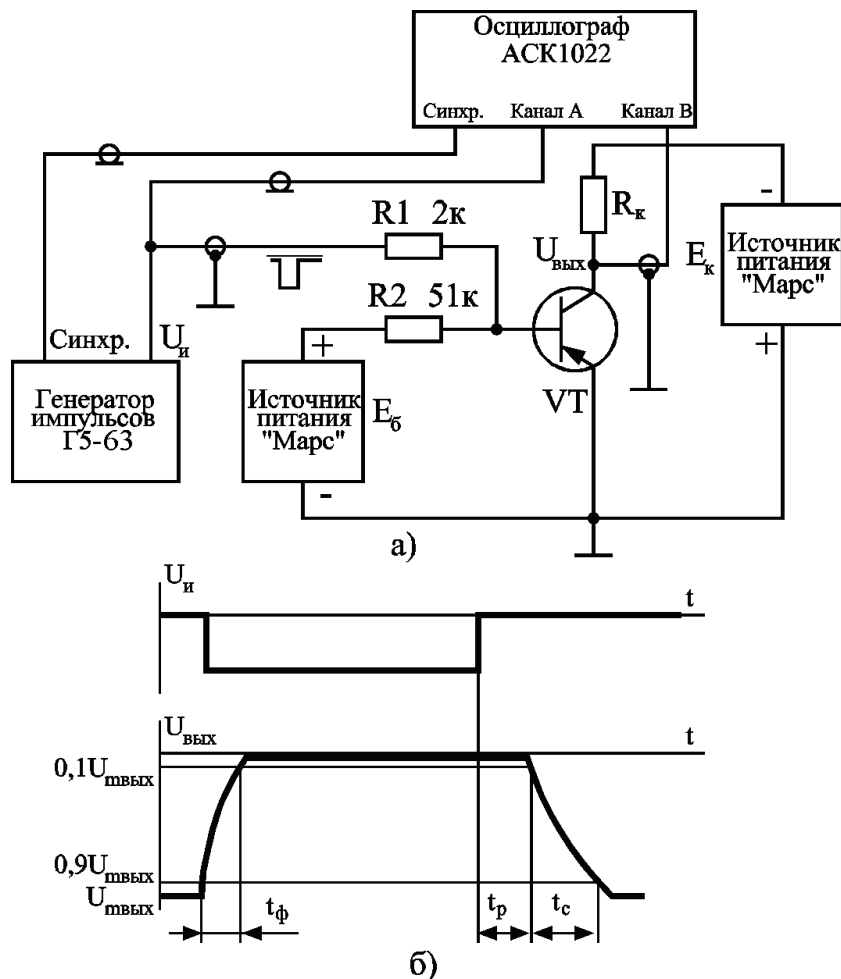


Рис. 6. Схема для исследования биполярного транзистора в режиме переключения (а); временные диаграммы работы транзисторного ключа и правила определения параметров выходного импульса (б)

2. Собрать схему измерений (рис. 6, а). Импульс отрицательной полярности длительностью 10 мкс с выхода генератора импульсов подается на базу транзистора и одновременно на вход канала А осциллографа АСК-1022. Выходной импульс ключа подается на канал В. Импульс синхронизации с генератора подается на вход "Х" осциллографа, работающего в режиме внешней синхронизации. Импульс с выхода генератора на вход исследуемой схемы подается с задержкой, которая подбирается в ходе эксперимента так, чтобы на экране осциллографа достаточно хорошо просматривался передний фронт импульса с выхода исследуемой схемы. Правила измерения времен фронта t_f и спада t_c импульса иллюстрируются рис. 6, б. Результаты эксперимента заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

1. Зависимость $t_f(E_6)$, $t_c(E_6)$, $t_p(E_6)$ при $E_k = -15$ В, $U_{и} = -6$ В, $R_k = 3$ кОм			
E_6 , В	t_f , мкс	t_c , мкс	t_p , мкс
0			
2			
4			
6			
8			
10			
12			
14			
2. Зависимость $t_f(E_k)$, $t_c(E_k)$, $t_p(E_k)$ при $E_6 = 15$ В, $U_{и} = -6$ В, $R_k = 3$ кОм.			
$-E_k$, В	t_f , мкс	t_c , мкс	t_p , мкс
2			
4			
6			
8			
10			
12			
14			
3. Зависимость $t_f(R_k)$, $t_c(R_k)$, $t_p(R_k)$ при $E_k = -15$ В, $E_6 = 12$ В, $U_{и} = -6$ В			
R_k	t_f , мкс	t_c , мкс	t_p , мкс
620 Ом			
3 кОм			
100 кОм			
4. Зависимость $t_f(U_{и})$, $t_c(U_{и})$, $t_p(U_{и})$ при $E_k = -15$ В, $E_6 = 4$ В, $R_k = 3$ кОм.			
$-U_{и}$, В	t_f , мкс	t_c , мкс	t_p , мкс
2			
4			
6			
8			

