

Федеральное агентство связи

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Самара

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
Кафедра электродинамики и антенн

ЭЛЕКТРОНИКА

Методическая разработка к лабораторным работам
Часть 3

Для студентов специальностей: 200700, 210400, 210700

Авторы: д. ф.–м. н. Арефьев А. С.
к. т. н., доц. Ситникова С. В.

Рецензент: д. ф. м.–н. Антипов О. И.

Самара, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 4. Реализация основных логических операций с помощью набора логических элементов «ЗИ–НЕ»..... 3
2. Лабораторная работа № 5. Исследование интегральных биполярных транзисторов в диодном включении 16

ЭБС ПШУТИИ

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 $\overline{y_1 \cdot y_2}$ (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 $\overline{y_1 + y_2}$ (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» ($D1.1, D1.2, \dots, D2.3$). Напряжения питания на микросхемы подаются от двух источников постоянного напряжения, входящих в состав блока питания.

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.

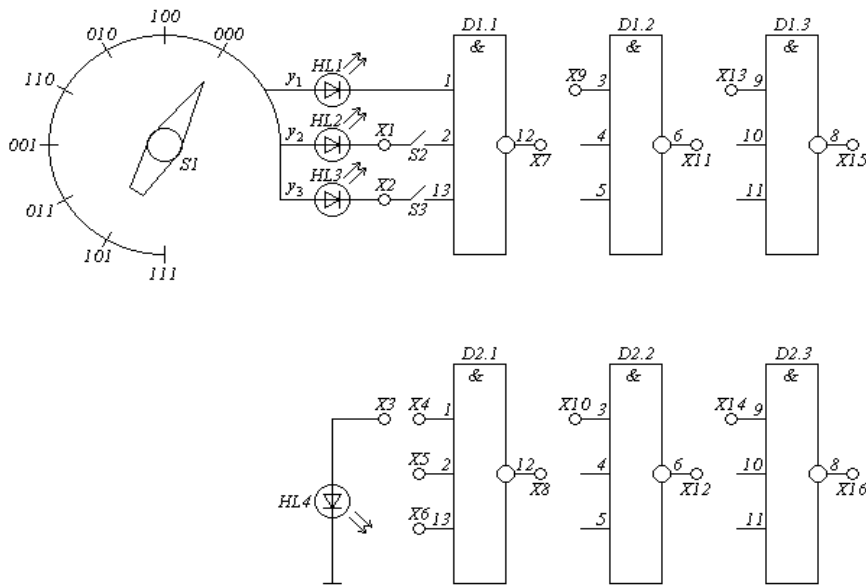


Рис. 4.1. Схема лабораторного стенда

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 «ЗИ–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 13 логического элемента $D1.1$. Если ключ $S3$ разомкнут, то данный сигнал, минуя вход 13 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 1 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»),
- $\overline{y_1 \cdot y_2}$ (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),
- $\overline{y_1 + y_2}$ (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),
- $\overline{y_1} \cdot y_2 \cdot y_3$.

При этом следует использовать логические правила:

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

$$y_1 + y_2 = \overline{\bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2}, \quad (4.2)$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = \overline{\bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{y}_3}. \quad (4.3)$$

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 \bar{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 1 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 \bar{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 \bar{y}_1 . Как следует из таблицы 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 ноль». Тем самым, светодиод *HL4* не должен излучать.

Зарисовать собранную схему (рис. 4.2).

Таблица 4.1.

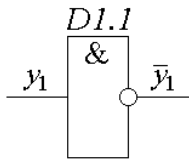


Рис. 4.2. Схема, выполняющая логическую операцию \bar{y}_1 .

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).

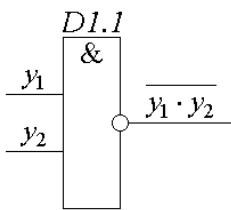


Рис. 4.3. Схема, выполняющая логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2}$.

Убедиться в том, что собранная схема, изображённая на рисунке 4.3, выполняет логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2}$. Перевести ручку галетного переключателя *S1* 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 $\overline{y_1 \cdot y_2}$ 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 $\overline{y_1 \cdot y_2} = 1$. 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 *S1* 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 $\overline{y_1 \cdot y_2} = 1$. Следовательно, светодиод *HL4*, указывающий значение выходного сигнала в собранной схеме, должен излучать.

