

ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ

Арефьев А. С., Ситникова С. В.

**Лабораторный практикум по дисциплине
«Электроника»**

Часть 2

Учебно–методическое пособие

Самара
2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»
Кафедра электродинамики и антенн

Арефьев А. С., Ситникова С. В.

**Лабораторный практикум по дисциплине
«Электроника»**

Часть 2

Учебно–методическое пособие

Самара
2016

УДК 621.38

ББК 32.852

А 80

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол № 7 от 25.02.2016.

А 80 Арёфьев, А. С., Ситникова, С. В.
Лабораторный практикум по дисциплине «Электроника». Часть 2: учебно-методическое пособие/А. С. Арёфьев., С. В. Ситникова – Самара: ПГУТИ, 2016. – 76 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для проведения лабораторных занятий у студентов, обучающихся по направлениям (специальностям) и профилям подготовки бакалавров и специалистов:

09.03.01 – Программное обеспечение средств ВТ и АС;

09.03.04 – Разработка программно-информационных систем;

10.03.01 – Безопасность телекоммуникационных систем;

10.05.02 – Информационная безопасность телекоммуникационных систем;

11.03.01 – Радиотехника;

11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи;

11.05.01 – Радиоэлектронные системы и комплексы;

12.03.03 – Оптические информационные технологии;

27.03.04 – Управление и информатика в технических системах;

27.03.05 – Управление инновациями.

К дисциплинам цикла «Электроника» относятся следующие дисциплины:

– «Электротехника и электроника» (27.03.04, 27.03.05, 12.03.03);

– «Электроника» (11.03.02, 11.03.01, 09.03.04, 11.05.01);

– «Электроника и схемотехника» (10.05.02; 10.03.01);

– «Электротехника, электроника и схемотехника» (09.03.01).

©, Арёфьев А. С., Ситникова С. В., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исследование вольт–амперных характеристик полупроводниковых диодов	5
2. Исследование статических характеристик полевых транзисторов	16
3. Изучение вопросов конструирования интегральных микросхем	37
4. Реализация основных логических операций с помощью набора логических элементов «ЗИ–НЕ»	44
5. Исследование интегральных биполярных транзисторов в диодном включении	57
Приложение. Электрические схемы интегральных микросхем	71

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ–АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

1. Цель работы

Изучить основные физические процессы, происходящие в полупроводниковых диодах. Экспериментально исследовать характеристики диодов.

2. Литература

1. Электроника/ *А. И. Бреус, К. И. Савченко, Ю. М. Сподобаев*; Под ред. *А. И. Бреуса*. – М.: Радио и связь, 2001.
2. Электронные приборы/ *В. Н. Дулин, Н. А. Аваев, В. П. Дёмин* и др.; Под ред. *Г. Г. Шишкина*. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
3. *Пасынков В. В., Чиркин Л. К.* Полупроводниковые приборы. – СПб.: Издательство «Лань», 2003.
4. *Петров К. С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – СПб.: Питер, 2003.
5. *Степаненко И. П.* Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000.

3. Контрольные вопросы

1. Какие подвижные и неподвижные носители заряда присутствуют в полупроводниковом кристалле? ([1], с. 29, 34; [2], с. 12–13, 15–16; [3], с. 9; [4], с. 67–69; [5], с. 30–33.)
2. Что понимается под дрейфом подвижных носителей заряда в полупроводнике? ([1], с. 35; [2], с. 24–25; [3], с. 20–21; [4], с. 84–87; [5], с. 63–64.)
3. Что понимается под диффузией подвижных носителей заряда в полупроводнике? ([1], с. 35; [2], с. 25–26; [3], с. 21–23; [4], с. 85, 87–88; [5], с. 63–64, 66–68.)
4. Что понимается под полупроводниками i -типа, n -типа, p -типа? ([1], с. 29, 34; [2], с. 13, 15–16; [3], с. 13, 15–16; [4], с. 67–69; [5], с. 30–33.)
5. Сформулировать определение энергии Ферми. ([1], с. 30–32; [2], с. 18; [3], с. 11; [4], с. 71; [5], с. 36.)
6. Как изменится энергия Ферми при увеличении концентрации донорной (акцепторной) примеси в полупроводнике? ([2], с. 22–24; [4], с. 72–75; [5], с. 39.)

7. Изобразить диаграммы энергетических уровней электронов в полупроводниках i -типа, n -типа, p -типа. ([1], с. 29–30, 34–35; [2], с. 13, 15–16; [4], с. 69–70; [5], с. 35.)

8. Что представляет собой p - n -переход? Каковы виды p - n -переходов? ([1], с. 36; [2], с. 52–54; [3], с. 41, 50; [4], с. 93, 97; [5], с. 73–75.)

9. Объяснить образование обеднённого слоя, внутреннего электрического поля и потенциального барьера в p - n -переходе. ([1], с. 36–38; [2], с. 54–58; [3], с. 41–42, 54; [4], с. 94–97; [5], с. 75–77.)

10. Изобразить координатные зависимости энергий уровней в равновесном p - n -переходе (в p - n -переходе, к которому не приложено внешнее напряжение). ([1], с. 38; [2], с. 55–56; [3], с. 42–43; [4], с. 94–95; [5], с. 76–77.)

11. Какая полярность внешнего напряжения соответствует прямому и обратному включению p - n -перехода? ([1], с. 39–40; [2], с. 60; [3], с. 42, 44–45; [4], с. 97; [5], с. 80–81.)

12. Как изменится толщина обеднённого слоя в p - n -переходе при увеличении прямого (обратного) напряжения? ([1], с. 39–40; [2], с. 60, 62; [3], с. 44–45; [4], с. 96–98; [5], с. 81.)

13. Как изменится высота потенциального барьера в p - n -переходе при увеличении прямого (обратного) напряжения? ([1], с. 39–40; [2], с. 60; [3], с. 44; [4], с. 97; [5], с. 80–81.)

14. Какой ток (диффузионный или дрейфовый) преобладает при прямом и обратном включении p - n -перехода? ([1], с. 39–40; [2], с. 60–62.)

15. В чём заключаются явления инжекции и экстракции носителей заряда через p - n -переход? ([1], с. 40–41; [2], с. 60–62; [3], с. 44.)

16. Почему при одинаковых по модулю прямом и обратном напряжениях, приложенных к p - n -переходу, сила прямого тока намного превышает силу обратного тока? ([1], с. 40; [3], с. 44; [4], с. 97–98.)

17. В чём заключается явление теплового пробоя p - n -перехода? Какие факторы влияют на величину напряжения теплового пробоя? ([1], с. 43–44; [2], с. 74; [3], с. 113–119; [4], с. 182–186; [5], с. 88.)

18. В чём заключается явление лавинного пробоя p - n -перехода? Какие факторы влияют на величину напряжения лавинного пробоя? ([1], с. 44; [2], с. 72–73; [3], с. 103–109; [4], с. 181–182, 185; [5], с. 87–88.)

19. Изобразить вольт–амперную характеристику p - n -перехода. ([1], с. 41–42, 44; [2], с. 65, 73; [3], с. 78–80; [4], с. 175, 185; [5], с. 84.)

20. Изобразить схемные обозначения выпрямительного диода и стабилитрона. ([1], с. 142; [3], с. 463; [4], с. 190, 200.)

21. Изобразить простейшую схему выпрямления переменного напряжения на основе выпрямительного диода. Объяснить принцип её работы. ([2], с. 110–112; [4], с. 190–193.)

22. Изобразить простейшую схему стабилизации напряжения на основе стабилитрона. Объяснить принцип её работы. ([1], с. 44–45; [2], с. 123–124; [4], с. 199–200.)

23. Как классифицируются полупроводниковые диоды по своему конструктивному исполнению? ([2], с. 98–102; [3], с. 47–50.)

24. Сформулировать определение дифференциального сопротивления диода. ([1], с. 48; [2], с. 67; [4], с. 186–187; [5], с. 86.)

4. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- лабораторный стенд;
- блок питания;
- исследуемые диоды:
 - кремниевый выпрямительный диод (Д 220, Д 220 А, Д 223),
 - германиевый выпрямительный диод (Д9Б, Д9Г, Д9Д, Д9Е),
 - кремниевый стабилитрон (Д 814 АПП, Д 814 Д, КС 133 А);
- резистор с сопротивлением 1 кОм;
- монтажные проводники или перемычки (2 шт.).

Электрическая схема лабораторной установки изображена на рисунке 1.1. Схема содержит источник постоянного напряжения $E2$, входящий в состав блока питания. Блок питания соединён разъёмом с лабораторным стендом. Тумблер включения расположен сбоку на корпусе блока питания. Тумблер включения источника $E2$ и ручка плавной регулировки его напряжения расположены на панели блока питания. На панели блока питания размещены также: лампочка «Сеть» (индикатор включения блока питания), зелёная индикаторная лампочка включения источника напряжения $E2$ и красная индикаторная лампочка перегрузки источника $E2$.

Гнёзда $X13$ и $X14$, $X19$ и $X20$ (рис. 1.1) соединяются монтажными проводниками или перемычками. К гнёздам $X16$ и $X17$ подключается резистор. Исследуемый диод подключается к гнёздам $X10$ и $X11$ в прямом или обратном направлении с учётом полярности источника напряжения $E2$, указанной на рисунке 1.1 и на панели лабораторного стенда. Полярность напряжения, соответствующая прямому включению диодов, указана в таблице 1.1.

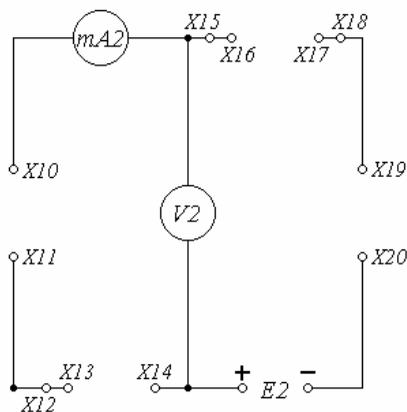
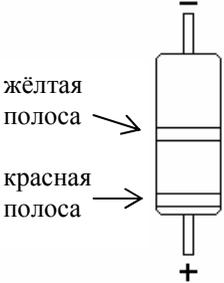
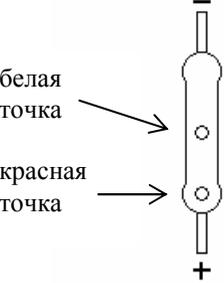
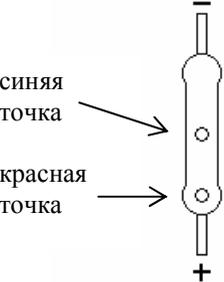
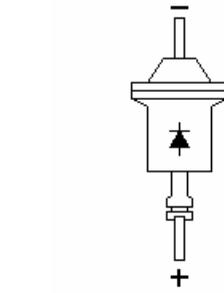


Рис. 1.1. Электрическая схема лабораторной установки.

Таблица 1.1.

Буквенное обозначение диода	Тип диода	Особенности конструкции диода	Полярность напряжения при прямом включении диода
Д 220, Д 220 А	Диод кремниевый, универсальный.	Диод микросплавной в металлостеклянном корпусе чёрного цвета.	
Д 223	Диод кремниевый, выпрямительный.		
Д 9 Б	Диод германиевый, выпрямительный.	Диод точечный в стеклянном корпусе чёрного цвета.	<p>розовая точка</p> <p>красная точка</p>

Буквенное обозначение диода	Тип диода	Особенности конструкции диода	Полярность напряжения при прямом включении диода
Д 9 Г	Диод германиевый, выпрямительный.	Диод точечный в стеклянном корпусе.	 <p>жёлтая полоса →</p> <p>красная полоса →</p>
Д 9 Д	Диод германиевый, выпрямительный.	Диод точечный в стеклянном корпусе чёрного цвета.	 <p>белая точка →</p> <p>красная точка →</p>
Д 9 Е	Диод германиевый, выпрямительный.	Диод точечный в стеклянном корпусе чёрного цвета.	 <p>синяя точка →</p> <p>красная точка →</p>
Д814АПП, Д 814 Д, КС 133 А	Стабилитрон кремниевый.	Стабилитрон сплавной в металлостеклянном корпусе белого цвета.	

Абсолютное значение напряжения, прикладываемого к диоду, измеряется вольтметром $V2$, расположенным на панели блока питания. Абсолютное значение силы тока, протекающего через диод, измеряется миллиамперметром $mA2$, расположенным на панели лабораторного стенда. Вольтметр $V2$ и миллиамперметр $mA2$ имеют переключатели пределов измерения.

5. Лабораторное задание и порядок выполнения работы

Внимание! При выполнении работы необходимо соблюдать следующие правила.

- *Не перемещать лабораторную установку после включения блока питания, во избежание нарушения контакта между блоком питания и лабораторным стендом.*
- *Сила тока в диоде не должна превышать 10 мА.*
- *Не допускать зашкаливания стрелочных индикаторов вольтметра $V2$ и миллиамперметра $mA2$.*
- *При загорании красной индикаторной лампочки перегрузки источника $E2$ необходимо уменьшить его напряжение ручкой плавной регулировки напряжения.*
- *Перед выполнением перечисленных ниже операций необходимо вывести ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$ в крайнее левое положение:*
 - *включение или выключение источника напряжения $E2$;*
 - *установка или замена диода на лабораторном стенде;*
 - *подключение резистора, монтажных проводников или перемычек.*

5.1. Исследование вольт–амперных характеристик диодов

Вольт–амперная характеристика диода представляет собой зависимость силы тока в диоде I от приложенного к диоду напряжения U . Значения силы тока I откладываются по вертикальной оси, значения напряжения U – по горизонтальной оси. При этом значения прямых силы тока и напряжения $I_{пр}$, $U_{пр}$ считаются положительными, значения обратных силы тока и напряжения $I_{об}$, $U_{об}$ считаются отрицательными.

С помощью двух монтажных проводников или перемычек соединить гнезда $X13$ и $X14$, $X19$ и $X20$ (рис. 1.1) на панели лабораторного стенда. Подключить резистор с сопротивлением 1 кОм к гнездам $X16$ и $X17$. Подключить кремниевый выпрямительный диод к гнездам $X10$ и $X11$ так, чтобы полярность источника напряжения $E2$, указанная на рисунке 1.1 и на панели лабораторного стенда, соответствовала прямому

включению диода. Полярность напряжения, соответствующая прямому включению диода, указана в таблице 1.1.

Вывести в крайнее левое положение ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, расположенную на панели блока питания. Включить блок питания тумблером, расположенным сбоку на корпусе блока питания, после чего должна загореться индикаторная лампочка «Сеть» на панели блока питания. Тумблер включения источника напряжения $E2$, расположенный на панели блока питания, перевести в положение «Вкл», после чего должна загореться зелёная индикаторная лампочка включения на панели блока питания.

Тумблер переключения пределов измерения вольтметра $V2$, расположенный на панели блока питания, установить в положение «1 В». Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA2$, расположенный на панели лабораторного стенда, установить в положение «10 мА».

Произвести исследование прямой ветви вольт–амперной характеристики кремниевого выпрямительного диода $I_{пр}(U_{пр})$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения силы прямого тока в диоде $I_{пр}= 0$ мА; 0,5 мА; 1 мА; 3 мА; 6 мА; 10 мА, регистрируя их на миллиамперметре $mA2$. С помощью вольтметра $V2$ определить соответствующие значения прямого напряжения $U_{пр}$. Результаты измерений занести в таблицу 1.2.

Аналогичным образом произвести исследование прямых ветвей вольт–амперных характеристик $I_{пр}(U_{пр})$ германиевого выпрямительного диода и кремниевого стабилитрона, подключая эти диоды к гнездам $X10$ и $X11$ на панели лабораторного стенда. Полярность напряжения, соответствующая прямому включению диодов, указана в таблице 1.1. Результаты измерений занести в таблицы 1.3 и 1.4.

Произвести исследование обратной ветви вольт–амперной характеристики стабилитрона $I_{об}(U_{об})$, подключив его к гнездам $X10$ и $X11$ в обратном направлении. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения силы обратного тока в диоде: $I_{об}= 0$ мА; –0,5 мА; –1 мА; –3 мА; –6 мА; –10 мА. С помощью вольтметра $V2$ определить соответствующие значения обратного напряжения $U_{об}$, считая, что $U_{об}<0$. Абсолютные значения силы обратного тока $I_{об}$ также измеряются с помощью миллиамперметра $mA2$. Результаты измерений занести в таблицу 1.5.

По данным таблиц 1.2, 1.3 построить графики зависимостей $I_{пр}(U_{пр})$ для кремниевого и германиевого выпрямительных диодов, располагая ось $I_{пр}$ по вертикали. По данным таблиц 1.4, 1.5 построить гра-

фик зависимости $I(U)$ для стабилитрона, откладывая на положительных полуосях I и U значения прямых силы тока и напряжения $I_{пр}$ и $U_{пр}$, на отрицательных полуосях – значения обратных силы тока и напряжения $I_{об}$ и $U_{об}$.

Таблица 1.2.

Тип диода	Кремниевый выпрямительный				
$I_{пр}$, мА	0	0,5	...	6	10
$U_{пр}$, В					
R , Ом	—				
r , Ом	—				—

Таблица 1.3.

Тип диода	Германиевый выпрямительный				
$I_{пр}$, мА	0	0,5	...	6	10
$U_{пр}$, В					
R , Ом	—				
r , Ом	—				—

Таблица 1.4.

Тип диода	Стабилитрон				
$I_{пр}$, мА	0	0,5	...	6	10
$U_{пр}$, В					
R , Ом	—				
r , Ом	—				—

Таблица 1.5.

Тип диода	Стабилитрон				
$I_{об}$, мА	-10	...	-1	-0,5	0
$U_{об}$, В					
R , Ом					—
r , Ом				—	—

5.2. Расчёт сопротивлений диодов

Используя данные таблиц 1.2–1.5, рассчитать статические сопротивления R кремниевого и германиевого выпрямительных диодов и стабилитрона. Параметр R определяется следующим образом:

$$R = \frac{U}{I},$$

где U и I – значения прямых или обратных напряжения и силы тока, соответствующие некоторой точке на вольт–амперной характеристике диода. Результаты расчётов занести в таблицы 1.2–1.5.

По данным таблиц 1.2–1.5 построить графики зависимостей статического сопротивления от напряжения $R(U)$ для кремниевого и германиевого выпрямительных диодов и стабилитрона.