Для повышения точности измерений следует использовать вспомогательную разметку на экране осциллографа (уровни 0, 10, 90 и 100%). Для этого, перемещая изображение импульса по вертикали, установить вершину выходного импульса на уровень 100 % (переключатель входа должен находиться в положении DC). Установить такую цену деления по вертикали (положение переключателя В/дел.), чтобы начало импульса было ниже уровня 0 %. Медленно вращая регулятор «Var» (соосный с переключателем В/дел.) из крайнего правого положения влево и тем самым плавно меняя масштаб по вертикали, установить начало импульса на уровень 0 %. После этого измерение t_{ϕ} , t_p и t_c можно выполнять по уровням 10 – 90 % на экране осциллографа. Кроме того, для повышения точности измерений, особенно t_{ϕ} , можно использовать режим дополнительной растяжки осциллограммы по времени (выдвинутая ручка перемещения осциллограммы по горизонтали <POZITION>), в этом режиме цена деления по времени уменьшается в 10 раз.

3. Снять зависимости t_{ϕ} , t_p и t_c выходного импульса от величины напряжения смещения на базе $E_{см}$ при напряжении питания $E_{п}=-15$ В, амплитуде входного импульса $U_{и}=-6$ В. Величину $E_{см}$ изменять в пределах от 0 до 14 В с шагом 2 В.

4. Снять зависимости t_{ϕ} , t_p и t_c выходного импульса от величины напряжения коллекторного питания $E_{к}$ при $E_{см}=12$ В, $U_{и}=-6$ В. Величину $E_{к}$ изменять в пределах от 0 до -14 В с шагом 2 В.

5. Снять зависимости t_{ϕ} , t_p и t_c от величины сопротивления $R_{к}$ при $E_{п}=-15$ В, $E_{см}=12$ В, $U_{и}=-6$ В.

6. Снять зависимости t_{ϕ} , t_p и t_c выходного импульса от амплитуды входного импульса $U_{и}$ при $E_{см}=4$ В, $E_{п}=-15$ В, $R_{к}=3$ кОм. Амплитуду импульсов изменять от -2 до -8 В с шагом 2 В.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) результаты измерений;
- 4) выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы: исследование импульсных свойств полевого транзистора, определение их зависимостей от режима работы транзистора, освоение методов измерения параметров импульсных сигналов с помощью осциллографа.