Перевести ручку галетного переключателя *S1* 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 $\overline{y_1 \cdot y_2} = 1$. Следовательно, светодиод *HL4* должен излучать.

Перевести ручку галетного переключателя *S1* 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 $\overline{y_1 \cdot y_2} = 0$. 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. 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 ко входу 3 логического элемента *D1.2*, соединив с помощью монтажного проводника гнезда *X7* и *X9* (рис. 4.1). Выход логического элемента *D1.2* подключить к светоизлучающему диоду *HL4*, соединив с помощью монтажного проводника гнезда *X11* и *X3*. Сигнал на выходе логического элемента *D1.1* соответствует операции $\overline{y_1 \cdot y_2}$. Сигнал на выходе логического элемента *D1.2* соответствует операции $\overline{\overline{y_1 \cdot y_2}}$ (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).

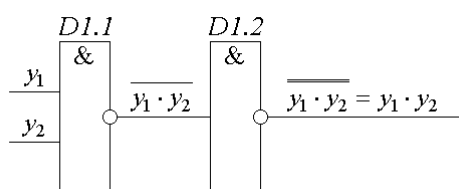


Рис. 4.4. Схема, выполняющая логическую операцию $y_1 \cdot y_2$.

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 *D1.1*; 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 $D1.2$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X1$ и $X9$ (рис. 4.1). Выход логического элемента $D1.1$ подключить ко входу 1 логического элемента $D2.1$, соединив с помощью монтажного проводника гнезда $X7$ и $X4$. Выход логического элемента $D1.2$ 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).

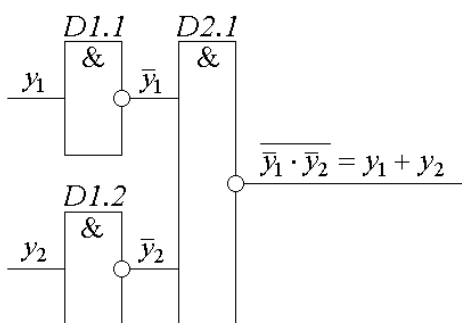


Рис. 4.5. Схема, выполняющая логическую операцию $y_1 + y_2$.

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 $\bar{y}_1 \cdot y_2$ 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 «3И–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 $D1.1$. Выход логического элемента $D1.1$ подключить к светоизлучающему диоду $HL4$, соединив с помощью монтажного проводника

гнезда $X7$ и $X3$ (рис. 4.1). Каждому положению ручки галетного переключателя $S1$ 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 $S1$ 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).

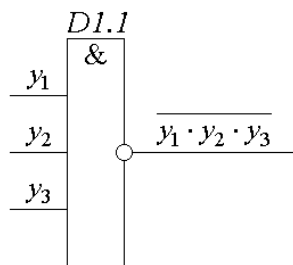


Рис. 4.6. Схема, выполняющая логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$.

Таблица 4.3.

y_1	y_2	y_3	$y_1 \cdot y_2$	$y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$	$\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$	$y_1 + y_2$	$y_1 + y_2 + y_3$	$y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$
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 $S1$ 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 $S1$ 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 $\overline{y_1 + y_2 + y_3}$ (операцию «ЗИЛИ–НЕ»), используя правило (4.3). Выбирая с помощью галетного переключателя $S1$ различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $\overline{y_1 + y_2 + y_3}$ соответствуют столбцы 1, 2, 3, 8 таблицы 4.3. Зарисовать собранную схему.

11. Собрать схему, выполняющую логическую операцию $\overline{y_1 \cdot y_2} \uparrow y_3$, используя правило (4.3). Выбирая с помощью галетного переключателя $S1$ различные комбинации значений входных сигналов, соответствующих логическим величинам y_1, y_2, y_3 , убедиться в том, что схема собрана правильно. Таблице истинности операции $\overline{y_1 \cdot y_2} \uparrow y_3$ 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:

- \bar{y}_1 (операция «НЕ»),
- $\overline{y_1 \cdot y_2}$ (операция «2И–НЕ»),
- $y_1 \cdot y_2$ (операция «2И»),
- $y_1 + y_2$ (операция «2ИЛИ»),
- $\overline{y_1 + y_2}$ (операция «2ИЛИ–НЕ»),
- $\bar{y}_1 \cdot y_2$,
- $\overline{y_1 \cdot y_2 \cdot y_3}$ (операция «3И–НЕ»),
- $y_1 \cdot y_2 \cdot y_3$ (операция «3И»),
- $y_1 + y_2 + y_3$ (операция «3ИЛИ»),
- $\overline{y_1 + y_2 + y_3}$ (операция «3ИЛИ–НЕ»),
- $\overline{y_1 \cdot y_2} \uparrow y_3$.