На прямой ветви вольт–амперной характеристики кремниевого выпрямительного диода выбрать точку A_1 с ординатой $I_{\text{пр}} = I'_{\text{пр}} = 0,5$ мА; 1 мА; 3 мА; 6 мА и точку B_1 с ординатой $I_{\text{пр}} = I''_{\text{пр}} > I'_{\text{пр}}$ (рис. 1.2). Например, $I'_{\text{пр}} = 0,5$ мА, $I''_{\text{пр}} = 1$ мА; $I'_{\text{пр}} = 1$ мА, $I''_{\text{пр}} = 3$ мА; ... ; $I'_{\text{пр}} = 6$ мА, $I''_{\text{пр}} = 10$ мА. С помощью таблицы 1.2 определить значения абсцисс $U'_{\text{пр}}$ и $U''_{\text{пр}}$ точек A_1 и B_1 . Вычислить дифференциальное сопротивление r кремниевого выпрямительного диода в точке $U_{\text{пр}} = U'_{\text{пр}}$ по формуле

$$r(U'_{\text{пр}}) = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}} = \frac{U''_{\text{пр}} - U'_{\text{пр}}}{I''_{\text{пр}} - I'_{\text{пр}}}.$$

Результаты расчётов занести в таблицу 1.2.

Аналогичным образом вычислить дифференциальные сопротивления r для прямых ветвей вольт–амперных характеристик германиевого выпрямительного диода и стабилитрона в точках $U_{\text{пр}} = U'_{\text{пр}}$. Результаты расчётов занести в таблицы 1.3, 1.4.

На обратной ветви вольт–амперной характеристики стабилитрона выбрать точку A_2 с ординатой $I_{\text{об}} = I'_{\text{об}} = -10$ мА; -6 мА; -3 мА; -1 мА и точку B_2 с ординатой $I_{\text{об}} = I''_{\text{об}} > I'_{\text{об}}$ (рис. 1.2). Например, $I'_{\text{об}} = -10$ мА, $I''_{\text{об}} = -6$ мА; $I'_{\text{об}} = -6$ мА, $I''_{\text{об}} = -3$ мА; ... ; $I'_{\text{об}} = -1$ мА, $I''_{\text{об}} = -0,5$ мА. С помощью таблицы 1.5 определить значения абсцисс $U'_{\text{об}}$ и $U''_{\text{об}}$ точек A_2 и B_2 . Вычислить дифференциальное сопротивление r стабилитрона в точке $U_{\text{об}} = U'_{\text{об}}$ по формуле

$$r(U'_{\text{об}}) = \frac{\Delta U_{\text{об}}}{\Delta I_{\text{об}}} = \frac{U''_{\text{об}} - U'_{\text{об}}}{I''_{\text{об}} - I'_{\text{об}}}.$$

Результаты расчётов занести в таблицу 1.5.

По данным таблиц 1.2–1.5 построить графики зависимостей дифференциального сопротивления от напряжения $r(U)$ для кремниевого и германиевого выпрямительных диодов и стабилитрона.

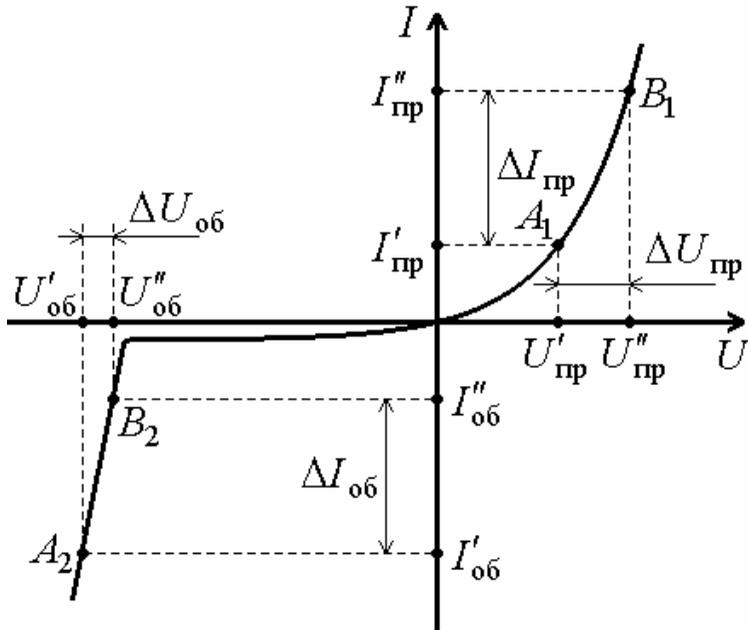
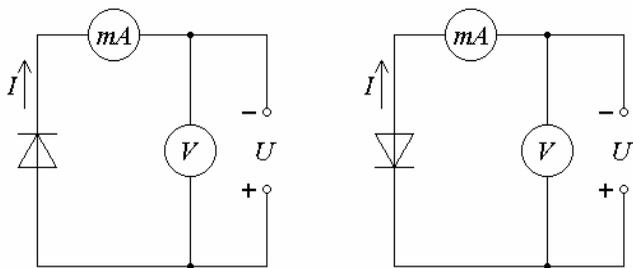


Рис. 1.2. Вольт–амперная характеристика диода.

6. Содержание отчёта

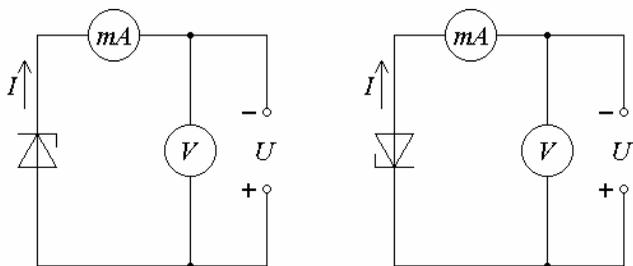
1. Номер, наименование и цель работы.
2. Схемы прямого и обратного включения выпрямительного диода и стабилитрона (рис. 1.3, 1.4).
3. Результаты исследований:
 - таблицы 1.2–1.5;
 - графики вольт–амперных характеристик $I_{пр}(U_{пр})$ кремниевого и германиевого выпрямительных диодов;
 - график вольт–амперной характеристики $I(U)$ стабилитрона, на котором положительные значения I и U соответствуют $I_{пр}, U_{пр}$, отрицательные значения I и U соответствуют $I_{об}, U_{об}$;
 - графики зависимостей статического сопротивления и дифференциального сопротивления от напряжения $R(U_{пр}), r(U_{пр})$ для кремниевого и германиевого выпрямительных диодов;
 - графики зависимостей $R(U), r(U)$ для стабилитрона.
4. Выводы по результатам работы.



a)

б)

Рис. 1.3. Прямое (*a*) и обратное (*б*) включение выпрямительного диода.



a)

б)

Рис. 1.4. Прямое (*a*) и обратное (*б*) включение стабилитрона.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

1. Цель работы

Изучить устройство и принцип действия полевых транзисторов: с управляющим p - n -переходом, со встроенным каналом, с индуцированным каналом. Экспериментально исследовать параметры и статические характеристики полевых транзисторов.

2. Литература

1. Электроника/ *А. И. Бреус, К. И. Савченко, Ю. М. Сподобаев*; Под ред. *А. И. Бреуса*. – М.: Радио и связь, 2001.

2. Электронные приборы/ *В. Н. Дулин, Н. А. Аваев, В. П. Дёмин* и др.; Под ред. *Г. Г. Шишкина*. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

3. *Пасынков В. В., Чиркин Л. К.* Полупроводниковые приборы. – СПб.: Издательство «Лань», 2003.

4. *Петров К. С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – СПб.: Питер, 2003.

5. *Степаненко И. П.* Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000.

3. Контрольные вопросы

1. Изобразить структуру полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом. Объяснить принцип действия этого транзистора. ([1], с. 62–63; [2], с. 242–244; [3], с. 301–303; [4], с. 284–286; [5], с. 116–119.)

2. Изобразить схемное обозначение полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом (p -каналом). ([1], с. 62, 64, 143; [2], с. 237; [3], с. 465; [4], с. 286.)

3. Для полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом (p -каналом) изобразить схему включения с общим истоком. ([1], с. 62, 64; [2], с. 237; [3], с. 302; [4], с. 285.)

4. Дать физические объяснения передаточным статическим характеристикам полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 62–64; [3], с. 304, 306; [4], с. 289–290; [5], с. 119–120.)

5. Дать физические объяснения выходным статическим характеристикам полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 62–64; [3], с. 304–306; [4], с. 289–290; [5], с. 119–120.)

6. В чём заключается эффект внешнего поля? Какие режимы эффекта внешнего поля вам известны? ([2], с. 46–51; [5], с. 45–53.)

7. Изобразить структуру полевого транзистора со встроенным n -каналом. Объяснить принцип действия этого транзистора. ([1], с. 68; [2], с. 207–212; [3], с. 312–314, 318–319; [4], с. 295–296; [5], с. 100–105.)

8. Изобразить схемное обозначение полевого транзистора со встроенным n -каналом (p -каналом). ([1], с. 68, 143; [2], с. 209; [3], с. 465; [4], с. 296.)

9. Для полевого транзистора со встроенным n -каналом (p -каналом) изобразить схему включения с общим истоком. ([1], с. 68; [2], с. 209–210; [5], с. 112.)

10. Дать физические объяснения передаточным статическим характеристикам полевого транзистора со встроенным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 68; [2], с. 216–217; [3], с. 318–319; [4], с. 303–304.)

11. Дать физические объяснения выходным статическим характеристикам полевого транзистора со встроенным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 68; [2], с. 212–216; [3], с. 318–319; [4], с. 303; [5], с. 105–108.)

12. Изобразить структуру полевого транзистора с индуцированным n -каналом. Объяснить принцип действия этого транзистора. ([1], с. 66–67; [2], с. 207–212; [3], с. 312–315; [4], с. 295–296; [5], с. 100–105.)

13. Изобразить схемное обозначение полевого транзистора с индуцированным n -каналом (p -каналом). ([1], с. 66–67, 143; [2], с. 209; [3], с. 465; [4], с. 296; [5], с. 112.)

14. Для полевого транзистора с индуцированным n -каналом (p -каналом) изобразить схему включения с общим истоком. ([1], с. 66–67; [2], с. 209–210; [4], с. 295; [5], с. 101.)

15. Дать физические объяснения передаточным статическим характеристикам полевого транзистора с индуцированным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 66–67; [2], с. 216–217; [3], с. 315, 317–318; [4], с. 303–304; [5], с. 105–108.)

16. Дать физические объяснения выходным статическим характеристикам полевого транзистора с индуцированным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 66–67; [2], с. 212–216; [3], с. 315–317; [4], с. 303; [5], с. 105–108.)

17. Почему статические входные сопротивления полевых транзисторов значительно превышают входные сопротивления биполярных транзисторов? ([1], с. 62–63; [2], с. 206; [3], с. 303; [4], с. 284; [5], с. 100.)

18. Объяснить методику измерения дифференциальных y -параметров y_{21} , y_{22} полевого транзистора, включенного по схеме с общим истоком. ([1], с. 13–14; [2], с. 171–172, 175–176; [3], с. 310–311; [4], с. 240, 243–244.)

4. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- лабораторный стенд;
- блок питания;
- исследуемые кремниевые полевые транзисторы:
 - полевой транзистор с управляющим p - n -переходом и n -каналом (КП 303),
 - полевой транзистор со встроенным n -каналом (КП 305),
 - полевой транзистор с индуцированным n -каналом.

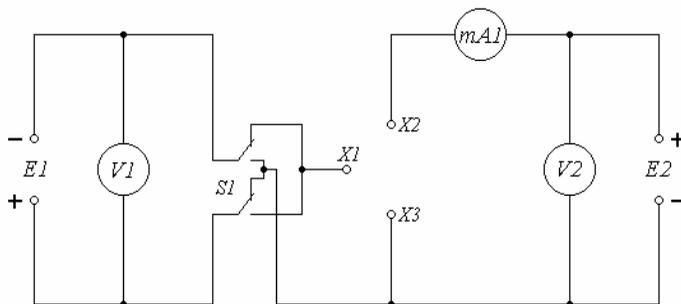


Рис. 2.1. Электрическая схема лабораторной установки.

Электрическая схема лабораторной установки изображена на рисунке 2.1 и на панели лабораторного стенда. Схема содержит источники постоянного напряжения $E1$ и $E2$, входящие в состав блока питания. Блок питания соединён разъёмом с лабораторным стендом. Тумблер включения расположен сбоку на корпусе блока питания. Тумблеры включения и ручки плавной регулировки напряжений источников $E1$ и $E2$ расположены на панели блока питания. На панели блока питания размещены также: лампочка «Сеть» (индикатор включения блока питания), зелёные индикаторные лампочки включения источников напряжения $E1$ и $E2$, красные индикаторные лампочки перегрузки источников $E1$ и $E2$.

Лабораторный стенд позволяет собрать схему включения полевого транзистора с общим истоком. Исследуемый полевой транзистор

подключается к гнездам $X1$, $X2$, $X3$ на панели лабораторного стенда (рис. 2.1). Вольтметром $V1$, расположенным на панели блока питания, измеряется абсолютное значение входного напряжения между электродами транзистора, – напряжение между затвором и истоком. Вольтметром $V2$, расположенным на панели блока питания, измеряется выходное напряжение между электродами транзистора, – напряжение между стоком и истоком. Миллиамперметром $mA1$, расположенным на панели лабораторного стенда, измеряется сила тока на выходе транзистора, – сила тока стока. Сила тока на входе транзистора, – сила тока затвора, – в полевых транзисторах очень мала. Поэтому её измерение в лабораторной установке не предусмотрено. Ключ $S1$, расположенный на панели лабораторного стенда, позволяет изменять полярность входного напряжения.

5. Лабораторное задание и порядок выполнения работы

Внимание! При выполнении работы необходимо соблюдать следующие правила.

- *Не перемещать лабораторную установку после включения блока питания, во избежание нарушения контакта между блоком питания и лабораторным стендом.*
- *Не допускать заикаливания стрелочных индикаторов вольтметров $V1$, $V2$ и миллиамперметра $mA1$.*
- *При загорании красных индикаторных лампочек перегрузки источников $E1$ и $E2$ необходимо уменьшить соответствующие напряжения ручками плавной регулировки напряжения.*
- *Перед выполнением перечисленных ниже операций необходимо вывести ручки плавной регулировки напряжений источников $E1$ и $E2$ в крайнее левое положение:*
 - *включение или выключение источников напряжения $E1$ и $E2$;*
 - *установка или замена транзистора на лабораторном стенде;*
 - *изменение полярности входного напряжения с помощью ключа $S1$.*

5.1. Исследование полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом

Вывести в крайнее левое положение ручки плавной регулировки напряжений источников $E1$ и $E2$, расположенные на панели блока питания. Установить в верхнее положение ключ $S1$, расположенный на панели лабораторного стенда. Такое положение ключа соответствует подключению отрицательного полюса источника напряжения $E1$ к

гнезду $X1$ на панели лабораторного стенда (рис. 2.1), положительного полюса – к гнезду $X3$. Собрать схему исследования полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом (схему включения транзистора с общим истоком), изображённую на рисунке 2.2, подключив исследуемый транзистор к гнездам $X1$, $X2$, $X3$ на панели лабораторного стенда (рис. 2.1). Включить блок питания тумблером, расположенным сбоку на корпусе блока питания, после чего должна загореться индикаторная лампочка «Сеть» на панели блока питания. Тумблеры включения источников напряжения $E1$ и $E2$ перевести в положение «Вкл», после чего должны загореться две зелёные индикаторные лампочки включения, расположенные на панели блока питания.

Внимание! При исследовании полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом ключ $S1$ должен находиться в верхнем положении, что соответствует отрицательной полярности входного напряжения между электродами транзистора ($U_{3И} < 0$).

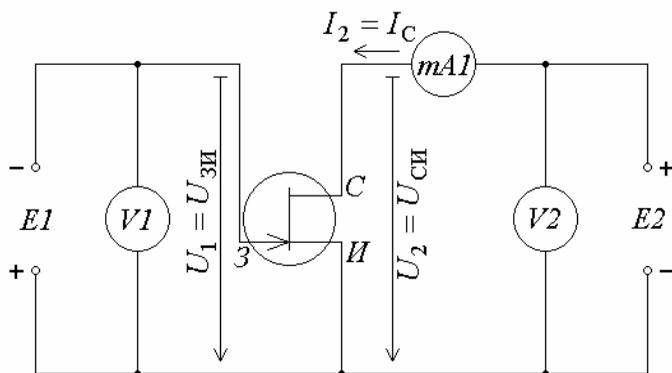


Рис. 2.2. Электрическая схема исследования полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом.

5.1.1. Исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом

Передаточная статическая характеристика полевого транзистора представляет собой зависимость $I_2(U_1)$ при фиксированном напряжении U_2 . Здесь I_2 – сила тока на выходе транзистора, U_1 и U_2 – входное и выходное напряжения. В схеме включения транзистора с общим истоком передаточная статическая характеристика представляет собой зависимость $I_C(U_{3И})$ при $U_{СИ} = \text{const}$. Здесь I_C – сила тока стока, $U_{3И}$ – на-

напряжение между затвором и истоком, $U_{СИ}$ – напряжение между стоком и истоком транзистора.

Тумблеры переключения пределов измерения вольтметров $V1$ и $V2$, расположенные на панели блока питания, установить в положение 10 В. Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA1$, расположенный на панели лабораторного стенда, установить в положение 10 мА.

Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, установить значение выходного напряжения $U_{СИ} = 10$ В, регистрируя его с помощью вольтметра $V2$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, определить входное напряжение отсечки $U_{ЗИ} = U_{ЗИ,отс}$, при котором сила тока на выходе транзистора I_C обращается в нуль. Абсолютное значение напряжения $U_{ЗИ}$ измеряется вольтметром $V1$. Значение силы тока I_C измеряется миллиамперметром $mA1$.

Произвести исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом $I_C(U_{ЗИ})$ при следующих фиксированных значениях выходного напряжения: $U_{СИ} = 5$ В; 10 В. Значения напряжения $U_{СИ}$ устанавливаются вращением ручки плавной регулировки напряжения источника $E2$ и регистрируются вольтметром $V2$.

Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, последовательно установить следующие значения входного напряжения:

$$U_{ЗИ} = \frac{4}{5}U_{ЗИ,отс}; \quad U_{ЗИ} = \frac{3}{5}U_{ЗИ,отс}; \quad U_{ЗИ} = \frac{2}{5}U_{ЗИ,отс}; \quad U_{ЗИ} = \frac{1}{5}U_{ЗИ,отс};$$

$$U_{ЗИ} = 0 \text{ В.}$$

Абсолютные значения напряжения $U_{ЗИ}$ измеряются с помощью вольтметра $V1$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.1. По данным таблицы 2.1 построить семейство передаточных статических характеристик полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом, – зависимости $I_C(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = \text{const}$.

Таблица 2.1.

$U_{ЗИ}, \text{ В}$		$U_{ЗИ} < 0$		
			...	
$U_{СИ} = 5 \text{ В}$	$I_C, \text{ мА}$			0
$U_{СИ} = 10 \text{ В}$	$I_C, \text{ мА}$			
	$y_{21}, \text{ См}$			—

5.1.2. Исследование выходных статических характеристик полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом

Выходная статическая характеристика полевого транзистора представляет собой зависимость $I_2(U_2)$ при фиксированном напряжении U_1 . В схеме включения транзистора с общим истоком это – зависимость $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$.