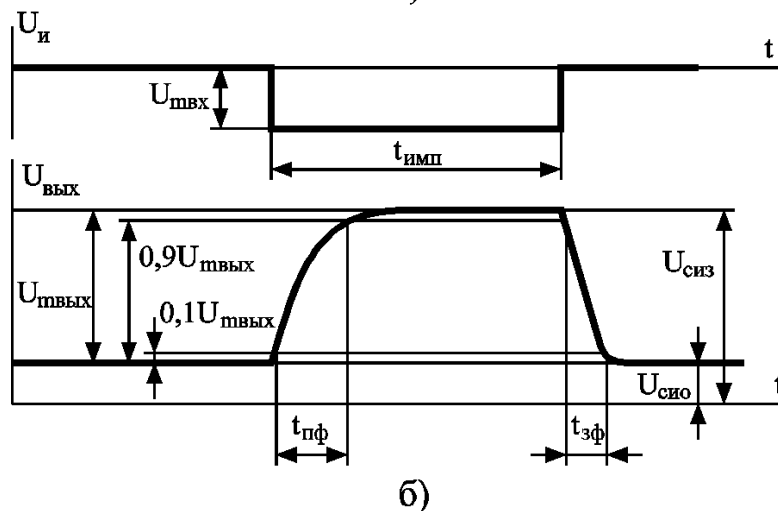
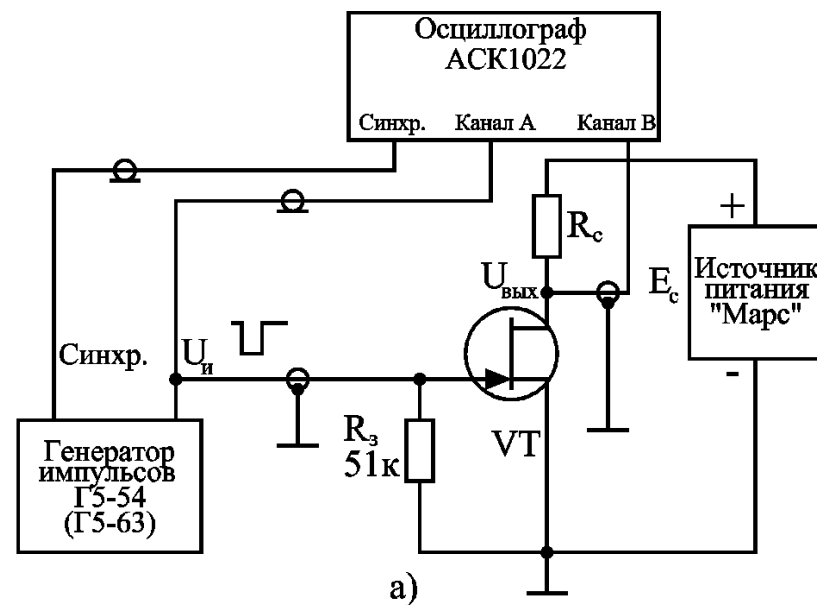


Рис. 7. Схема для исследования полевого транзистора в режиме переключения (а); временные диаграммы работы ключа и правила определения параметров выходного импульса (б)

Задание и порядок выполнения работы

1. Начертить схему для исследования полевого транзистора в режиме переключения (рис. 7, а) с указанием полярности включения

источников питания и измерительных приборов, указать типы измерительных приборов.

2. Собрать схему электронного ключа на полевом транзисторе (рис. 9, а). На вход ключа подать от генератора Г5-63 импульс отрицательной полярности амплитудой не более 6 В.

ВНИМАНИЕ! ВО ИЗБЕЖАНИЕ ПРОБОЯ ТРАНЗИСТОРА перед подключением генератора Г5-63 установить тумблер делителя выходного напряжения в положение 1:10. Используя коаксиальный разветвитель, сигнал с генератора подать на канал А двухканального осциллографа АСК-1022. Для наблюдения выходного сигнала (напряжения сток-исток) использовать канал В осциллографа. Ввести осциллограф в режим внешней синхронизации и подать на его вход "Х" синхроимпульсы с генератора. Для удобства измерения параметров импульса установить задержку между синхроимпульсом и выходным импульсом порядка 1-3 мкс с помощью лимба "Временной сдвиг" генератора. При измерениях использовать «открытые» входы осциллографа (DC), позволяющие оценить постоянные и переменные составляющие исследуемых сигналов. Длительность $t_{\text{имп}}$ импульса генератора устанавливать в зависимости от сопротивления R_c в стоковой цепи полевого транзистора. Его длительность должна обеспечить полное окончание переходного процесса выходного напряжения ключа и удобное измерение переднего и заднего фронтов. Рекомендуется при $R_c' = 620 \text{ Ом}$ и $R_c'' = 3 \text{ кОм}$ установить $t_{\text{имп}} = 3 \text{ мкс}$, а при $R_c''' = 100 \text{ кОм}$ $t_{\text{имп}} = 30 \text{ мкс}$. Установить напряжение питания $E_c = 10 \text{ В}$.

3. Измерить параметры выходного импульса при $R_c' = 620 \text{ Ом}$, $R_c'' = 3 \text{ кОм}$, $R_c''' = 100 \text{ кОм}$. Перед измерениями подобрать амплитуду входного импульса $U_{\text{мвх}}$, обеспечивающую надёжное закрывание транзистора. Во избежание пробоя транзистора величина $U_{\text{мвх}}$ не должна превосходить 6 В. Плавно увеличивая $U_{\text{мвх}}$ от 0 до 6 В, следить за изменениями выходного напряжения. Как только $U_{\text{мвых}}$ перестанет изменяться, прекратить увеличение $U_{\text{мвх}}$. При измерениях и при их обработке следует учесть, что нагрузкой ключа будет входное сопротивление осциллографа совместно с отрезком коаксиального кабеля, подсоединённого ко входу осциллографа. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений. Параметры выходного импульса ($U_{\text{си0}}$, $U_{\text{сиз}}$, $U_{\text{мвых}}$, $t_{\text{пф}}$, $t_{\text{зф}}$, $t_{\text{имп}}$) измерить непосредственно по осциллограммам на экране осциллографа.