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 обратным 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 интегрального 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 $E2$, 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 $E2$, красная индикаторная лампочка перегрузки источника $E2$.

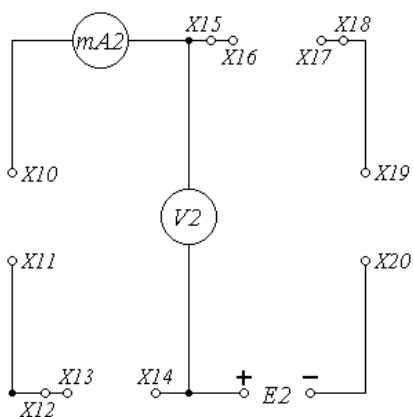


Рис. 5.1. Электрическая схема лабораторной установки.

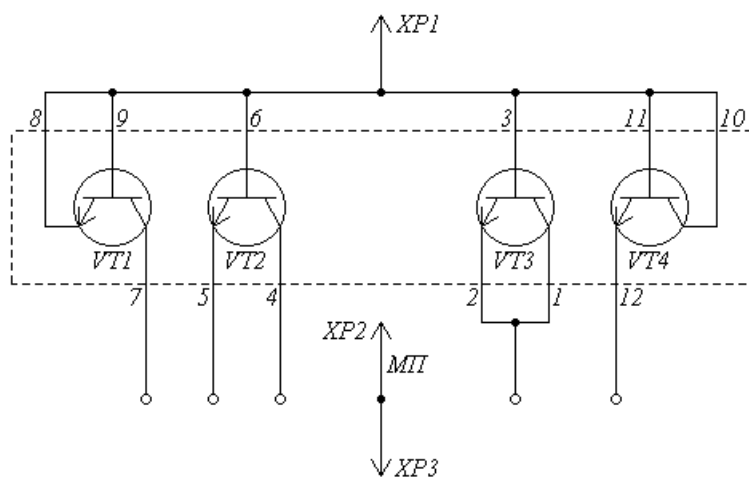


Рис. 5.2. Электрическая схема лабораторной вставки.

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. Гнезда *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 перемычек 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 перемычек.

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					
$I_{пр}, \text{ мА}$	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

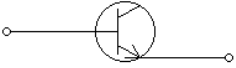
$$R_{пр} = \frac{U_{пр}}{I_{пр}} \quad (5.1)$$

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

Таблица 5.2.

Схема диодного включения транзистора					
$I_{пр}, \text{ мА}$	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 5.2, 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: $I_{пр} = 10 \text{ мА}$; 6 мА ; 3 мА ; 1 мА ; $0,5 \text{ мА}$. 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 $I_{пр} = 10 \text{ мА}$; 6 мА ; 3 мА ; 1 мА ; $0,5 \text{ мА}$; 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					
$I_{пр}, \text{ мА}$	10	6	...	0,5	0
$U_{пр}, \text{ В}$					
$R_{пр}, \text{ Ом}$					—

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: $I_{пр} = 10$ мА; 6 мА; 3 мА; 1 мА; 0,5 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 $I_{пр} = 10$ 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 5.4.

Таблица 5.4.

Схема диодного включения транзистора					
$I_{пр}, \text{ мА}$	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: $I_{пр} = 10$ мА; 6 мА; 3 мА; 1 мА; 0,5 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 интегральной 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						
$I_{пр}, \text{ мА}$	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 $MП$ 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: $I_{об} = -10$ мА; -6 мА; -2 мА; $-0,5$ 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 MII 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 $I_{об} = -10$ 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 5.4.

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: $I_{об} = -10$ мА; -6 мА; -2 мА; $-0,5$ мА. Результаты расчётов занести в таблицу 5.4.

2.3. Собрать схему диодного включения биполярного транзистора с закороченными базой и коллектором. Для этого подключить штыревой контакт $XP2$ монтажного проводника MII вставки к выводу 12 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 прямой силы тока и напряжения $I_{пр}$ и $U_{пр}$, на отрицательных полуосях – значения обратной 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.