Тумблеры переключения пределов измерения вольтметров $V1$ и $V2$ установить в положение 10 В. Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA1$ установить в положение 10 мА.

Произвести исследование выходных статических характеристик полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом $I_C(U_{СИ})$ при следующих фиксированных значениях входного напряжения:

$$U_{ЗИ} = 0 \text{ В}; U_{ЗИ} = \frac{1}{5} U_{ЗИ, \text{отс}}; U_{ЗИ} = \frac{2}{5} U_{ЗИ, \text{отс}}.$$

Абсолютные значения напряжения $U_{ЗИ}$ устанавливаются вращением ручки плавной регулировки напряжения источника $E1$ и регистрируются вольтметром $V1$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения выходного напряжения: $U_{СИ} = 0 \text{ В}; 0,5 \text{ В}; 1 \text{ В}; 2 \text{ В}; 4 \text{ В}; 6 \text{ В}; 8 \text{ В}; 10 \text{ В}$. Значения напряжения $U_{СИ}$ измеряются с помощью вольтметра $V2$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.2. По данным таблицы 2.2 построить семейство выходных статических характеристик полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом, – зависимости $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$.

Таблица 2.2.

$U_{СИ}, \text{ В}$		0	0,5	...	8	10
$U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$	$I_C, \text{ мА}$					
	$G_{\text{вых}}, \text{ См}$	—				
	$y_{22}, \text{ См}$					—
$U_{ЗИ} =$	$I_C, \text{ мА}$					
$U_{ЗИ} =$	$I_C, \text{ мА}$					

5.1.3. Расчёт параметров полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом

Используя данные таблицы 2.2, рассчитать статическую выходную проводимость полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом и n -каналом по формуле

$$G_{\text{вых}} = \frac{I_C}{U_{\text{СИ}}}$$

при входном напряжении $U_{\text{ЗИ}} = 0$ В в точках, соответствующих следующим значениям выходного напряжения: $U_{\text{СИ}} = 0,5$ В; 1 В; 2 В; 4 В; 6 В; 8 В; 10 В. Результаты расчётов занести в таблицу 2.2. По данным таблицы 2.2 построить зависимость статической выходной проводимости полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом от выходного напряжения $G_{\text{вых}}(U_{\text{СИ}})$.

В схеме с общим истоком дифференциальные y -параметры полевого транзистора определяются следующими соотношениями:

$$y_{21} = \left. \frac{\Delta I_2}{\Delta U_1} \right|_{U_2 = \text{const}} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{\text{ЗИ}}} \right|_{U_{\text{СИ}} = \text{const}}, \quad (2.1)$$

$$y_{22} = \left. \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \right|_{U_1 = \text{const}} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{\text{СИ}}} \right|_{U_{\text{ЗИ}} = \text{const}}. \quad (2.2)$$

Здесь ΔU_1 и ΔU_2 – приращения входного и выходного напряжений между электродами транзистора, ΔI_2 – приращение силы тока на выходе транзистора.

На передаточной статической характеристике полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом $I_C(U_{\text{ЗИ}})$, соответствующей выходному напряжению $U_{\text{СИ}} = 10$ В, выбрать точку A_1 с абсциссой

$$U_{\text{ЗИ}} = U'_{\text{ЗИ}} = \frac{4}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}; \quad \frac{3}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}; \quad \frac{2}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}; \quad \frac{1}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}.$$

и точку B_1 с абсциссой $U_{\text{ЗИ}} = U''_{\text{ЗИ}} > U'_{\text{ЗИ}}$ (рис. 2.3а). Например,

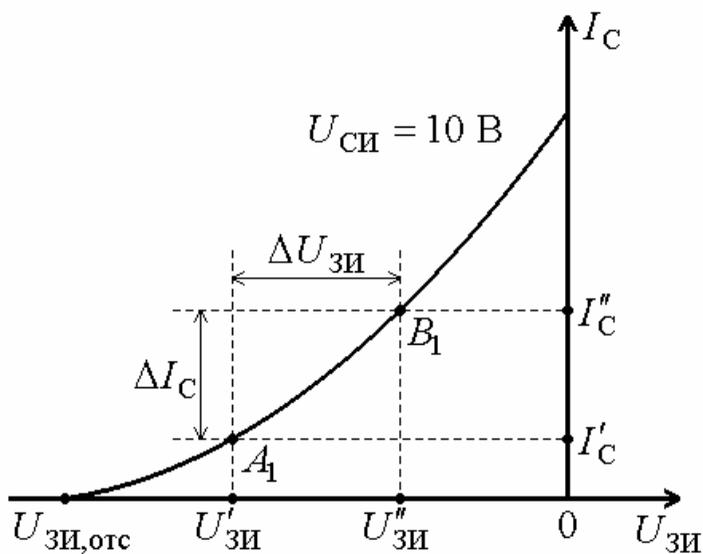
$$U'_{\text{ЗИ}} = \frac{4}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}, U''_{\text{ЗИ}} = \frac{3}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}; \quad U'_{\text{ЗИ}} = \frac{3}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}, U''_{\text{ЗИ}} = \frac{2}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}; \quad \dots;$$

$$U'_{\text{ЗИ}} = \frac{1}{5}U_{\text{ЗИ,отс}}, U''_{\text{ЗИ}} = 0 \text{ В.}$$

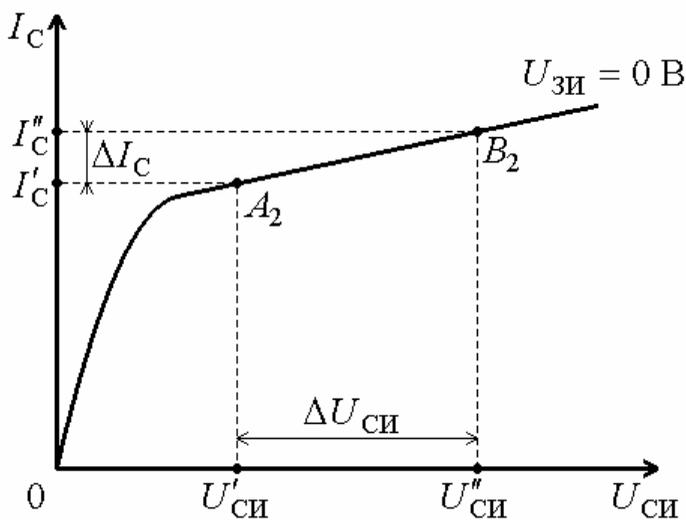
С помощью таблицы 2.1 определить значения ординат I'_C и I''_C точек A_1 и B_1 . Вычислить значения параметра y_{21} в точках $U_{\text{ЗИ}} = U'_{\text{ЗИ}}$ по формуле

$$y_{21}(U'_{\text{ЗИ}}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{\text{ЗИ}}} = \frac{I''_C - I'_C}{U''_{\text{ЗИ}} - U'_{\text{ЗИ}}},$$

следующей из (2.1). Результаты расчётов занести в таблицу 2.1. По данным таблицы 2.1 построить зависимость параметра y_{21} полевого



а)



б)

Рис. 2.3. Передаточная (а) и выходная (б) статические характеристики полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом, включенного по схеме с общим истоком.

транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом от входного напряжения $U_{зи}$.

На выходной статической характеристике полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом $I_C(U_{СИ})$, соответствующей входному напряжению $U_{зи} = 0$ В, выбрать точку A_2 с абсциссой $U_{СИ} = U'_{СИ} = 0$ В; 0,5 В; 1 В; 2 В; 4 В; 6 В; 8 В и точку B_2 с абсциссой $U_{СИ} = U''_{СИ} > U'_{СИ}$ (рис. 2.3б). Например, $U'_{СИ} = 0$ В, $U''_{СИ} = 0,5$ В; $U'_{СИ} = 0,5$ В, $U''_{СИ} = 1$ В; ... ; $U'_{СИ} = 8$ В, $U''_{СИ} = 10$ В. С помощью таблицы 2.2 определить значения ординат I'_C и I''_C точек A_2 и B_2 . Вычислить значения параметра y_{22} в точках $U_{СИ} = U'_{СИ}$ по формуле

$$y_{22}(U'_{СИ}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{СИ}} = \frac{I''_C - I'_C}{U''_{СИ} - U'_{СИ}},$$

следующей из (2.2). Результаты расчётов занести в таблицу 2.2. По данным таблицы 2.2 построить зависимость параметра y_{22} полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом от выходного напряжения $U_{СИ}$.

5.2. Исследование полевого транзистора со встроенным n -каналом

Вывести в крайнее левое положение ручки плавной регулировки напряжений источников $E1$ и $E2$. Установить ключ $S1$ в верхнее положение. Такое положение ключа соответствует подключению отрицательного полюса источника напряжения $E1$ к гнезду $X1$ (рис. 2.1), положительного полюса – к гнезду $X3$. Собрать схему исследования полевого транзистора со встроенным n -каналом (схему включения транзистора с общим истоком), изображённую на рисунке 2.4, подключив исследуемый транзистор к гнездам $X1$, $X2$, $X3$ на панели лабораторного стенда (рис. 2.1).

5.2.1. Исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом

Тумблеры переключения пределов измерения вольтметров $V1$ и $V2$ установить в положение 10 В. Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA1$ установить в положение 10 мА.

Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, установить значение выходного напряжения $U_{СИ} = 10$ В, регистрируя его с помощью вольтметра $V2$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, определить входное напряжение отсечки $U_{зи} =$

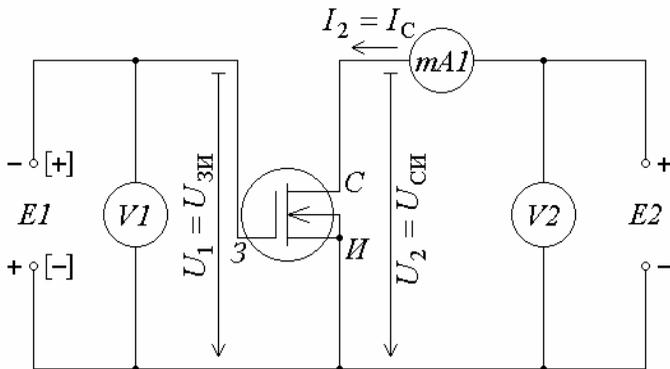


Рис. 2.4. Электрическая схема исследования полевого транзистора со встроенным n -каналом.

$=U_{зи,отс}$, при котором сила тока на выходе транзистора I_C обращается в нуль. Абсолютное значение напряжения $U_{зи}$ измеряется вольтметром $V1$. Значение силы тока I_C измеряется миллиамперметром $mA1$.

Произвести исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом $I_C(U_{зи})$ при отрицательных входных напряжениях ($U_{зи} < 0$) и следующих фиксированных значениях выходного напряжения: $U_{си} = 5$ В; 10 В. Значения напряжения $U_{си}$ устанавливаются вращением ручки плавной регулировки напряжения источника $E2$ и регистрируются вольтметром $V2$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, последовательно установить следующие значения входного напряжения:

$$U_{зи} = \frac{3}{4}U_{зи,отс}; \quad U_{зи} = \frac{1}{2}U_{зи,отс}; \quad U_{зи} = \frac{1}{4}U_{зи,отс}; \quad U_{зи} = 0 \text{ В.}$$

Абсолютные значения напряжения $U_{зи}$ измеряются с помощью вольтметра $V1$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.3.

Вывести в крайнее левое положение ручки плавной регулировки напряжения источников $E1$ и $E2$. Установить ключ $S1$ в нижнее положение, соответствующее положительной полярности входного напряжения ($U_{зи} > 0$). Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, установить значение выходного напряжения $U_{си} = 10$ В.

Произвести исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом $I_C(U_{зи})$ при положительных входных напряжениях ($U_{зи} > 0$) и следующих фиксирован-

ных значениях выходного напряжения: $U_{СИ} = 5 \text{ В}; 10 \text{ В}$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, последовательно установить следующие значения входного напряжения:

$$U_{ЗИ} = \frac{1}{4}|U_{ЗИ,отс}|; \quad U_{ЗИ} = \frac{1}{2}|U_{ЗИ,отс}|; \quad U_{ЗИ} = \frac{3}{4}|U_{ЗИ,отс}|; \quad U_{ЗИ} = |U_{ЗИ,отс}|.$$

Значения входного напряжения $U_{ЗИ}$ положительной полярности также измеряются с помощью вольтметра $V1$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.3.

По данным таблицы 2.3 построить семейство передаточных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом, – зависимости $I_C(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = \text{const}$.

Таблица 2.3.

$U_{ЗИ}, \text{ В}$		$U_{ЗИ} < 0$			0	$U_{ЗИ} > 0$		
			
$U_{СИ} = 5 \text{ В}$	$I_C, \text{ mA}$							
$U_{СИ} = 10 \text{ В}$	$I_C, \text{ mA}$							
	$y_{21}, \text{ CM}$							—

5.2.2. Исследование выходных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом

Тумблеры переключения пределов измерения вольтметров $V1$ и $V2$ установить в положение 10 В. Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA1$ установить в положение 10 мА.

Произвести исследование выходных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом $I_C(U_{СИ})$ при следующих фиксированных значениях входного напряжения:

$$U_{ЗИ} = -\frac{1}{4}|U_{ЗИ,отс}|; \quad U_{ЗИ} = 0 \text{ В}; \quad U_{ЗИ} = \frac{1}{4}|U_{ЗИ,отс}|.$$

Абсолютные значения напряжения $U_{ЗИ}$ устанавливаются вращением ручки плавной регулировки напряжения источника $E1$ и регистрируются вольтметром $V1$. Полярность напряжения $U_{ЗИ}$ устанавливается с помощью ключа $S1$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения выходного напряжения: $U_{СИ} = 0 \text{ В}; 0,5 \text{ В}; 1 \text{ В}; 2 \text{ В}; 4 \text{ В}; 6 \text{ В}; 8 \text{ В}; 10 \text{ В}$. Значения напряжения $U_{СИ}$ измеряются с помощью вольтметра $V2$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.4. По данным таблицы 2.4 построить семейство выходных

статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом, – зависимости $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$.

Таблица 2.4.

$U_{СИ}, \text{В}$			0	0,5	...	8	10
$U_{ЗИ} < 0$	$U_{ЗИ} =$	$I_C, \text{мА}$					
	$U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$	$I_C, \text{мА}$					
		$G_{\text{ВЫХ}}, \text{СМ}$	—				
		$y_{22}, \text{СМ}$					—
$U_{ЗИ} > 0$	$U_{ЗИ} =$	$I_C, \text{мА}$					

5.2.3. Расчёт параметров полевого транзистора со встроенным n -каналом

Используя данные таблицы 2.4, рассчитать статическую выходную проводимость полевого транзистора со встроенным n -каналом по формуле

$$G_{\text{ВЫХ}} = \frac{I_C}{U_{СИ}}$$

при входном напряжении $U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$ в точках, соответствующих следующим значениям выходного напряжения: $U_{СИ} = 0,5 \text{ В}; 1 \text{ В}; 2 \text{ В}; 4 \text{ В}; 6 \text{ В}; 8 \text{ В}; 10 \text{ В}$. Результаты расчётов занести в таблицу 2.4. По данным таблицы 2.4 построить зависимость статической выходной проводимости полевого транзистора со встроенным n -каналом от выходного напряжения $G_{\text{ВЫХ}}(U_{СИ})$.

На передаточной статической характеристике полевого транзистора со встроенным n -каналом $I_C(U_{ЗИ})$, соответствующей выходному напряжению $U_{СИ} = 10 \text{ В}$, выбрать точку A_1 с абсциссой

$$U_{ЗИ} = U'_{ЗИ} = -\frac{3}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|; -\frac{1}{2}|U_{ЗИ, \text{отс}}|; -\frac{1}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|; 0 \text{ В};$$

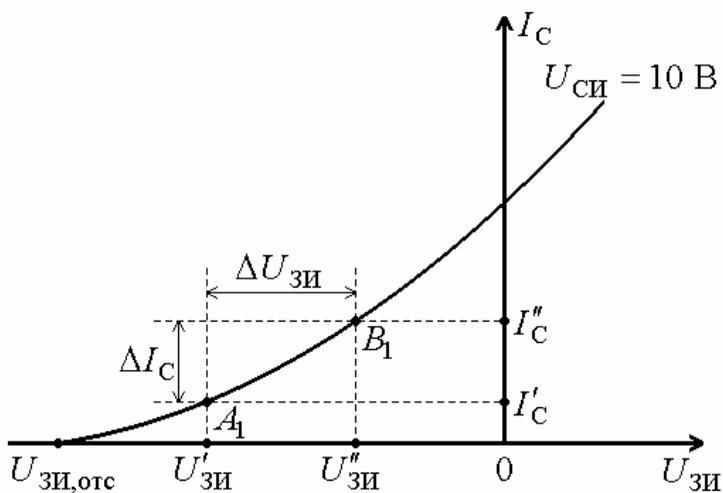
$$\frac{1}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|; \frac{1}{2}|U_{ЗИ, \text{отс}}|; \frac{3}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|$$

и точку B_1 с абсциссой $U_{ЗИ} = U''_{ЗИ} > U'_{ЗИ}$ (рис. 2.5а). Например,

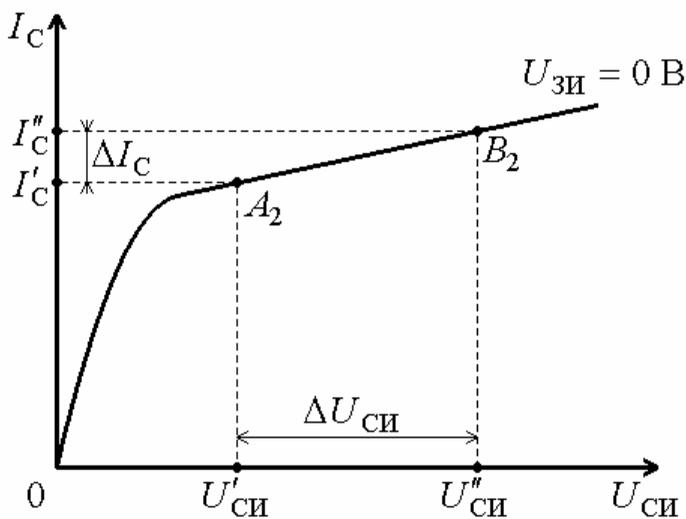
$$U'_{ЗИ} = -\frac{3}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|, U''_{ЗИ} = -\frac{1}{2}|U_{ЗИ, \text{отс}}|;$$

$$U'_{ЗИ} = -\frac{1}{2}|U_{ЗИ, \text{отс}}|, U''_{ЗИ} = -\frac{1}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|; \dots ;$$

$$U'_{ЗИ} = \frac{3}{4}|U_{ЗИ, \text{отс}}|, U''_{ЗИ} = |U_{ЗИ, \text{отс}}|.$$



a)



б)

Рис. 2.5. Передаточная (а) и выходная (б) статические характеристики полевого транзистора со встроенным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком.