Обработка экспериментальных данных

По результатам измерений оценить ёмкость нагрузки $C_{\text{ЭКВ}}$, величину эквивалентного генератора тока $I_{\text{ЭКВ}}$, представляющего собой полевой транзистор в открытом состоянии, внутреннее сопротивление транзистора $r_{\text{обр}}$ в закрытом состоянии.

Основные расчётные соотношения

1. Из эквивалентной схемы ключа при "разрыве", т.е. в начале действия запирающего импульса (рис. 8, а) следует, что напряжение на стоке транзистора может быть выражено следующим образом:

$$U_c = E_c(1 - \exp(-t/t_{\text{ЭКВ}})),$$

где $t_{\text{ЭКВ}} = R_c C_{\text{ЭКВ}}$

Длительность переднего фронта $t_{\text{пф}} = 2,3t_{\text{ЭКВ}}$.

Отсюда, измерив $t_{\text{пф}}$ и зная R_c , находим ёмкость нагрузки ключа $C_{\text{ЭКВ}}$:

$$C_{\text{ЭКВ}} = t_{\text{пф}} / 2,3R_c$$

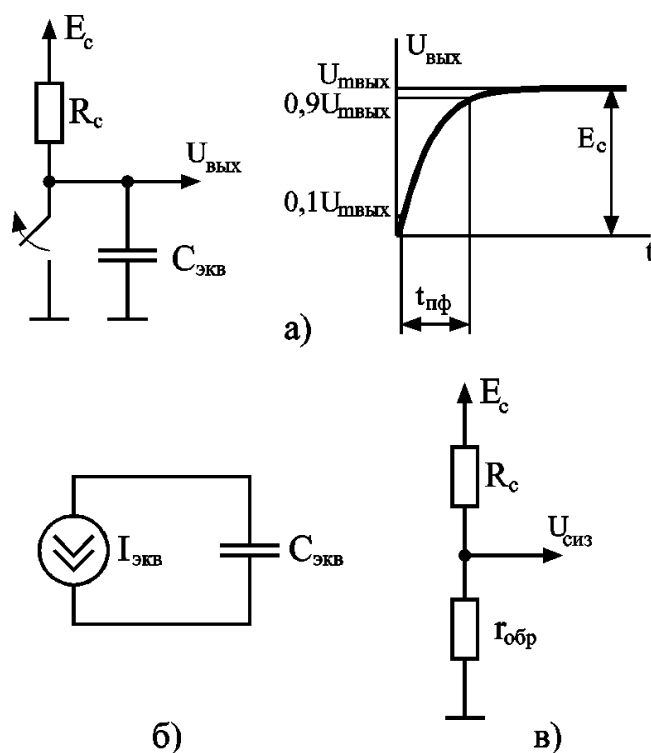


Рис. 8. Эквивалентная схема и переходной процесс при размыкании ключа (а); эквивалентная схема ключа во время замыкания (б) и при разрыве в стационарном состоянии (в)

2. Из анализа эквивалентной схемы при "замыкании" ключа, т.е. по окончании действия запирающего импульса (рис. 8, б) можно получить выражение для выходного напряжения ключа при замыкании:

$$U_c(t) = U_{\text{мвых}} - \frac{1}{C_{\text{экв}}} \int_0^t I_{\text{экв}} dt$$

По окончании переходного процесса замыкания ключа $t=0$, т. е.

$$0 = U_{\text{мвых}} - \frac{I_{\text{экв}} t_{\text{зф}}}{C_{\text{экв}}}$$

Тогда $I_{\text{экв}} = \frac{C_{\text{экв}} U_{\text{мвых}}}{t_{\text{зф}}}.$

3. Из эквивалентной схемы ключа при разрыве в стационарном состоянии (рис. 8, в) следует:

$$U_{\text{сиз}} = \frac{E_c r_{\text{обр}}}{R_c + r_{\text{обр}}}$$

Измерив $U_{\text{сиз}}$ и E_c и зная R_c , находим

$$r_{\text{обр}} = \frac{R_c}{E_c / U_{\text{сиз}} - 1}$$

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) результаты измерений;
- 3) результаты обработки экспериментальных данных;
- 4) выводы по результатам работы.