С помощью таблицы 2.3 определить значения ординат I'_C и I''_C точек A_1 и B_1 . Вычислить значения параметра y_{21} в точках $U_{3и} = U'_{3и}$ по формуле

$$y_{21}(U'_{3и}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{3и}} = \frac{I''_C - I'_C}{U''_{3и} - U'_{3и}}.$$

Результаты расчётов занести в таблицу 2.3. По данным таблицы 2.3 построить зависимость параметра y_{21} полевого транзистора со встроенным n -каналом от входного напряжения $U_{3и}$.

На выходной статической характеристике полевого транзистора со встроенным n -каналом $I_C(U_{си})$, соответствующей входному напряжению $U_{3и} = 0$ В, выбрать точку A_2 с абсциссой $U_{си} = U'_{си} = 0$ В; 0,5 В; 1 В; 2 В; 4 В; 6 В; 8 В и точку B_2 с абсциссой $U_{си} = U''_{си} > U'_{си}$, (рис. 2.5б). Например, $U'_{си} = 0$ В, $U''_{си} = 0,5$ В; $U'_{си} = 0,5$ В, $U''_{си} = 1$ В; ... ; $U'_{си} = 8$ В, $U''_{си} = 10$ В. С помощью таблицы 2.4 определить значения ординат I'_C и I''_C точек A_2 и B_2 . Вычислить значения параметра y_{22} в точках $U_{си} = U'_{си}$ по формуле

$$y_{22}(U'_{си}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{си}} = \frac{I''_C - I'_C}{U''_{си} - U'_{си}}.$$

Результаты расчётов занести в таблицу 2.4. По данным таблицы 2.4 построить зависимость параметра y_{22} полевого транзистора со встроенным n -каналом от выходного напряжения $U_{си}$.

5.3. Исследование полевого транзистора с индуцированным n -каналом

Вывести в крайнее левое положение ручки плавной регулировки напряжений источников $E1$ и $E2$. Установить ключ $S1$ в нижнее положение. Такое положение ключа соответствует подключению положительного полюса источника напряжения $E1$ к гнезду $X1$ (рис. 2.1), отрицательного полюса – к гнезду $X3$. Собрать схему исследования полевого транзистора с индуцированным n -каналом (схему включения транзистора с общим истоком), изображённую на рисунке 2.6, подключив исследуемый транзистор к гнездам $X1$, $X2$, $X3$ на панели лабораторного стенда (рис. 2.1).

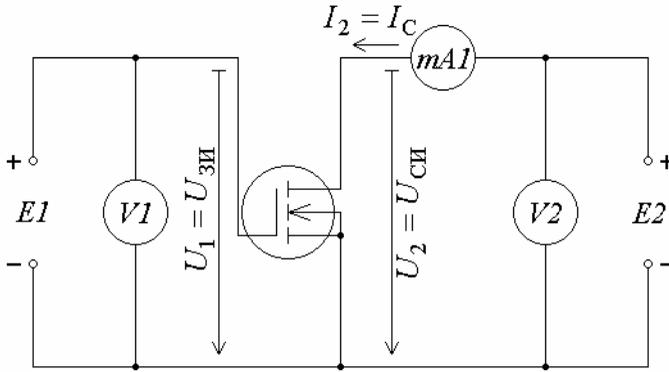


Рис. 2.6. Электрическая схема исследования полевого транзистора с индуцированным n -каналом.

5.3.1. Исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом

Тумблеры переключения пределов измерения вольтметров $V1$ и $V2$ установить в положение 10 В. Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA1$ установить в положение 10 мА.

Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, установить значение выходного напряжения $U_{си} = 10$ В, регистрируя его с помощью вольтметра $V2$. Сила тока на выходе полевого транзистора с индуцированным n -каналом I_c отлична от нуля только при входных напряжениях $U_{зи} > U_{зи,пор}$, где $U_{зи,пор}$ – пороговое входное напряжение. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, определить пороговое входное напряжение $U_{зи} = U_{зи,пор}$, а также входное напряжение $U_{зи,макс}$, при котором сила тока $I_c = 10$ мА. Значение напряжения $U_{зи}$ измеряется вольтметром $V1$. Значение силы тока I_c измеряется миллиамперметром $mA1$.

Произвести исследование передаточных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом $I_c(U_{зи})$ при следующих фиксированных значениях выходного напряжения: $U_{си} = 5$ В; 10 В. Значения напряжения $U_{си}$ устанавливаются вращением ручки плавной регулировки напряжения источника $E2$ и регистрируются вольтметром $V2$. В рабочем диапазоне значений входного напряжения $U_{зи}$ ($U_{зи,пор} \leq U_{зи} \leq U_{зи,макс}$) выбрать 5 точек $U_{зи}^{(1)}$, $U_{зи}^{(2)}$, ..., $U_{зи}^{(5)}$ с равномерным шагом, где

$$U_{зи,пор} < U_{зи}^{(1)} < U_{зи}^{(2)} < U_{зи}^{(3)} < U_{зи}^{(4)} < U_{зи}^{(5)} = U_{зи,макс}.$$

Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E1$, последовательно установить значения входного напряжения $U_{зи}^{(1)}$; $U_{зи}^{(2)}$; ... ; $U_{зи}^{(5)}$, регистрируя их с помощью вольтметра $V1$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.5. По данным таблицы 2.5 построить семейство передаточных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом, – зависимости $I_C(U_{зи})$ при $U_{си} = \text{const}$.

Таблица 2.5.

$U_{зи}, \text{В}$...		
$U_{си} = 5 \text{ В}$	$I_C, \text{мА}$					
$U_{си} = 10 \text{ В}$	$I_C, \text{мА}$					
	$y_{21}, \text{См}$					—

5.3.2. Исследование выходных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом

Тумблеры переключения пределов измерения вольтметров $V1$ и $V2$ установить в положение 10 В. Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA1$ установить в положение 10 мА.

Произвести исследование выходных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом $I_C(U_{си})$ при следующих фиксированных значениях входного напряжения:

$$U_{зи} = \frac{U_{зи, \text{пор}} + U_{зи, \text{max}}}{2}; \quad U_{зи} = U_{зи, \text{max}}.$$

Значения напряжения $U_{зи}$ устанавливаются вращением ручки плавной регулировки напряжения источника $E1$ и регистрируются вольтметром $V1$. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения выходного напряжения: $U_{си} = 0 \text{ В}$; $0,5 \text{ В}$; 1 В ; 2 В ; 4 В ; 6 В ; 8 В ; 10 В . Значения напряжения $U_{си}$ измеряются с помощью вольтметра $V2$. С помощью миллиамперметра $mA1$ определить соответствующие значения силы тока на выходе транзистора I_C . Результаты измерений занести в таблицу 2.6. По данным таблицы 2.6 построить семейство выходных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом, – зависимости $I_C(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$.

Таблица 2.6.

$U_{СИ}, В$		0	0,5	...	8	10
$U_{ЗИ} = (U_{ЗИ.пор} + U_{ЗИ.мах})/2 =$	$I_C, МА$					
	$I_C, МА$					
$U_{ЗИ} = U_{ЗИ.мах} =$	$G_{ВЫХ}, СМ$	—				
	$y_{22}, СМ$					—

5.3.3. Расчёт параметров полевого транзистора с индуцированным n -каналом

Используя данные таблицы 2.6, рассчитать статическую выходную проводимость полевого транзистора с индуцированным n -каналом по формуле

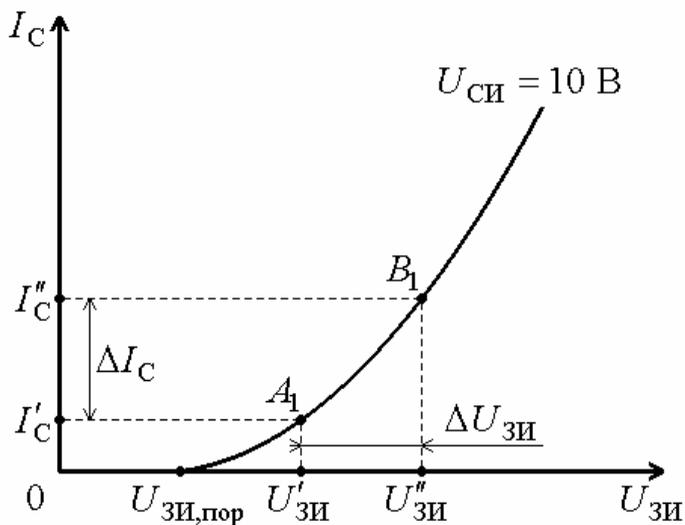
$$G_{ВЫХ} = \frac{I_C}{U_{СИ}}$$

при входном напряжении $U_{ЗИ} = U_{ЗИ.мах}$ в точках, соответствующих следующим значениям выходного напряжения: $U_{СИ} = 0,5 В; 1 В; 2 В; 4 В; 6 В; 8 В; 10 В$. Результаты расчётов занести в таблицу 2.6. По данным таблицы 2.6 построить зависимость статической выходной проводимости полевого транзистора с индуцированным n -каналом от выходного напряжения $G_{ВЫХ}(U_{СИ})$.

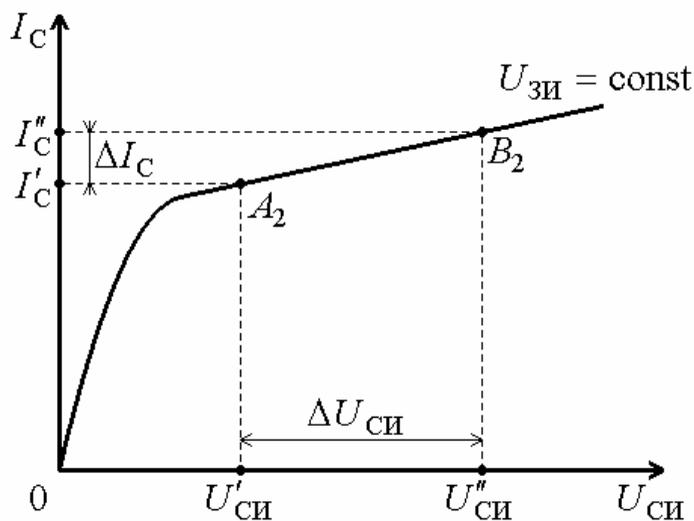
На передаточной статической характеристике полевого транзистора с индуцированным n -каналом $I_C(U_{ЗИ})$, соответствующей выходному напряжению $U_{СИ} = 10 В$, выбрать точку A_1 с абсциссой $U_{ЗИ} = U'_{ЗИ} = U_{ЗИ}^{(1)}; U_{ЗИ}^{(2)}; U_{ЗИ}^{(3)}; U_{ЗИ}^{(4)}$ (рис. 2.7а), где $U_{ЗИ.пор} < U_{ЗИ}^{(1)} < U_{ЗИ}^{(2)} < U_{ЗИ}^{(3)} < U_{ЗИ}^{(4)} < U_{ЗИ.мах}$, напряжения $U_{ЗИ}^{(1)}, \dots, U_{ЗИ}^{(4)}$ разбивают диапазон $(U_{ЗИ.пор} < U_{ЗИ} < U_{ЗИ.мах})$ на 5 равных интервалов. На характеристике $I_C(U_{ЗИ})$ выбрать точку B_1 с абсциссой $U_{ЗИ} = U''_{ЗИ} > U'_{ЗИ}$. Например, $U'_{ЗИ} = U_{ЗИ}^{(1)}, U''_{ЗИ} = U_{ЗИ}^{(2)}; U'_{ЗИ} = U_{ЗИ}^{(2)}, U''_{ЗИ} = U_{ЗИ}^{(3)}; \dots; U'_{ЗИ} = U_{ЗИ}^{(4)}, U''_{ЗИ} = U_{ЗИ.мах}$. С помощью таблицы 2.5 определить значения ординат I'_C и I''_C точек A_1 и B_1 . Вычислить значения параметра y_{21} в точках $U_{ЗИ} = U'_{ЗИ}$ по формуле

$$y_{21}(U'_{ЗИ}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{ЗИ}} = \frac{I''_C - I'_C}{U''_{ЗИ} - U'_{ЗИ}}$$

Результаты расчётов занести в таблицу 2.5. По данным таблицы 2.5 построить зависимость параметра y_{21} полевого транзистора с индуцированным n -каналом от входного напряжения $U_{ЗИ}$.



а)



б)

Рис. 2.7. Передаточная (а) и выходная (б) статические характеристики полевого транзистора с индуцированным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком.

На выходной статической характеристике полевого транзистора с индуцированным n -каналом $I_C(U_{СИ})$, соответствующей входному напряжению $U_{ЗИ} = U_{ЗИ, \max}$, выбрать точку A_2 с абсциссой $U_{СИ} = U'_{СИ} = 0$ В; 0,5 В; 1 В; 2 В; 4 В; 6 В; 8 В и точку B_2 с абсциссой $U_{СИ} = U''_{СИ} > U'_{СИ}$ (рис. 2.7б). Например, $U'_{СИ} = 0$ В, $U''_{СИ} = 0,5$ В; $U'_{СИ} = 0,5$ В, $U''_{СИ} = 1$ В; ... ; $U'_{СИ} = 8$ В, $U''_{СИ} = 10$ В. С помощью таблицы 2.6 определить значения ординат I'_C и I''_C точек A_2 и B_2 . Вычислить значения параметра y_{22} в точках $U_{СИ} = U'_{СИ}$ по формуле

$$y_{22}(U'_{СИ}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{СИ}} = \frac{I''_C - I'_C}{U''_{СИ} - U'_{СИ}}.$$

Результаты расчётов занести в таблицу 2.6. По данным таблицы 2.6 построить зависимость параметра y_{22} полевого транзистора с индуцированным n -каналом от выходного напряжения $U_{СИ}$.

6. Содержание отчёта

1. Номер, наименование и цель работы.
2. Электрические схемы исследования полевых транзисторов: с управляющим p - n -переходом и n -каналом, со встроенным n -каналом, с индуцированным n -каналом (рис. 2.2, 2.4, 2.6).
3. Результаты исследований:
 - таблицы 2.1–2.6;
 - семейства передаточных и выходных статических характеристик полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом, включенного по схеме с общим истоком: $I_C(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = \text{const}$, $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$;
 - зависимость статической выходной проводимости полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом от выходного напряжения $G_{\text{вых}}(U_{СИ})$;
 - зависимость дифференциального параметра y_{21} полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом от входного напряжения $y_{21}(U_{ЗИ})$;
 - зависимость дифференциального параметра y_{22} полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и n -каналом от выходного напряжения $y_{22}(U_{СИ})$;
 - семейства передаточных и выходных статических характеристик полевого транзистора со встроенным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком: $I_C(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = \text{const}$, $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$;
 - зависимость статической выходной проводимости полевого тран-

- зистора со встроенным n -каналом от выходного напряжения $G_{\text{вых}}(U_{\text{СИ}})$;
- зависимость дифференциального параметра y_{21} полевого транзистора со встроенным n -каналом от входного напряжения $y_{21}(U_{\text{ЗИ}})$;
 - зависимость дифференциального параметра y_{22} полевого транзистора со встроенным n -каналом от выходного напряжения $y_{22}(U_{\text{СИ}})$;
 - семейства передаточных и выходных статических характеристик полевого транзистора с индуцированным n -каналом, включенного по схеме с общим истоком: $I_C(U_{\text{ЗИ}})$ при $U_{\text{СИ}} = \text{const}$, $I_C(U_{\text{СИ}})$ при $U_{\text{ЗИ}} = \text{const}$;
 - зависимость статической выходной проводимости полевого транзистора с индуцированным n -каналом от выходного напряжения $G_{\text{вых}}(U_{\text{СИ}})$;
 - зависимость дифференциального параметра y_{21} полевого транзистора с индуцированным n -каналом от входного напряжения $y_{21}(U_{\text{ЗИ}})$;
 - зависимость дифференциального параметра y_{22} полевого транзистора с индуцированным n -каналом от выходного напряжения $y_{22}(U_{\text{СИ}})$.

4. Выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
**ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

1. Цель работы

Изучить конструкции интегральных микросхем и ознакомиться с технологическими процессами их изготовления.

2. Литература

1. *Электроника/ А. И. Бреус, К. И. Савченко, Ю. М. Сподобаев;* Под ред. *А. И. Бреуса.* – М.: Радио и связь, 2001.
2. *Степаненко И. П.* Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000.
3. *Петров К. С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – СПб.: Питер, 2003.
4. *Пасынков В. В., Чиркин Л. К.* Полупроводниковые приборы. – СПб.: Издательство «Лань», 2003.
5. *Росадо Л.* Физическая электроника и микроэлектроника: Пер. с испан. С. И. Баскакова/ Под ред. В. А. Терехова. – М.: Высшая школа, 1991.

3. Контрольные вопросы

1. Сформулировать определение полупроводниковой интегральной микросхемы. ([1], с. 85–86; [2], с. 13, 15–17; [3], с. 319; [4], с. 333–334; [5], с. 216.)
2. Сформулировать определение гибридной интегральной микросхемы. ([1], с. 86; [2], с. 14, 17–18; [3], с. 319–320; [4], с. 334–335; [5], с. 216–217.)
3. Как определяется степень интеграции микросхемы? Какое число элементов и компонентов может содержать: микросхема первой степени интеграции; микросхема второй степени интеграции; микросхема третьей степени интеграции? ([1], с. 83; [2], с. 16–17; [3], с. 319; [4], с. 333.)
4. Как определяется плотность упаковки интегральной микросхемы? ([1], с. 83; [2], с. 17; [4], с. 333.)
5. Рассказать об основных технологических операциях, используемых при изготовлении полупроводниковых интегральных микросхем: фотолитографии, диффузии, ионной имплантации, эпитаксии, окислении, металлизации. ([1], с. 83–85; [2], с. 169–202; [3], с. 343–353; [4], с. 47–50; [5], с. 223–234.)

6. Каким образом реализуются биполярные транзисторы в полупроводниковых интегральных микросхемах? ([1], с. 87–90; [2], с. 227–244; [3], с. 325–332; [4], с. 338–342; [5], с. 243–250.)

7. Каким образом реализуются полевые транзисторы в полупроводниковых интегральных микросхемах? ([2], с. 247–258; [3], с. 339–343; [4], с. 343; [5], с. 273–277, 278–280, 292–295.)

8. Каким образом реализуются диоды в полупроводниковых интегральных микросхемах? ([1], с. 90–91; [2], с. 244–246; [3], с. 332–334; [4], с. 343–344; [5], с. 249–250.)

9. Каким образом реализуются резисторы и конденсаторы в полупроводниковых интегральных микросхемах? ([1], с. 91–93; [2], с. 258–271; [3], с. 334–339; [4], с. 344–347, 348–350; [5], с. 235, 236.)

10. Каким образом реализуются плёночные резисторы, конденсаторы и индуктивности в гибридных интегральных микросхемах? ([1], с. 95–97; [2], с. 274–279; [3], с. 320–324; [4], с. 347–348, 350; [5], с. 235, 236–237.)

11. Каким образом производится изоляция элементов интегральных микросхем? ([1], с. 93–94; [2], с. 218–226; [3], с. 325, 357–358; [4], с. 336–338; [5], с. 220–221.)

4. Описание лабораторного макета

В состав лабораторного макета входят:

- лабораторный стенд, на котором размещены интегральные микросхемы;
- микроскоп.

5. Лабораторное задание и порядок выполнения работы

Определить, какие интегральные микросхемы (ИМС), размещённые на лабораторном стенде, относятся к полупроводниковым, а какие – к гибридным ИМС. Указать типы интегральных микросхем в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

№ ИМС	Маркировка ИМС	Тип ИМС (полупроводниковая или гибридная)
1		
⋮		

Маркировка изучаемых в лабораторной работе интегральных микросхем состоит из шести элементов. Примеры маркировки микросхем приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2.

$\frac{K}{1}$	$\frac{P}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{118}{4}$	$\frac{ПА}{5}$	$\frac{1Б}{6}$	$\frac{K}{1}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{55}{4}$	$\frac{ЛА}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{K}{1}$	$\frac{Б}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{402}{4}$	$\frac{УЕ}{5}$	$\frac{1-1}{6}$
---------------	---------------	---------------	-----------------	----------------	----------------	---------------	---------------	----------------	----------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-----------------	----------------	-----------------

Первый элемент (буква *K*) указывает, что микросхема предназначена для устройств широкого применения.

Второй элемент (одна буква) указывает материал и тип корпуса микросхемы:

- A* – пластмассовый планарный корпус;
- Б* – бескорпусная микросхема;
- E* – металлополимерный корпус с параллельным двухрядным расположением выводов;
- И* – стеклокерамический планарный корпус;
- M* – металлокерамический, керамический или стеклокерамический корпус с параллельным двухрядным расположением выводов;
- H* – кристаллоноситель (безвыводной);
- P* – пластмассовый корпус с параллельным двухрядным расположением выводов;
- C* – стеклокерамический корпус с двухрядным расположением выводов;
- Φ – микрокорпус.

Третий элемент (одна цифра) указывает тип микросхемы:

- 1, 5, 6, 7 – полупроводниковые;
- 2, 4, 8 – гибридные;
- 3 – прочие (плёночные, керамические, вакуумные).

Четвёртый элемент (две или три цифры) указывает порядковый номер разработки серии ИМС.

Пятый элемент (две буквы) указывает функциональное назначение микросхемы:

- АГ* – формирователь прямоугольных импульсов;
- ИЕ* – цифровое устройство – счётчик;
- ЛА* – логический элемент «И–НЕ»;
- ЛБ* – логический элемент «И–НЕ»/ «ИЛИ–НЕ»;
- ЛН* – логический элемент «НЕ»;
- НТ* – набор транзисторов;
- ПА* – цифро–аналоговый преобразователь;
- ТР* – триггер с отдельным запуском (RS–триггер);
- УВ* – усилитель высокочастотный;
- УЕ* – усилитель–повторитель;
- УД* – усилитель операционный;

- УИ* – усилитель импульсный;
- УН* – усилитель низкой частоты;
- УР* – усилитель промежуточной частоты;
- УС* – усилитель дифференциальный.

Шестой элемент указывает порядковый номер разработки ИМС в серии. Следующие затем буквы от *А* до *Я* указывают на разбраковку (допуск на разброс) по электрическим параметрам ИМС.

В случае бескорпусных микросхем, в конце условного обозначения через дефис приводится цифра, указывающая модификацию конструктивного исполнения:

- 1 – с гибкими выводами;
- 2 – с ленточными выводами, в том числе на полиамидной плёнке;
- 3 – с жёсткими выводами;
- 4 – неразделённые на общей пластине;
- 5 – разделённые без потери ориентировки;
- 6 – с контактными площадками без выводов (кристалл).

Расшифровать маркировку указанной преподавателем интегральной микросхемы, заполнив таблицу 3.3.

Таблица 3.3.

Элемент маркировки ИМС	Расшифровка
⋮	

Зарисовать эскиз корпуса указанной преподавателем микросхемы с обозначением номеров выводов. Указать на эскизе размеры микросхемы, определив их с помощью микроскопа. Пример эскиза корпуса интегральной микросхемы приведён на рисунке 3.1. Нумерация выводов производится следующим образом. Первым считается вывод, напротив которого на корпусе микросхемы изображена метка в виде треугольника (рис. 3.1). Нумерация остальных выводов ведётся от первого вывода по часовой стрелке.

Зарисовать принципиальную электрическую схему указанной преподавателем интегральной микросхемы. Пример электрической схемы ИМС приведён на рисунке 3.2. Электрические схемы остальных ИМС, изучаемых в лабораторной работе, приведены в Приложении.

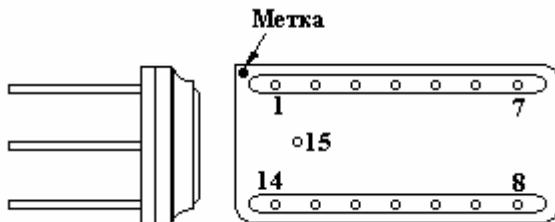


Рис. 3.1. Эскиз корпуса интегральной микросхемы серии К228.

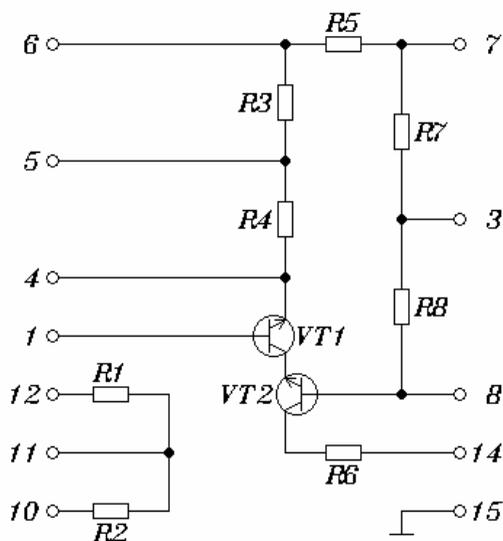


Рис. 3.2. Интегральная микросхема 2UC283 (K228UB3) – усилитель каскодный. Схема электрическая принципиальная.

Выполнить эскизный чертёж топологии указанной преподавателем микросхемы размером не менее $10 \times 10 \text{ см}^2$ с обозначением номеров выводов. Указать на топологическом чертеже все элементы и компоненты принципиальной электрической схемы ИМС. Пример чертежа топологии интегральной микросхемы приведён на рисунке 3.3. На топологическом чертеже резисторы изображаются площадками с точечным фоном, транзисторы – чистыми площадками в виде квадратов с указанием коллекторов (К) и эмиттеров (Э), диоды – чистыми площадками в виде квадратов с указанием анодов (А) и катодов (К). Тонкими

линиями показываются проволочные соединительные проводники. Плёночные межсоединения и контактные площадки изображаются в виде чистых прямоугольников.

Определить степень интеграции указанной преподавателем ИМС. Степень интеграции K вычисляется по формуле

$$K = \begin{cases} [\lg N], & \text{(если } \lg N \text{ – целое число),} \\ [\lg N] + 1, & \text{(если } \lg N \text{ – не целое число),} \end{cases}$$

где N – количество элементов и компонентов, содержащихся в микросхеме; запись $[\alpha]$ обозначает целую часть числа α . Таким образом, степень интеграции микросхемы K вычисляется путём округления значения $\lg N$ до ближайшего большего целого числа.

Определить плотность упаковки указанной преподавателем интегральной микросхемы. Плотность упаковки W есть число элементов и компонентов микросхемы, приходящееся на единицу площади. Параметр W вычисляется по формуле

$$W = \frac{N}{S},$$

где S – площадь микросхемы. Плотность упаковки полупроводниковой интегральной микросхемы обычно измеряется в $1/\text{мм}^2$. В случае гибридной микросхемы, параметр W принято измерять в $1/\text{см}^2$.

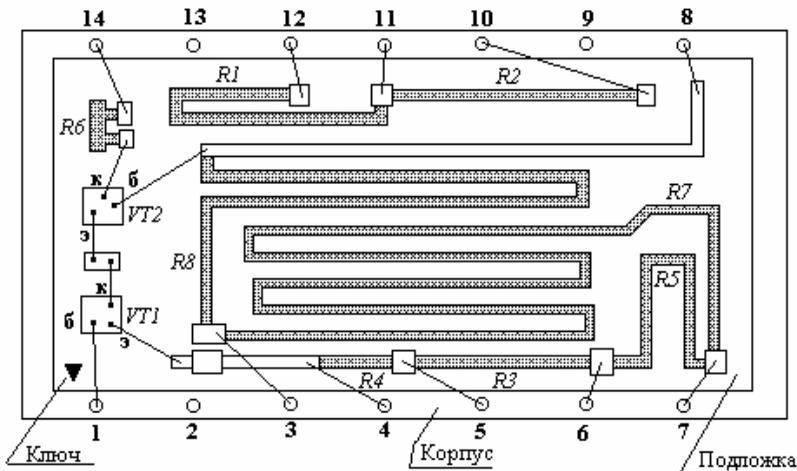


Рис. 3.3. Топологический чертёж микросхемы 2UC283 (K228UB3).

6. Содержание отчёта

1. Номер, наименование и цель работы.
2. Таблицы 3.1, 3.3.
3. Эскиз корпуса интегральной микросхемы с обозначением номеров выводов и указанием размеров.
4. Принципиальная электрическая схема ИМС.
5. Чертёж топологии интегральной микросхемы с обозначением номеров выводов и указанием всех элементов и компонентов.
6. Расчёт степени интеграции микросхемы.
7. Расчёт плотности упаковки микросхемы.
8. Выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
**РЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С
ПОМОЩЬЮ НАБОРА ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ «ЗИ–НЕ»**

1. Цель работы

Изучить основные логические операции («НЕ», «И», «ИЛИ», «И–НЕ», «ИЛИ–НЕ») и освоить их реализацию с помощью набора логических элементов «И–НЕ». Изучить работу логических элементов «ЗИ–НЕ», входящих в состав интегральной микросхемы К155ЛА4.

2. Литература

1. Электроника/ *А. И. Бреус, К. И. Савченко, Ю. М. Сподобаев*; Под ред. *А. И. Бреуса*. – М.: Радио и связь, 2001.

2. *Петров К. С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – СПб.: Питер, 2003.

3. *Степаненко И. П.* Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000.

4. *Агаханян Т. М.* Интегральные микросхемы. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

3. Контрольные вопросы

1. Привести таблицу истинности для логической операции \bar{y} (операции «НЕ» или операции инверсии). ([1], с. 107; [3], с. 412.)

2. Привести таблицу истинности для логической операции $y_1 \cdot y_2$ (операции «2И» или операции конъюнкции). ([1], с. 107; [3], с. 413.)

3. Привести таблицу истинности для логической операции $y_1 \cdot y_2$ (операции «2И–НЕ»). ([1], с. 108; [3], с. 413; [4], с. 257.)

4. Привести таблицу истинности для логической операции $y_1 + y_2$ (операции «2ИЛИ» или операции дизъюнкции). ([1], с. 107–108; [3], с. 412–413.)

5. Привести таблицу истинности для логической операции $y_1 + y_2$ (операции «2ИЛИ–НЕ»). ([1], с. 108; [3], с. 413; [4], с. 257.)

6. Изобразить условное обозначение логического элемента «НЕ». ([1], с. 107; [2], с. 400–401; [3], с. 412.)

7. Изобразить условное обозначение логического элемента «2И». ([1], с. 107; [2], с. 400–401; [3], с. 412.)

8. Изобразить условное обозначение логического элемента «2И–НЕ». ([1], с. 108; [2], с. 400–401; [3], с. 412; [4], с. 256–257.)

9. Изобразить условное обозначение логического элемента «2ИЛИ». ([1], с. 107–108; [2], с. 400–401; [3], с. 412.)

10. Изобразить условное обозначение логического элемента «2ИЛИ–НЕ». ([1], с. 108; [2], с. 400–401; [3], с. 412; [4], с. 256–257.)

11. Сформулировать определение логического перепада логического элемента. ([2], с. 400–401; [3], с. 413.)

12. Описать принцип действия логического элемента «2ИЛИ–НЕ» транзисторной логики с непосредственными связями (ТЛНС) или резисторно–транзисторной логики (РТЛ). ([1], с. 108–109; [2], с. 401–402; [3], с. 414–415; [4], с. 258–260.)

13. Описать принцип действия логического элемента «2И–НЕ» диодно–транзисторной логики (ДТЛ). ([1], с. 109–110; [2], с. 402–403; [4], с. 260–278.)

14. Описать принцип действия логического элемента «2И–НЕ» транзисторно–транзисторной логики (ТТЛ). ([1], с. 110; [2], с. 403–406; [3], с. 415–419; [4], с. 278–293.)

15. Описать принцип действия логического элемента «НЕ» транзисторно–транзисторной логики (ТТЛ). ([3], с. 418.)

16. Описать принцип действия логического элемента «2ИЛИ–НЕ» транзисторно–транзисторной логики (ТТЛ). ([3], с. 418.)

17. Описать принцип действия переключателя тока на основе двух биполярных транзисторов со связанными эмиттерами. ([2], с. 406–407; [3], с. 305–310.)

18. Описать принцип действия логического элемента «2ИЛИ–НЕ / 2ИЛИ» эмиттерно связанной логики (ЭСЛ). ([1], с. 111–112; [2], с. 406–408; [3], с. 423–426; [4], с. 293–310.)

19. Описать принцип действия биполярного транзистора с инжекционным питанием. ([2], с. 331–332.)

20. Описать принцип действия логического элемента «2ИЛИ–НЕ» интегральной инжекционной логики (И²Л). ([1], с. 112–113; [2], с. 408–411; [3], с. 419–423; [4], с. 310–320.)

4. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- лабораторный стенд;
- блок питания;
- монтажные проводники (7 шт.).

Схема лабораторного стенда изображена на его панели, а также на рисунке 4.1. На лабораторном стенде размещены две одинаковые интегральные микросхемы ($D1$ и $D2$) типа К155ЛА4, каждая из которых представляет собой три логических элемента «3И–НЕ» ($D1.1$, $D1.2$, ..., $D2.3$). Напряжения питания на микросхемы подаются от двух источников постоянного напряжения, входящих в состав блока пита-

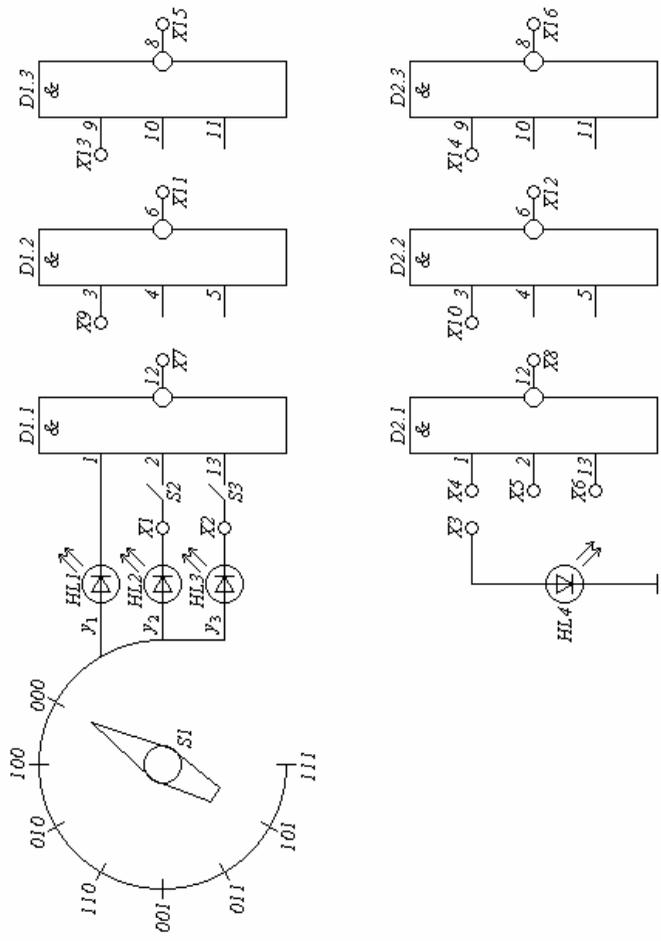


Рис. 4.1. Схема лабораторного стенда.

ния. Блок питания соединён разъёмом с лабораторным стендом. Тумблер включения расположен сбоку на корпусе блока питания. На панели блока питания размещены вольтметры $V1$ и $V2$, измеряющие напряжения питания, подаваемые на микросхемы. Эти напряжения составляют 5 В. На панели блока питания размещены также: лампочка «Сеть» (индикатор включения блока питания) и две красные индикаторные лампочки перегрузки источников напряжения питания.

Каждый из используемых в работе логических элементов имеет три входа и один выход. Если сигналы подаются на все три входа логического элемента, то он выполняет логическую операцию «3И–НЕ». Если сигналы подаются только на два входа логического элемента, то он выполняет операцию «2И–НЕ». Если сигнал подаётся на один вход, то логический элемент выполняет операцию «НЕ».

На рисунке 4.1 символами y_1, y_2, y_3 обозначены логические величины, соответствующие входным цифровым сигналам U_1, U_2, U_3 . Каждая из них может принимать только два значения: 1 («логическая единица») и 0 («логический ноль»). Логической единице соответствует напряжение $U_j = 2,5$ В, ($j = 1, 2, 3$); логическому нулю соответствует напряжение $U_j = 0$ В, ($j = 1, 2, 3$). Различные комбинации значений величин y_1, y_2, y_3 выбираются с помощью галетного переключателя $S1$ (рис. 4.1), расположенного на панели лабораторного стенда. Значения, принимаемые величинами y_1, y_2, y_3 , можно определить по положению ручки переключателя $S1$. Каждому из восьми положений ручки соответствует последовательность из трёх цифр (рис. 4.1). Первая цифра указывает значение величины y_1 , вторая – значение величины y_2 , третья – значение величины y_3 . Кроме того, значения величин y_1, y_2, y_3 можно определить с помощью светоизлучающих диодов $HL1, HL2, HL3$ (рис. 4.1), расположенных на панели лабораторного стенда. Если, например, светодиод $HL1$ излучает, то соответствующая ему величина $y_1 = 1$. В противном случае $y_1 = 0$. Аналогичным образом определяются значения величин y_2 и y_3 .