Приложение 1

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Д7Б, Д7Ж

Диоды выпрямительные германиевые сплавные. Выпускаются в металло-стеклянном корпусе с гибкими выводами.

Среднее прямое напряжение при $I_{пр}=300$ мА - не более 0,5 В.

Средний обратный ток - не более 100 мкА.

Предельный средний прямой ток – 300 мА.

Предельное постоянное обратное напряжение:

Д7Б – 100 В,

Д7Ж – 400 В.

Д237А, Д237Б

Диоды выпрямительные кремниевые диффузионные. Выпускаются в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами.

Среднее прямое напряжение при $I_{пр}=300$ мА - не более 1 В.

Средний обратный ток - не более 50 мкА.

Предельный средний прямой ток – 300 мА.

Предельное импульсное обратное напряжение:

Д237А – 200 В,

Д237Б – 400 В.

Д219А, Д220, Д220А, Д220Б

Диоды универсальные кремниевые сплавные. Выпускаются в металло-стеклянном корпусе с гибкими выводами.

Постоянное прямое напряжение при $I_{пр}=50$ мА, не более:

Д219А – 1 В,

Д220, Д220А, Д220Б – 1,5 В.

Постоянный обратный ток - не более 1 мкА.

Общая ёмкость диода при $U_{обр}=5$ В – не более 15 пФ.

Предельный постоянный (средний)/импульсный прямой ток – 50 мА/500 мА.

Предельное постоянное (импульсное) обратное напряжение:

Д219, Д220А – 70 В,

Д220 – 50 В,

Д220А, Б – 100 В.

Д310

Диод универсальный германиевый диффузионный. Выпускается в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами.

Постоянное прямое напряжение при $I_{пр}=500$ мА - не более 0,5 В.

Постоянный обратный ток - не более 20 мкА

Общая ёмкость диода при $U_{обр}=20$ В – не более 15 пФ
 Предельный постоянный /импульсный прямой ток – 500 мА/800 мА
 Предельное постоянное или импульсное обратное напряжение – 20 В

Д311, Д311А, Д311Б

Диоды универсальные германиевые мезадиффузионные. Выпускаются в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами.

Постоянное прямое напряжение при $I_{пр}=10$ мА, не более:

Д311, Д311А – 0,4 В

Д311Б – 1,5 В

Постоянный обратный ток - не более 100 мкА

Общая ёмкость диода при $U_{обр}=5$ В, не более:

Д311 – 1,5 пФ,

Д311А – 3 пФ,

Д311Б – 2 пФ.

Предельный постоянный (средний) прямой ток:

Д311 – 40 мА,

Д311А – 80 мА,

Д311Б – 20 мА.

Предельное постоянное или импульсное обратное напряжение – 30 В.

КД105В

Диод выпрямительный кремниевый диффузионный. Выпускается в пластмассовом корпусе с гибкими выводами.

Среднее прямое напряжение при $I_{пр}=300$ мА - не более 1 В.

Средний обратный ток - не более 100 мкА.

Предельный средний прямой ток – 300 мА.

Предельное импульсное обратное напряжение – 600 В.

Примечания.

1. Указанные параметры даны для температуры 298 – 343 К.
2. Прямое напряжение указывается для предельного прямого тока, обратный ток – для предельного обратного напряжения (если не указано иного).

Приложение 2

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ СТАБИЛИТРОНОВ

Д814А, Д814Б

Стабилитроны общего назначения кремниевые сплавные. Выпускаются в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами.

Номинальное напряжение стабилизации при $I_{пр}=5$ мА:

Д814А – 8 В,

Д814Б – 9 В.

Разброс напряжения стабилизации при $I_{пр}=5$ мА:

Д814А – от 7,0 до 8,5 В,

Д814Б – от 8,0 до 9,5 В.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации при температуре от 303 до 398 К не более:

Д814А – 0,07 %/К,

Д814Б – 0,08 %/К.

Дифференциальное сопротивление при $I_{пр}=5$ мА, не более:

Д814А – 6 Ом,

Д814Б – 10 Ом.