На панели лабораторного стенда расположены также ключи $S2$ и $S3$ (рис. 4.1). Нижнее положение каждого из них соответствует его замкнутому состоянию, верхнее – разомкнутому. Если ключ $S2$ замкнут, то входной сигнал, соответствующий величине y_2 , подаётся на вход 2 логического элемента $D1.1$ (рис. 4.1). Если ключ $S2$ разомкнут, то данный сигнал, минуя вход 2 логического элемента $D1.1$, можно подать на вход другого логического элемента ($D1.2, D1.3, D2.1, D2.2, D2.3$), соединив с помощью монтажного проводника гнездо $X1$ с соответствующим этому входу гнездом ($X4-X6, X9, X10, X13, X14$) (рис. 4.1). Если ключ $S3$ замкнут, то входной сигнал, соответствующий величине y_3 ,

подаётся на вход $I3$ логического элемента $D1.1$. Если ключ $S3$ разомкнут, то данный сигнал, минуя вход $I3$ логического элемента $D1.1$, можно подать на вход другого логического элемента. При любых положениях ключей $S2$ и $S3$ входной сигнал, соответствующий величине y_1 , подаётся на вход I логического элемента $D1.1$.

Чтобы определить значение сигнала на выходе какого-либо логического элемента, необходимо соединить соответствующее этому выходу гнездо ($X7, X8, X11, X12, X15, X16$) с гнездом $X3$ (рис. 4.1). Если при этом светодиод $HL4$ излучает, то данному выходному сигналу соответствует «логическая единица». В противном случае ему соответствует «логический ноль».

5. Лабораторное задание и порядок выполнения работы

Внимание! При выполнении работы необходимо соблюдать следующие правила.

- Не перемещать лабораторную установку после включения блока питания, во избежание нарушения контакта между блоком питания и лабораторным стендом.
- Напряжения питания интегральных микросхем $D1$ и $D2$, регистрируемые вольтметрами $V1$ и $V2$, расположенными на панели блока питания, не должны превышать 5,5 В. В противном случае следует выключить блок питания тумблером, расположенным сбоку на его корпусе.
- При загорании красных индикаторных лампочек перегрузки источников напряжения питания следует выключить блок питания.

Из одного или нескольких логических элементов «ЗИ–НЕ» ($D1.1, D1.2, D1.3, D2.1, D2.2, D2.3$), расположенных на панели лабораторного стенда (рис. 4.1), с помощью монтажных проводников необходимо собрать схемы, выполняющие следующие логические операции:

- \bar{y}_1 (операция «НЕ»),
- $y_1 \cdot y_2$ (операция «2И–НЕ», отрицание логического произведения величин y_1 и y_2),
- $y_1 \cdot y_2$ (операция «2И», логическое произведение или конъюнкция величин y_1 и y_2),
- $y_1 + y_2$ (операция «2ИЛИ», логическая сумма или дизъюнкция величин y_1 и y_2),
- $y_1 + y_2$ (операция «2ИЛИ–НЕ», отрицание логической суммы величин y_1 и y_2),
- $\bar{y}_1 \cdot y_2$,

- $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$ (операция «ЗИ–НЕ», отрицание логического произведения величин y_1, y_2, y_3),
- $y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$ (операция «ЗИ», логическое произведение или конъюнкция величин y_1, y_2, y_3),
- $y_1 + y_2 + y_3$ (операция «ЗИЛИ», логическая сумма или дизъюнкция величин y_1, y_2, y_3),
- $\overline{y_1 + y_2 + y_3}$ (операция «ЗИЛИ–НЕ», отрицание логической суммы величин y_1, y_2, y_3),
- $(y_1 \cdot y_2) + y_3$.

При этом следует использовать логические правила:

$$\overline{\overline{y}} = y, \quad (4.1)$$

$$y_1 + y_2 = \overline{\overline{y_1} \cdot \overline{y_2}}, \quad (4.2)$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = \overline{\overline{y_1} \cdot \overline{y_2} \cdot \overline{y_3}}. \quad (4.3)$$

Включить блок питания тумблером, расположенным сбоку на корпусе блока питания, после чего должна загореться индикаторная лампочка «Сеть» на панели блока питания. Напряжения источников питания логических элементов, регистрируемые вольтметрами $V1$ и $V2$, расположенными на панели блока питания, должны составлять $5 \pm 0,5$ В.

1. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $\overline{y_1}$ (операцию «НЕ»). Разомкнуть ключи $S2$ и $S3$, расположенные на панели лабораторного стенда (рис. 4.1), переведя их в верхние положения. При этом сигнал, соответствующий величине y_1 , подаётся на вход I логического элемента $D1.1$; сигналы, соответствующие величинам y_2 и y_3 , не подаются на входы 2 и 13 (рис. 4.1). Выход логического элемента $D1.1$ подключить к светоизлучающему диоду $HL4$ на панели лабораторного стенда, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X7$ и $X3$ (рис. 4.1).

Убедиться в том, что собранная схема, изображённая на рисунке 4.2, выполняет операцию $\overline{y_1}$. Ручку галетного переключателя $S1$, расположенного на панели лабораторного стенда (рис. 4.1), перевести в положение «000». Первая из этих цифр указывает значение логической величины y_1 ($y_1 = 0$). Значение величины y_1 можно также определить с помощью светоизлучающего диода $HL1$, расположенного на панели лабораторного стенда (рис. 4.1). При данном положении ручки галетного переключателя $S1$ светодиод $HL1$ не излучает. Следовательно, соответствующая этому светодиоду величина $y_1 = 0$. Таблица 4.1 представляет собой таблицу истинности операции $\overline{y_1}$. Как следует из таб-

лицы 4.1, при $y_1 = 0$ должно выполняться равенство $\bar{y}_1 = 1$. Следовательно выходной сигнал в собранной схеме должен принимать значение «логическая единица». Тем самым, светодиод *HL4*, указывающий значение выходного сигнала, должен излучать.

Перевести ручку галетного переключателя *S1* в положение «100», соответствующее значению величины $y_1 = 1$. При этом светодиод *HL1* должен излучать. Как следует из таблицы 4.1, при $y_1 = 1$ должно выполняться равенство $\bar{y}_1 = 0$. Следовательно, выходной сигнал должен принимать значение «логический нуль». Тем самым, светодиод *HL4* не должен излучать.

Зарисовать собранную схему (рис. 4.2).

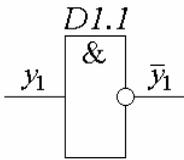


Рис. 4.2. Схема, выполняющая логическую операцию \bar{y}_1 .

Таблица 4.1.

y_1	\bar{y}_1
0	1
1	0

2. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2}$ (операцию «2И–НЕ»). Замкнуть ключ *S2*, переведя его в нижнее положение. Разомкнуть ключ *S3*, переведя его в верхнее положение. При этом сигналы, соответствующие величинам y_1 и y_2 , подаются на входы 1 и 2 логического элемента *D1.1*; сигнал, соответствующий величине y_3 , не подаётся на вход 13. Выход логического элемента *D1.1* подключить к светоизлучающему диоду *HL4*, соединив с помощью монтажного проводника гнезда *X7* и *X3* (рис. 4.1).

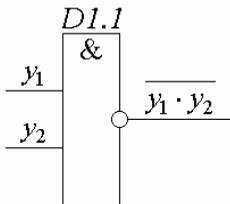


Рис. 4.3. Схема, выполняющая логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2}$.

Убедиться в том, что собранная схема, изображённая на рисунке 4.3, выполняет логическую операцию $y_1 \cdot y_2$. Перевести ручку галетного переключателя *SI* в положение «000». Первая из этих цифр указывает значение логической величины y_1 ($y_1 = 0$), вторая – значение логической величины y_2 ($y_2 = 0$). При этом светодиоды *HL1* и *HL2*, соответствующие величинам y_1 и y_2 , не излучают. Таблице истинности операции $y_1 \cdot y_2$ соответствуют первый, второй и пятый столбцы таблицы 4.2. Как следует из таблицы 4.2, при $y_1 = 0$ и $y_2 = 0$ должно выполняться равенство $y_1 \cdot y_2 = 1$. Следовательно выходному сигналу в собранной схеме должна соответствовать «логическая единица». Тем самым, светодиод *HL4*, указывающий значение выходного сигнала, должен излучать.

Таблица 4.2.

y_1	y_2	\bar{y}_1	$y_1 \cdot y_2$	$\overline{y_1 \cdot y_2}$	$y_1 + y_2$	$\overline{y_1 + y_2}$	$\bar{y}_1 \cdot y_2$
0	0	1	0	1	0	1	0
1	0	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	0	0

Перевести ручку галетного переключателя *SI* в положение «100». При этом $y_1 = 1$ (светодиод *HL1* излучает), $y_2 = 0$ (светодиод *HL2* не излучает). Как следует из таблицы 4.2, при $y_1 = 1$ и $y_2 = 0$ должно выполняться равенство $y_1 \cdot y_2 = 1$. Следовательно, светодиод *HL4*, указывающий значение выходного сигнала в собранной схеме, должен излучать.

Перевести ручку галетного переключателя *SI* в положение «010». При этом $y_1 = 0$ (светодиод *HL1* не излучает), $y_2 = 1$ (светодиод *HL2* излучает). Как следует из таблицы 4.2, при $y_1 = 0$ и $y_2 = 1$ должно выполняться равенство $y_1 \cdot y_2 = 1$. Следовательно, светодиод *HL4* должен излучать.

Перевести ручку галетного переключателя *SI* в положение «110». При этом $y_1 = 1$ (светодиод *HL1* излучает), $y_2 = 1$ (светодиод *HL2* излучает). Как следует из таблицы 4.2, при $y_1 = 1$ и $y_2 = 1$ должно выполняться равенство $y_1 \cdot y_2 = 0$. Следовательно, светодиод *HL4* не должен излучать.

Зарисовать собранную схему (рис. 4.3).

3. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $y_1 \cdot y_2$ (операцию «2И»). Замкнуть ключ *S2*, переведя его в нижнее положение.

ние. Разомкнуть ключ $S3$, переведя его в верхнее положение. При этом сигналы, соответствующие величинам y_1 и y_2 , подаются на входы 1 и 2 логического элемента $DI.1$; сигнал, соответствующий величине y_3 , не подаётся на вход 13. Выход логического элемента $DI.1$ подключить ко входу 3 логического элемента $DI.2$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X7$ и $X9$ (рис. 4.1). Выход логического элемента $DI.2$ подключить к светоизлучающему диоду HLA , соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X11$ и $X3$. Сигнал на выходе логического элемента $DI.1$ соответствует операции $y_1 \cdot y_2$. Сигнал на выходе логического элемента $DI.2$ соответствует операции $\overline{y_1 \cdot y_2}$ (двойное отрицание логического произведения величин y_1 и y_2). Используя правило (4.1), имеем

$$\overline{\overline{y_1 \cdot y_2}} = y_1 \cdot y_2.$$

Выбирая с помощью галетного переключателя $S1$ различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих величинам y_1 и y_2 , убедиться в том, что собранная схема, изображённая на рисунке 4.4, выполняет логическую операцию $y_1 \cdot y_2$. Таблице истинности операции $y_1 \cdot y_2$ соответствуют первый, второй и четвёртый столбцы таблицы 4.2. Зарисовать собранную схему (рис. 4.4).

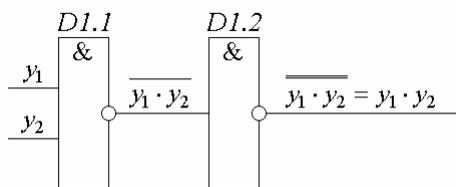


Рис. 4.4. Схема, выполняющая логическую операцию $y_1 \cdot y_2$.

4. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $y_1 + y_2$ (операцию «2ИЛИ»). Разомкнуть ключи $S2$ и $S3$, переведя их в верхние положения. При этом сигнал, соответствующий логической величине y_1 , подаётся на вход 1 логического элемента $DI.1$; сигналы, соответствующие величинам y_2 и y_3 , не подаются на входы 2 и 13. Подать сигнал, соответствующий величине y_2 , на вход 3 логического элемента $DI.2$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X1$ и $X9$ (рис. 4.1). Выход логического элемента $DI.1$ подключить ко входу 1 логического элемента $D2.1$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X7$ и $X4$. Выход логического элемента $DI.2$ подключить ко входу 2 логического элемента $D2.1$, соединив с помощью монтажного

проводника гнезда $X11$ и $X5$. Выход логического элемента $D2.1$ подключить к светоизлучающему диоду $HL4$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X8$ и $X3$. Выходному сигналу логического элемента $D1.1$ соответствует операция \bar{y}_1 . Выходному сигналу логического элемента $D1.2$ соответствует операция \bar{y}_2 . Выходному сигналу логического элемента $D2.1$ соответствует операция $\overline{\bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2}$. Используя правило (4.2), имеем

$$\overline{\bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2} = y_1 + y_2.$$

Выбирая с помощью галетного переключателя $S1$ различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих величинам y_1 и y_2 , убедиться в том, что собранная схема, изображённая на рисунке 4.5, выполняет логическую операцию $y_1 + y_2$. Таблице истинности операции $y_1 + y_2$ соответствуют первый, второй и шестой столбцы таблицы 4.2. Зарисовать собранную схему (рис. 4.5).

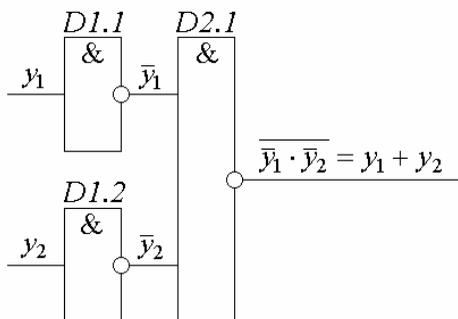


Рис. 4.5. Схема, выполняющая логическую операцию $y_1 + y_2$.

5. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $\overline{y_1 + y_2}$ (операцию «2ИЛИ–НЕ»). Выбирая с помощью галетного переключателя $S1$ различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1 и y_2 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $\overline{y_1 + y_2}$ соответствуют первый, второй и седьмой столбцы таблицы 4.2. Зарисовать собранную схему.

6. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $\bar{y}_1 \cdot y_2$. Выбирая с помощью галетного переключателя $S1$ различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1 и y_2 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице

истинности операции $\overline{y_1 \cdot y_2}$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 8 таблицы 4.2. Зарисовать собранную схему.

7. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$ (операцию «ЗИ–НЕ»). Замкнуть ключи $S2$ и $S3$, переведя их в нижние положения. При этом сигналы, соответствующие величинам y_1, y_2, y_3 , подаются на входы 1, 2, 13 логического элемента $DI.1$. Выход логического элемента $DI.1$ подключить к светоизлучающему диоду $HL4$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X7$ и $X3$ (рис. 4.1). Каждому положению ручки галетного переключателя SI соответствует последовательность из трёх цифр. Первая из этих цифр указывает значение логической величины y_1 , вторая – значение величины y_2 , третья – значение величины y_3 . Кроме того, значения величин y_1, y_2, y_3 можно определить с помощью светоизлучающих диодов $HL1, HL2, HL3$. Если, например, светодиод $HL3$ излучает, то соответствующая ему логическая величина y_3 принимает значение $y_3 = 1$. В противном случае, $y_3 = 0$.

Выбирая с помощью галетного переключателя SI различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что собранная схема, изображённая на рисунке 4.6, выполняет логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$. Таблице истинности операции $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 6 таблицы 4.3. Зарисовать собранную схему (рис. 4.6).

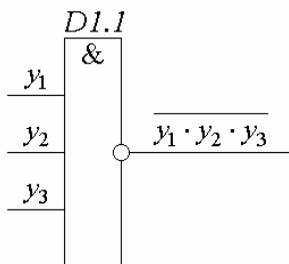


Рис. 4.6. Схема, выполняющая логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$.

Таблица 4.3.

y_1	y_2	y_3	$y_1 \cdot y_2$	$y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$	$\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$	$y_1 + y_2 + y_3$	$\overline{y_1 + y_2 + y_3}$	$(y_1 \cdot y_2) + y_3$
0	0	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	1	1	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	0	1

8. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$ (операцию «ЗИ»). Выбирая с помощью галетного переключателя SI различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 5 таблицы 4.3. Зарисовать собранную схему.

9. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $y_1 + y_2 + y_3$ (операцию «ЗИЛИ»), используя правило (4.3). Выбирая с помощью галетного переключателя SI различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $y_1 + y_2 + y_3$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 7 таблицы 4.3. Зарисовать собранную схему.

10. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $y_1 + y_2 + y_3$ (операцию «ЗИЛИ–НЕ»), используя правило (4.3). Выбирая с помощью галетного переключателя SI различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $y_1 + y_2 + y_3$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 8 таблицы 4.3. Зарисовать собранную схему.

11. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $(y_1 \cdot y_2) + y_3$, используя правило (4.3). Выбирая с помощью галетного переключателя SI различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $(y_1 \cdot y_2) + y_3$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 4, 9 таблицы 4.3. Зарисовать собранную схему.

6. Содержание отчёта

1. Номер, наименование и цель работы.

2. Схемы, выполняющие логические операции:

- $\overline{y_1}$ (операция «НЕ»),
- $y_1 \cdot y_2$ (операция «2И–НЕ»),
- $y_1 \cdot y_2$ (операция «2И»),
- $y_1 + y_2$ (операция «2ИЛИ»),
- $y_1 + y_2$ (операция «2ИЛИ–НЕ»),
- $\overline{y_1} \cdot y_2$,
- $y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$ (операция «3И–НЕ»),
- $y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$ (операция «3И»),
- $y_1 + y_2 + y_3$ (операция «3ИЛИ»),
- $y_1 + y_2 + y_3$ (операция «3ИЛИ–НЕ»),
- $(y_1 \cdot y_2) + y_3$.

4. Выводы по результатам работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ БИПОЛЯРНЫХ
ТРАНЗИСТОРОВ В ДИОДНОМ ВКЛЮЧЕНИИ**

1. Цель работы

Изучить схемы диодного включения интегральных биполярных транзисторов $n-p-n$ -типа и исследовать их вольт-амперные характеристики.

2. Литература

1. Электроника/ *А. И. Бреус, К. И. Савченко, Ю. М. Сподобаев*; Под ред. *А. И. Бреуса*. – М.: Радио и связь, 2001.
2. *Петров К. С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – СПб.: Питер, 2003.
3. *Степаненко И. П.* Основы микроэлектроники. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000.
4. *Пасынков В. В., Чиркин Л. К.* Полупроводниковые приборы. – СПб.: Издательство «Лань», 2003.

3. Контрольные вопросы

1. Изобразить структуру интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа. Объяснить возникновение паразитного $p-n-p$ -транзистора. ([1], с. 87–88; [2], с. 325–327; [3], с. 220–222, 230, 232; [4], с. 338–339.)
2. Изобразить эквивалентную схему интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с указанием паразитных ёмкостей и сопротивлений. ([1], с. 90; [2], с. 327–328; [3], с. 230–233.)
3. Перечислить технологические операции, используемые при изготовлении интегральных биполярных транзисторов $n-p-n$ -типа. ([1], с. 83–85; [2], с. 343–353, 355–357; [3], с. 171–202, 233–235; [4], с. 47–50.)
4. Каким образом производится изоляция интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с помощью обратно включенного $p-n$ -перехода? ([1], с. 93–94; [2], с. 325; [3], с. 218–223; [4], с. 336–337.)
5. Изобразить схему диодного включения, эквивалентную схему (с указанием паразитных ёмкостей и сопротивлений) и структуру интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с закороченными базой и эмиттером. ([1], с. 90–91; [2], с. 332–333; [3], с. 244; [4], с. 343–344.)

6. Объяснить возникновение паразитных ёмкостей и сопротивлений в схеме диодного включения интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с закороченными базой и эмиттером.

7. В каких режимах работают основной $n-p-n$ -транзистор и паразитный $p-n-p$ -транзистор при прямом и обратном включении диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с закороченными базой и эмиттером и изолированного обратно включенным $p-n$ -переходом? Происходит ли утечка тока из диода в подложку в данной схеме включения биполярного транзистора? ([1], с. 50; [2], с. 209; [4], с. 192–193.)

8. Изобразить схему диодного включения, эквивалентную схему (с указанием паразитных ёмкостей и сопротивлений) и структуру интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с разомкнутым эмиттером. ([1], с. 90–91; [2], с. 332–333; [3], с. 244; [4], с. 343–344.)

9. Объяснить возникновение паразитных ёмкостей и сопротивлений в схеме диодного включения интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с разомкнутым эмиттером.

10. Изобразить схему диодного включения, эквивалентную схему (с указанием паразитных ёмкостей и сопротивлений) и структуру интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с закороченными базой и коллектором. ([1], с. 90–91; [2], с. 332–333; [3], с. 244; [4], с. 343–344.)

11. Объяснить возникновение паразитных ёмкостей и сопротивлений в схеме диодного включения интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с закороченными базой и коллектором.

12. В каких режимах работают основной $n-p-n$ -транзистор и паразитный $p-n-p$ -транзистор при прямом и обратном включении диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с закороченными базой и коллектором и изолированного обратно включенным $p-n$ -переходом? Происходит ли утечка тока из диода в подложку в данной схеме включения биполярного транзистора? ([1], с. 50; [2], с. 209; [4], с. 192–193.)

13. Изобразить схему диодного включения, эквивалентную схему (с указанием паразитных ёмкостей и сопротивлений) и структуру интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с разомкнутым коллектором. ([1], с. 90–91; [2], с. 332–333; [3], с. 244; [4], с. 343–344.)

14. Объяснить возникновение паразитных ёмкостей и сопротивлений в схеме диодного включения интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с разомкнутым коллектором.

15. Изобразить схему диодного включения, эквивалентную схему (с указанием паразитных ёмкостей и сопротивлений) и структуру ин-

тегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с закороченными эмиттером и коллектором. ([1], с. 90–91; [2], с. 332–333; [3], с. 244; [4], с. 343–344.)

16. Объяснить возникновение паразитных ёмкостей и сопротивлений в схеме диодного включения интегрального биполярного транзистора $n-p-n$ -типа с закороченными эмиттером и коллектором.

17. В каких режимах работают основной $n-p-n$ -транзистор и паразитный $p-n-p$ -транзистор при прямом и обратном включении диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с закороченными эмиттером и коллектором и изолированного обратно включенным $p-n$ -переходом? Происходит ли утечка тока из диода в подложку в данной схеме включения биполярного транзистора? ([1], с. 50; [2], с. 209; [4], с. 192–193.)

18. Почему у диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с разомкнутым эмиттером, напряжение пробоя больше, чем у диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с разомкнутым коллектором? ([1], с. 90–91; [2], с. 334; [3], с. 245; [4], с. 343–344.)

19. Почему у диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с разомкнутым эмиттером, сила обратного тока насыщения больше, чем у диода, образованного интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с разомкнутым коллектором? ([1], с. 90–91; [2], с. 334; [3], с. 245.)

20. Почему диод, образованный интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с закороченными эмиттером и коллектором, обладает наибольшей ёмкостью? ([2], с. 334; [3], с. 245; [4], с. 343–344.)

21. Почему диод, образованный интегральным биполярным транзистором $n-p-n$ -типа с закороченными базой и коллектором, обладает наименьшим временем восстановления обратного сопротивления? ([1], с. 90–91; [2], с. 334; [3], с. 245; [4], с. 343–344.)

4. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят:

- лабораторный стенд;
- блок питания;
- лабораторная вставка с интегральной микросхемой КР198НТ1А;
- резистор с сопротивлением 1 кОм;
- монтажные проводники или перемычки (2 шт.).

Электрическая схема лабораторной установки изображена на рисунке 5.1 и на панели лабораторного стенда. Схема содержит источник постоянного напряжения E_2 , входящий в состав блока питания. Блок

питания соединён разъёмом с лабораторным стендом. Тумблер включения расположен сбоку на корпусе блока питания. Тумблер включения источника $E2$ и ручка плавной регулировки его напряжения расположены на панели блока питания. На панели блока питания размещены также: лампочка «Сеть» (индикатор включения блока питания), зелёная индикаторная лампочка включения источника напряжения $E2$, красная индикаторная лампочка перегрузки источника $E2$.

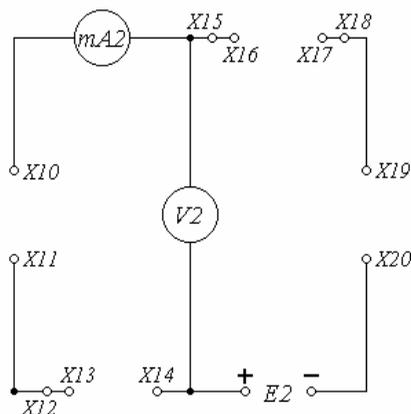


Рис. 5.1. Электрическая схема лабораторной установки.

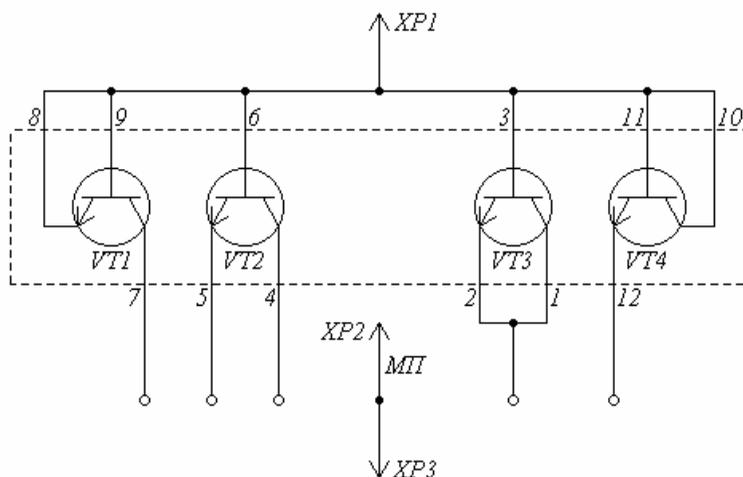


Рис. 5.2. Электрическая схема лабораторной вставки.

Исследуемые биполярные транзисторы входят в состав интегральной микросхемы КР198НТ1А, расположенной на лабораторной вставке. Электрическая схема лабораторной вставки изображена на рисунке 5.2. Базы всех четырёх транзисторов подключены к штыревому контакту *XP1* лабораторной вставки (рис. 5.2). На штыревом контакте *XP3* лабораторной вставки закреплён монтажный проводник *МП* со штыревым контактом *XP2*. С помощью штыревых контактов *XP1* и *XP3* лабораторная вставка подключается к гнездам *X10* и *X11* на панели лабораторного стенда (рис. 5.1). К гнездам *X16* и *X17* подключается резистор с сопротивлением 1 кОм. Гнёзда *X13* и *X14*, а также *X19* и *X20* (рис. 5.1) соединяются монтажными проводниками или перемычками.

Чтобы собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными базой и эмиттером, необходимо подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* вставки к выводу 7 микросхемы (рис. 5.2). Чтобы собрать схему диодного включения биполярного транзистора с разомкнутым коллектором, необходимо подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* к выводу 5 микросхемы. Чтобы собрать схему диодного включения биполярного транзистора с разомкнутым эмиттером, необходимо подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* к выводу 4 микросхемы. Чтобы собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными эмиттером и коллектором, необходимо подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* к выводам 1 и 2 микросхемы. Чтобы собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными базой и коллектором, необходимо подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* к выводу 12 микросхемы.

Абсолютное значение напряжения, приложенного к диоду, измеряется вольтметром *V2*, расположенным на панели блока питания. Абсолютное значение силы тока в диоде измеряется миллиамперметром *mA2*, расположенным на панели лабораторного стенда. Вольтметр *V2* и миллиамперметр *mA2* имеют переключатели пределов измерения.

5. Лабораторное задание и порядок выполнения работы

Внимание! При выполнении работы необходимо соблюдать следующие правила.

- *Не перемещать лабораторную установку после включения блока питания, во избежание нарушения контакта между блоком питания и лабораторным стендом.*

- Абсолютное значение силы тока в диоде, регистрируемое миллиамперметром $mA2$, не должно превышать 10 мА.
- Не допускать зашкаливания стрелочных индикаторов вольтметра $V2$ и миллиамперметра $mA2$.
- При загорании красной индикаторной лампочки перегрузки источника $E2$ необходимо уменьшить его напряжение ручкой плавной регулировки напряжения.
- Перед выполнением перечисленных ниже операций необходимо вывести ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$ в крайнее левое положение:
 - включение или выключение источника напряжения $E2$;
 - установка вставки на лабораторном стенде;
 - подключение резистора, монтажных проводников или переключателей к гнездам на панели лабораторного стенда;
 - замыкание или размыкание штыревого контакта $XP2$ монтажного проводника МП с одним из выводов интегральной микросхемы на лабораторной вставке (рис. 5.2).

1. Собрать схему исследования прямых ветвей вольт–амперных характеристик диодов. Для этого установить лабораторную вставку с интегральной микросхемой КР198НТ1А на лабораторном стенде, подключив штыревой контакт $XP1$ вставки (рис. 5.2) к гнезду $X11$ на лабораторном стенде (рис. 5.1), штыревой контакт $XP3$ – к гнезду $X10$. К гнездам $X16$ и $X17$ на панели лабораторного стенда подключить резистор с сопротивлением 1 кОм. Гнезда $X13$ и $X14$, а также $X19$ и $X20$ соединить с помощью монтажных проводников или переключателей.

Вывести в крайнее левое положение ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, расположенную на панели блока питания. Включить блок питания тумблером, расположенным сбоку на корпусе блока питания, после чего должна загореться индикаторная лампочка «Сеть» на панели блока питания. Тумблер включения источника напряжения $E2$ перевести в положение «Вкл», после чего должна загореться зелёная индикаторная лампочка включения, расположенная на панели блока питания.

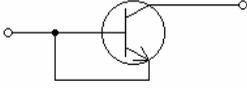
Тумблер переключения пределов измерения вольтметра $V2$, расположенный на панели блока питания, установить в положение «1 В». Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA2$, расположенный на панели лабораторного стенда, установить в положение «10 мА».

1.1. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными базой и эмиттером. Для этого подключить штыревой

контакт *XP2* монтажного проводника *МП* вставки к выводу 7 интегральной микросхемы (рис. 5.2). При этом аноду диода соответствуют база и эмиттер транзистора *VT1*, катоду – коллектор транзистора *VT1* (рис. 5.2).

Провести исследование прямой ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и эмиттером. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника *E2*, последовательно установить следующие значения силы прямого тока в диоде $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}; 0 \text{ мА}$, регистрируя их с помощью миллиамперметра *mA2*. С помощью вольтметра *V2* определить соответствующие значения прямого напряжения на диоде $U_{пр}$. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

Схема диодного включения транзистора $U_{эб}=0$					
$I_{пр}, \text{мА}$	10	6	...	0,5	0
$U_{пр}, \text{В}$					
$R_{пр}, \text{Ом}$					—

Используя данные таблицы 5.1, рассчитать статическое сопротивление при прямом включении $R_{пр}$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и эмиттером, по формуле

$$R_{пр} = \frac{U_{пр}}{I_{пр}} \quad (5.1)$$

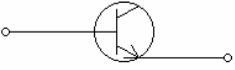
в точках, соответствующих значениям силы прямого тока в диоде: $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}$. Результаты расчётов занести в таблицу 5.1.

1.2. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с разомкнутым коллектором. Для этого подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* вставки к выводу 5 интегральной микросхемы (рис. 5.2). При этом аноду диода соответствует база транзистора *VT2*, катоду – эмиттер транзистора *VT2*.

Провести исследование прямой ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым коллектором. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника *E2*, последовательно установить следующие значения силы прямого тока в диоде $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}; 0 \text{ мА}$, регистрируя их с помощью миллиамперметра *mA2*. С помощью вольт-

метра $V2$ определить соответствующие значения прямого напряжения на диоде $U_{пр}$. Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2.

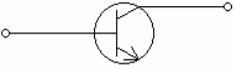
Схема диодного включения транзистора $I_k=0$					
$I_{пр}$, мА	10	6	...	0,5	0
$U_{пр}$, В					
$R_{пр}$, Ом					—
$I_{об}$, мА	-10	-6	...	-0,5	0
$U_{об}$, В					
$R_{об}$, Ом					—

Используя данные таблицы 5.2, рассчитать статическое сопротивление при прямом включении $R_{пр}$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым коллектором. Параметр $R_{пр}$ определяется по формуле (5.1) в точках, соответствующих значениям силы прямого тока в диоде: $I_{пр} = 10$ мА; 6 мА; 3 мА; 1 мА; 0,5 мА. Результаты расчётов занести в таблицу 5.2.

1.3. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с разомкнутым эмиттером. Для этого подключить штыревой контакт $XP2$ монтажного проводника $МП$ вставки к выводу 4 интегральной микросхемы (рис. 5.2). При этом аноду диода соответствует база транзистора $VT2$, катоду – коллектор транзистора $VT2$.

Провести исследование прямой ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым эмиттером. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения силы прямого тока в диоде $I_{пр} = 10$ мА; 6 мА; 3 мА; 1 мА; 0,5 мА; 0 мА, регистрируя их с помощью миллиамперметра $mA2$. С помощью вольтметра $V2$ определить соответствующие значения прямого напряжения на диоде $U_{пр}$. Результаты измерений занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3.

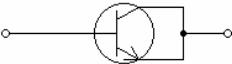
Схема диодного включения транзистора $I_s=0$					
$I_{пр}$, мА	10	6	...	0,5	0
$U_{пр}$, В					
$R_{пр}$, Ом					—

Используя данные таблицы 5.3, рассчитать статическое сопротивление при прямом включении $R_{пр}$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым эмиттером. Параметр $R_{пр}$ определяется по формуле (5.1) в точках, соответствующих значениям силы прямого тока в диоде: $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}$. Результаты расчётов занести в таблицу 5.3.

1.4. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными эмиттером и коллектором. Для этого подключить штыревой контакт $XP2$ монтажного проводника MII вставки к выводам 1 и 2 интегральной микросхемы (рис. 5.2). При этом аноду диода соответствует база транзистора $VT3$, катоду – эмиттер и коллектор транзистора $VT3$.

Провести исследование прямой ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения силы прямого тока в диоде $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}; 0 \text{ мА}$, регистрируя их с помощью миллиамперметра $mA2$. С помощью вольтметра $V2$ определить соответствующие значения прямого напряжения на диоде $U_{пр}$. Результаты измерений занести в таблицу 5.4.

Таблица 5.4.

Схема диодного включения транзистора $U_{кэ}=0$					
$I_{пр}, \text{ мА}$	10	6	...	0,5	0
$U_{пр}, \text{ В}$					
$R_{пр}, \text{ Ом}$					_____
$I_{об}, \text{ мА}$	-10	-6	...	-0,5	0
$U_{об}, \text{ В}$					
$R_{об}, \text{ Ом}$					_____

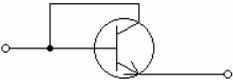
Используя данные таблицы 5.4, рассчитать статическое сопротивление при прямом включении $R_{пр}$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором. Параметр $R_{пр}$ определяется по формуле (5.1) в точках, соответствующих значениям силы прямого тока в диоде: $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}$. Результаты расчётов занести в таблицу 5.4.

1.5. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными базой и коллектором. Для этого подключить штыревой контакт $XP2$ монтажного проводника MII вставки к выводу 12 ин-

тегральной микросхемы (рис. 5.2). При этом аноду диода соответствуют база и коллектор транзистора $VT4$, катоду – эмиттер транзистора $VT4$.

Провести исследование прямой ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения силы прямого тока в диоде $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}; 0 \text{ мА}$, регистрируя их с помощью миллиамперметра $mA2$. С помощью вольтметра $V2$ определить соответствующие значения прямого напряжения на диоде $U_{пр}$. Результаты измерений занести в таблицу 5.5.

Таблица 5.5.

Схема диодного включения транзистора $U_{кб}=0$					
$I_{пр}, \text{ мА}$	10	6	...	0,5	0
$U_{пр}, \text{ В}$					
$R_{пр}, \text{ Ом}$					_____
$I_{об}, \text{ мА}$	-10	-6	...	-0,5	0
$U_{об}, \text{ В}$					
$R_{об}, \text{ Ом}$					_____

Используя данные таблицы 5.5, рассчитать статическое сопротивление при прямом включении $R_{пр}$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором. Параметр $R_{пр}$ определяется по формуле (5.1) в точках, соответствующих значениям силы прямого тока в диоде: $I_{пр} = 10 \text{ мА}; 6 \text{ мА}; 3 \text{ мА}; 1 \text{ мА}; 0,5 \text{ мА}$. Результаты расчётов занести в таблицу 5.5.

2. Собрать схему исследования обратных ветвей вольт–амперных характеристик диодов. Для этого установить лабораторную вставку с интегральной микросхемой КР198НТ1А на лабораторном стенде, подключив штыревой контакт $XP1$ вставки (рис. 5.2) к гнезду $X10$ на лабораторном стенде (рис. 5.1), штыревой контакт $XP3$ – к гнезду $X11$.