Постоянное прямое напряжение при $I_{пр}=50$ мА - не более 1 В.

Минимальный ток стабилизации – 3 мА.

Максимальный ток стабилизации:

Д814А – 40 мА,

Д814Б – 36 мА.

Предельный постоянный прямой ток – 100 мА.

КС133А, КС139А, КС147А, КС156А

Стабилитроны общего назначения кремниевые сплавные. Выпускаются в металлотеклянном корпусе с гибкими выводами.

Номинальное напряжение стабилизации при $I_{пр}=10$ мА:

КС133А – 3,3 В,

КС139А – 3,9 В,

КС147А – 4,7 В,

КС156А – 5,6 В.

Разброс напряжения стабилизации при $I_{пр}=10$ мА:

КС133А – от 3,0 до 4,1 В,

КС139А – от 3,5 до 4,8 В,

КС147А – от 4,0 до 5,6 В,

КС156А – от 4,7 до 6,6 В.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации при температуре от 303 до 398 К :

КС133А – не хуже -0,11 %/К,

КС139А – не хуже -0,10 %/К,

КС147А – от -0,09 до 0,01 %/К,

КС156А – $\pm 0,05$ %/К.

Дифференциальное сопротивление при $I_{пр}=3$ мА, не более:

КС133А, КС139А – 180 Ом,

КС147А, КС156А – 160 Ом.

Дифференциальное сопротивление при $I_{пр}=10$ мА, не более:

КС133А – 65 Ом,

КС139А – 60 Ом,

КС147А – 56 Ом,

КС156А – 46 Ом.

Постоянное прямое напряжение при $I_{пр}=50$ мА - не более 1 В.

Минимальный ток стабилизации – 3 мА.

Максимальный ток стабилизации:

КС133А – 81 мА,

КС139А – 70 мА,

КС147А – 58 мА,
КС156А – 55 мА.

Примечание. Номинальные напряжения стабилизации и их разброс, дифференциальные сопротивления даны для температуры 298 К.

Приложение 3

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

МП26, МП26А

Транзисторы германиевые сплавные р-п-р универсальные низкочастотные маломощные. Предназначены для усиления и переключения сигналов низкой частоты. Выпускаются в металlostеклянном корпусе с гибкими выводами.

Коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала:

МП26 – 10 – 25,

МП26А – 20 – 50.

Обратный ток коллектора – не более 75 мкА.

Предельная частота коэффициента передачи тока при $U_{кб}=35$ В – не менее 250 кГц.

Емкость коллекторного перехода при $U_{кб}=35$ В – не более 50 пФ.

Предельное постоянное напряжение коллектор-эмиттер – 70 В.

Предельное постоянное напряжение эмиттер-база – 70 В.

Предельный постоянный ток коллектора – 70 мА.

Предельная постоянная рассеиваемая мощность – 200 мВт.

МП40, МП40А, МП41, МП41А

Транзисторы германиевые сплавные р-п-р усилительные низкочастотные маломощные. Предназначены для усиления сигналов низкой частоты. Выпускаются в металlostеклянном корпусе с гибкими выводами.

Коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала:

МП40, МП40А – 20 – 40,

МП41 – 30 -60,

МП41А – 50 – 100.

Обратный ток коллектора при $U_{кб}=5$ В – не более 15 мкА.

Предельная частота коэффициента передачи тока при $U_{кб}=5$ В – не менее 1 МГц.

Емкость коллекторного перехода при $U_{кб}=5$ В – не более 60 пФ.

Предельное постоянное напряжение коллектор-эмиттер:

МП40, МП41, МП41А – 15 В,

МП40А – 30 В.

Предельное постоянное напряжение эмиттер-база – 10 В.

Предельный постоянный ток коллектора – 30 мА.

Предельная постоянная рассеиваемая мощность – 150 мВт.

МП42, МП42А, МП42Б

Транзисторы германиевые сплавные р-п-р переключательные низкочастотные маломощные. Предназначены для применения в схемах переключения. Выпускаются в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами.

Статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ:

МП42 – 20 – 35,

МП42А – 30 -50,

МП42Б – 45 – 100.

Обратный ток коллектора при $U_{кб}=15$ В – не более 25 мкА.

Предельная частота коэффициента передачи тока при $U_{кб}=5$ В – не менее 1 МГц.