Тумблер переключения пределов измерения вольтметра $V2$ установить в положение «10 В». Тумблер переключения пределов измерения миллиамперметра $mA2$ установить в положение «10 мА».

2.1. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с разомкнутым коллектором. Для этого подключить штыревой контакт

XP2 монтажного проводника *МП* вставки к выводу 5 интегральной микросхемы (рис. 5.2).

Провести исследование обратной ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым коллектором. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника *E2*, последовательно установить следующие значения силы обратного тока в диоде $I_{об} = -10 \text{ мА}; -6 \text{ мА}; -2 \text{ мА}; -0,5 \text{ мА}; 0 \text{ мА}$, регистрируя их абсолютные значения с помощью миллиамперметра *mA2*. С помощью вольтметра *V2* определить соответствующие абсолютные значения обратного напряжения на диоде $U_{об}$, ($U_{об} < 0$). Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

Используя данные таблицы 5.2, рассчитать статическое сопротивление при обратном включении $R_{об}$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым коллектором, по формуле

$$R_{об} = \frac{U_{об}}{I_{об}} \quad (5.2)$$

в точках, соответствующих значениям силы обратного тока в диоде: $I_{об} = -10 \text{ мА}; -6 \text{ мА}; -2 \text{ мА}; -0,5 \text{ мА}$. Результаты расчётов занести в таблицу 5.2.

2.2. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными эмиттером и коллектором. Для этого подключить штыревой контакт *XP2* монтажного проводника *МП* вставки к выводам 1 и 2 интегральной микросхемы (рис. 5.2).

Провести исследование обратной ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника *E2*, последовательно установить следующие значения силы обратного тока в диоде $I_{об} = -10 \text{ мА}; -6 \text{ мА}; -2 \text{ мА}; -0,5 \text{ мА}; 0 \text{ мА}$, регистрируя их абсолютные значения с помощью миллиамперметра *mA2*. С помощью вольтметра *V2* определить соответствующие абсолютные значения обратного напряжения на диоде $U_{об}$, ($U_{об} < 0$). Результаты измерений занести в таблицу 5.4.

Используя данные таблицы 5.4, рассчитать статическое сопротивление при обратном включении $R_{об}$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором. Параметр $R_{об}$ определяется по формуле (5.2) в точках, соответствующих значениям силы обратного тока в диоде: $I_{об} = -10 \text{ мА}; -6 \text{ мА}; -2 \text{ мА}; -0,5 \text{ мА}$. Результаты расчётов занести в таблицу 5.4.

2.3. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными базой и коллектором. Для этого подключить штыре-

вой контакт $XP2$ монтажного проводника MII вставки к выводу $I2$ интегральной микросхемы (рис. 5.2).

Провести исследование обратной ветви вольт–амперной характеристики диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором. Вращая ручку плавной регулировки напряжения источника $E2$, последовательно установить следующие значения силы обратного тока в диоде $I_{об} = -10$ мА; -6 мА; -2 мА; $-0,5$ мА; 0 мА, регистрируя их абсолютные значения с помощью миллиамперметра $mA2$. С помощью вольтметра $V2$ определить соответствующие абсолютные значения обратного напряжения на диоде $U_{об}$, ($U_{об} < 0$). Результаты измерений занести в таблицу 5.5.

Используя данные таблицы 5.5, рассчитать статическое сопротивление при обратном включении $R_{об}$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором. Параметр $R_{об}$ определяется по формуле (5.2) в точках, соответствующих значениям силы обратного тока в диоде: $I_{об} = -10$ мА; -6 мА; -2 мА; $-0,5$ мА. Результаты расчётов занести в таблицу 5.5.

3.1. По данным таблицы 5.1 построить график прямой ветви вольт–амперной характеристики $I_{пр}(U_{пр})$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и эмиттером.

3.2. По данным таблицы 5.2 построить график вольт–амперной характеристики $I(U)$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым коллектором. При этом на положительных полуосях I и U следует откладывать значения прямых силы тока и напряжения $I_{пр}$ и $U_{пр}$, на отрицательных полуосях – значения обратных силы тока и напряжения $I_{об}$ и $U_{об}$.

3.3. По данным таблицы 5.3 построить график прямой ветви вольт–амперной характеристики $I_{пр}(U_{пр})$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым эмиттером.

3.4. По данным таблицы 5.4 построить график вольт–амперной характеристики $I(U)$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором.

3.5. По данным таблицы 5.5 построить график вольт–амперной характеристики $I(U)$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором.

4.1. По данным таблиц 5.1–5.5 построить графики зависимости статического сопротивления при прямом включении от прямого напряжения $R_{пр}(U_{пр})$ для диодов, образованных:

— биполярным транзистором с закороченными базой и эмиттером;

- биполярным транзистором с разомкнутым коллектором;
 - биполярным транзистором с разомкнутым эмиттером;
 - биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором;
 - биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором.
- 4.2. По данным таблиц 5.2, 5.4, 5.5 построить графики зависимости статического сопротивления при обратном включении от обратного напряжения $R_{об}(U_{об})$ для диодов, образованных:
- биполярным транзистором с разомкнутым коллектором;
 - биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором;
 - биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором.

6. Содержание отчёта

1. Номер, наименование и цель работы.

2. Результаты исследований:

- таблицы 5.1–5.5;
- график прямой ветви вольт–амперной характеристики $I_{пр}(U_{пр})$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и эмиттером;
- график вольт–амперной характеристики $I(U)$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым коллектором;
- график прямой ветви вольт–амперной характеристики $I_{пр}(U_{пр})$ диода, образованного биполярным транзистором с разомкнутым эмиттером;
- график вольт–амперной характеристики $I(U)$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором;
- график вольт–амперной характеристики $I(U)$ диода, образованного биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором;
- графики зависимости статического сопротивления при прямом включении от прямого напряжения $R_{пр}(U_{пр})$ для диодов, образованных:
 - биполярным транзистором с закороченными базой и эмиттером,
 - биполярным транзистором с разомкнутым коллектором,
 - биполярным транзистором с разомкнутым эмиттером,
 - биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором,
 - биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором;

- графики зависимости статического сопротивления при обратном включении от обратного напряжения $R_{об}(U_{об})$ для диодов, образованных:
 - биполярным транзистором с разомкнутым коллектором,
 - биполярным транзистором с закороченными эмиттером и коллектором,
 - биполярным транзистором с закороченными базой и коллектором.
3. Выводы по результатам работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Список интегральных микросхем (ИМС), электрические схемы которых приведены в Приложении:

Маркировка ИМС	№ рисунка	№ страницы
2ЛБ173 (К217ЛБ3)	П.1	71
2УС181 (К218УР1)	П.2	72
К218АГ1	П.3	72
К218ЛН1	П.4	73
К218УЕ2	П.5	73
К218УИ1	П.6	73
К218УИ3	П.7	74
К226УН4	П.8	74
К226УН5	П.9	75
К284УН1А	П.10	75
К2ТР171А (К217ТР1А)	П.11	76

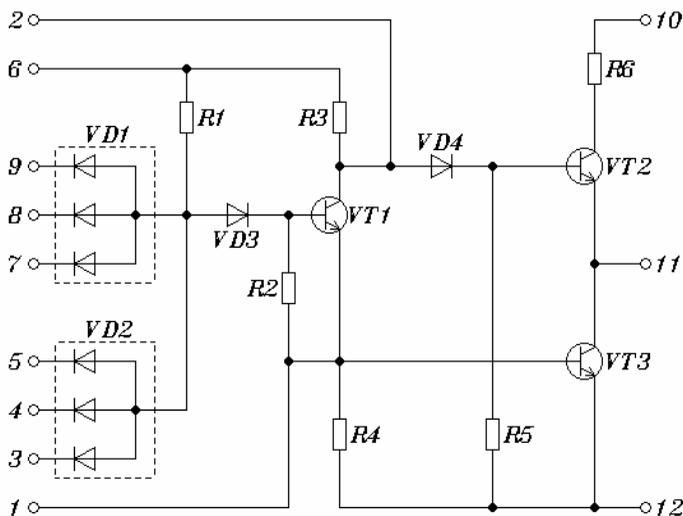


Рис. П.1. 2ЛБ173 (К217ЛБ3) – логический элемент «БИ–НЕ». (Пунктирными линиями отмечены электрические схемы микросборок, – бескорпусных ИМС, включенных в микросхему 2ЛБ173 в качестве навесных элементов.)

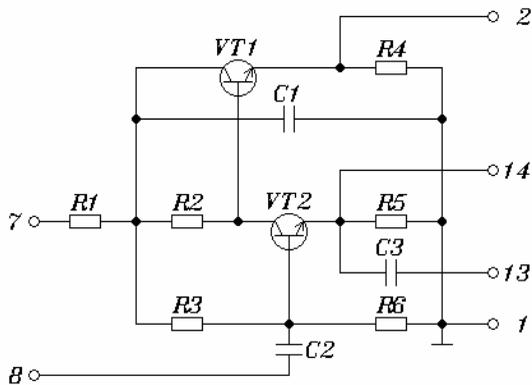


Рис. П.2. 2УС181 (К218УР1) – усилитель промежуточной частоты.

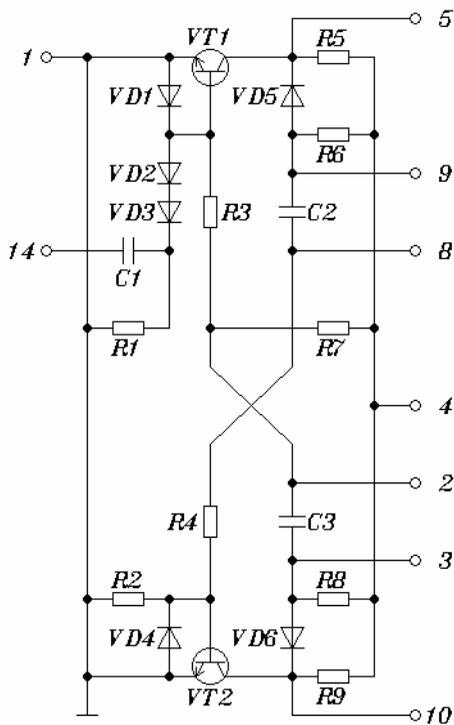


Рис. П.3. К218АГ1 – мультивибратор ждущий.

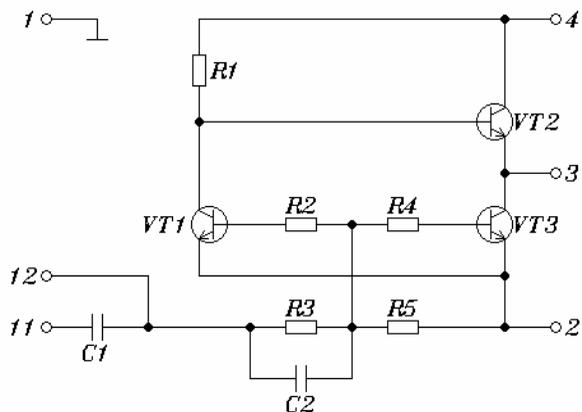


Рис. П.4. К218ЛН1 – логический элемент «НЕ».

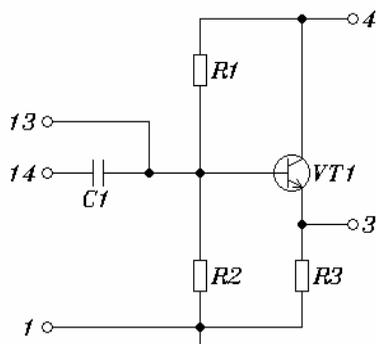


Рис. П.5. К218УЕ2 – усилитель–повторитель.

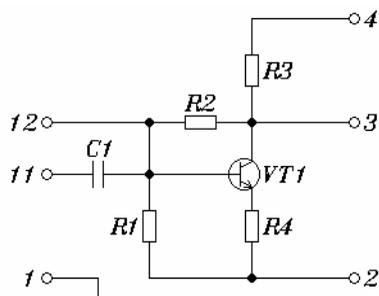


Рис. П.6. К218УИ1 – усилитель импульсных сигналов.

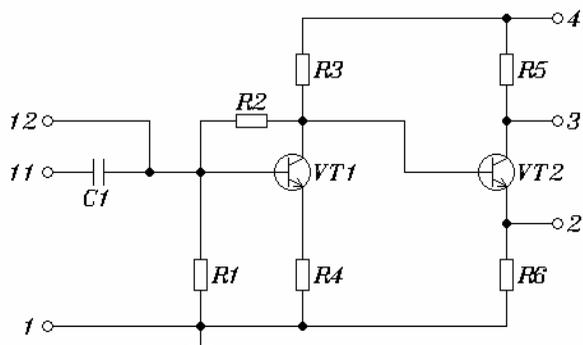


Рис. П.7. К218УИ3 – усилитель импульсных сигналов.

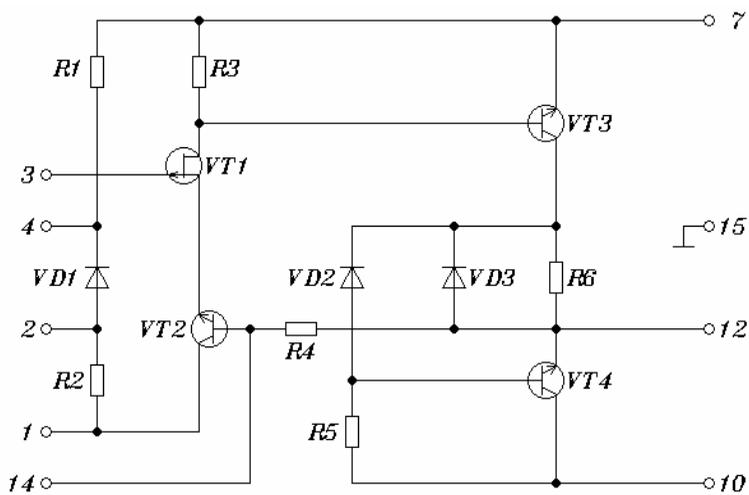


Рис. П.8. К226УН4 – усилитель низкочастотный.

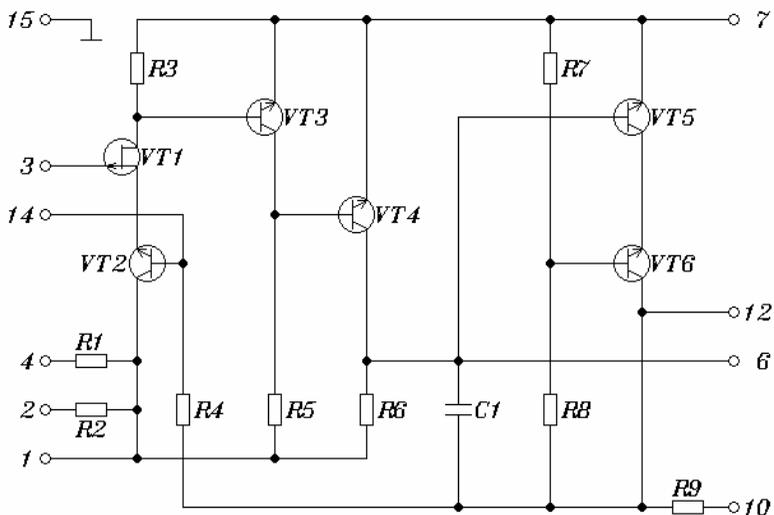


Рис. П.9. K226UH5 – усилитель низкочастотный.

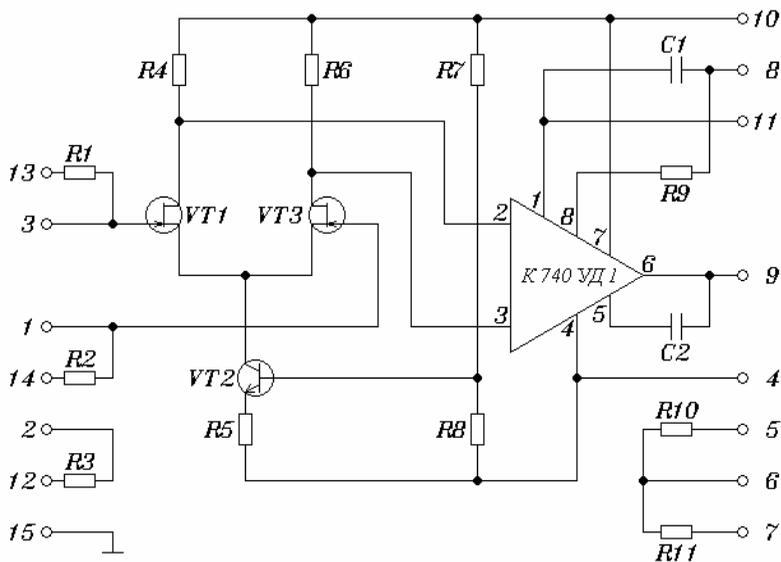


Рис. П.10. K284UH1A – усилитель низкочастотный.

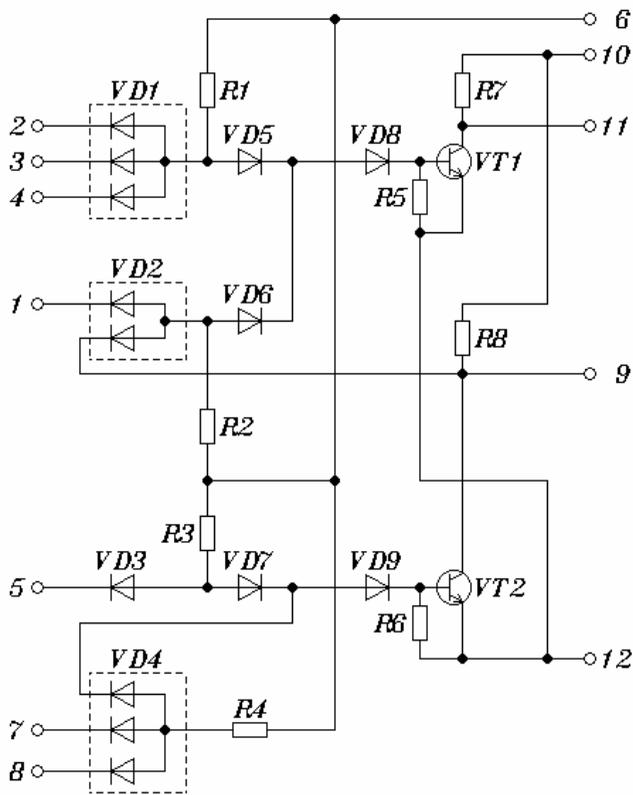


Рис. П.11. К2ТР171А (К217ТР1А) – триггер RS-типа. (Пунктирными линиями отмечены электрические схемы микросборок, – бескорпусных ИМС, включенных в микросхему К2ТР171А в качестве навесных элементов.)