Емкость коллекторного перехода при $U_{кб}=5$ В – не более 60 пФ.

Предельное постоянное напряжение коллектор-эмиттер – 15 В.

Предельное постоянное напряжение эмиттер-база – 10 В.

Предельный импульсный ток коллектора – 200 мА.

Предельная постоянная рассеиваемая мощность – 200 мВт.

КТ203Б, КТ 203БМ

Транзисторы кремниевые эпитаксиально-планарные р-п-р усилительные маломощные. Предназначены для применения в усилителях и импульсных устройствах. Выпускаются в металлостеклянном (КТ203Б) и пластмассовом (КТ203БМ) корпусе с гибкими выводами.

Коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала – 30 – 150.

Обратный ток коллектора при $U_{кб}=5$ В – не более 1 мкА.

Предельная частота коэффициента передачи тока в схеме ОБ при $U_{кб}=5$ В – не менее 5 МГц.

Емкость коллекторного перехода при $U_{кб}=5$ В – не более 10 пФ.

Предельное постоянное напряжение коллектор-эмиттер – 30 В.

Предельное постоянное напряжение эмиттер-база – 15 В.

Предельный постоянный ток коллектора – 10 мА.

Предельная постоянная рассеиваемая мощность – 150 мВт.

КТ501М

Транзисторы кремниевые эпитаксиально-планарные р-п-р усилительные низкочастотные маломощные. Предназначены для применения в усилителях и импульсных устройствах. Выпускаются в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами.

Статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ – 40 – 120.

Обратный ток коллектора при $U_{кб}=5$ В – не более 1 мкА.

Предельная частота коэффициента передачи тока в схеме ОБ при $U_{кб}=5$ В – не менее 5 МГц.

Емкость коллекторного перехода при $U_{кб}=5$ В – не более 50 пФ.

Предельное постоянное напряжение коллектор-эмиттер – 60 В.

Предельное постоянное напряжение эмиттер-база – 20 В.

Предельный постоянный ток коллектора – 300 мА.

Предельная постоянная рассеиваемая мощность – 350 мВт.

Примечание. Указанные параметры даны для температуры 298 К.

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

КП302АМ

Транзисторы кремниевые планарные полевые с затвором на основе р-п-перехода с каналом n-типа. Предназначены для применения в широкополосных усилителях и переключающих устройствах. Выпускаются в пластмассовом корпусе с гибкими выводами.

Крутизна характеристики при $U_{си}=7$ В, $U_{зи}=0$ В - не менее 5 мА/В.

Начальный ток стока при $U_{зи}=0$ В - 3 – 24 мА.

Напряжение отсечки при $U_{си}=7$ В – не более 5 В.

Входная ёмкость при $U_{си}=10$ В, $I_c=3$ мА - не более 20 пФ.

Проходная ёмкость при $U_{си}=10$ В, $I_c=3$ мА - не более 8 пФ.

Предельное напряжение затвор-исток – 10 В.

Предельное напряжение сток-исток – 20 В.

Предельный постоянный ток стока – 24 мА.

Предельная постоянная рассеиваемая мощность – 300 мВт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсбурд Ф. И., Панаев Г. А., Савельев Б. Н. - Электронные приборы и усилители. Изд. 4-е – М.: КомКнига, 2007 г. – 474 с.
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учебное пособие. - 7-е изд.– Ростов-н/Д.: Изд-во «Феникс», 2007 г. – 703 с.: ил.
3. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы : Учеб. пособие для вузов / Пасынков В. В., Чиркин Л. К. - 8-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2006 г. - 478 с. : ил.
4. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006 г. - 521 с.: ил.
5. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций.- 6-е изд. – СПб.: КОРОНА принт, 2009 г.- 416 с., ил.
6. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004 г. - 488 с.: ил.
7. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника: Учебное пособие для вузов/ Ю.А.Бобровский, С.А.Корнилов, И.А.Кратиров и др.; Под ред. проф. Н.Д.Федорова. – М.: Радио и связь, 2002 г. – 559 с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Описание лабораторной установки.....	2
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Исследование характеристик и параметров полупроводниковых диодов.....	3
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Исследование биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла.....	6
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Исследование полевого транзистора.....	8
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Исследование биполярного транзистора в режиме переключения.....	10
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Исследование полевого транзистора в режиме переключения.....	13
Приложения 1-4	17