

Министерство просвещения Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический  
университет»  
Институт инженерно-педагогического образования  
Кафедра информационных систем и технологий

В.В. Мешков, Т.В. Рыжкова  
**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**  
**«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

Екатеринбург 2020

## Оглавление

Лабораторная работа №1 «Ознакомление с оборудованием и материалами для проведения лабораторных работ» .....	3
Лабораторная работа №2 «Исследование вольт–амперных характеристик диодов и стабилитрона» .....	20
Лабораторная работа №3 «Исследование вольт–амперной характеристики тиристора» .....	30
Лабораторная работа №4 «Исследование биполярного транзистора, включенного по схеме с общей базой» .....	36
Лабораторная работа №5 «Исследование мостовой схемы выпрямления и фильтров напряжения» .....	46
Лабораторная работа №6 «Исследование сигнала логических элементов методом кольцевого генератора» .....	59
Лабораторная работа №7 «Исследование мультиплексора» .....	68
Лабораторная работа №8 «Исследование работы сдвигающего регистра» .....	72
Лабораторная работа №9 «Исследование шифратора» .....	78
Лабораторная работа №10 «Исследование JK–триггера» .....	84
Лабораторная работа №11 «Исследование кольцевого распределителя сигналов на основе параллельно–последовательного (сдвигающего) регистра» .....	89

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## «ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОБОРУДОВАНИЕМ И МАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ»

**Цель:** ознакомление с оборудованием и назначением безопасной макетной платы и мультиметров.

**Приборы и материалы:** безопасная макетная плата ZY–206; мультиметр Ресанта DT890В; мультиметр Samwa YX–360TRn.

### Краткие теоретические сведения

#### Безопасная макетная плата

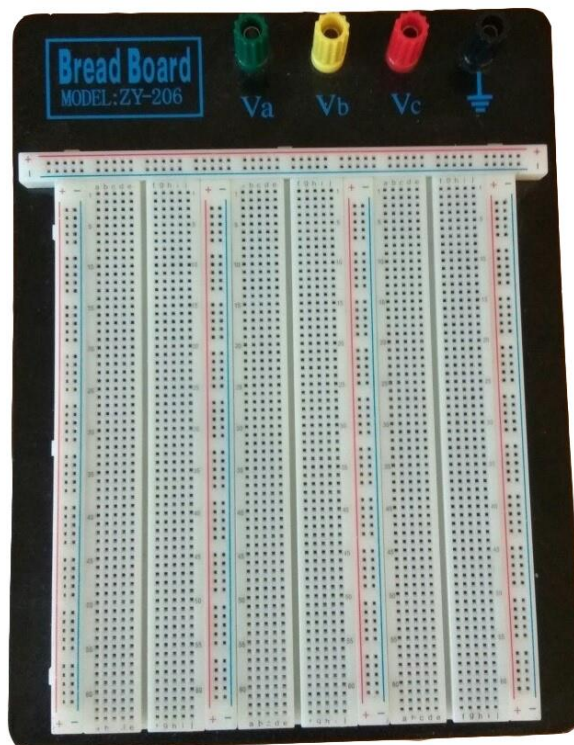


Рисунок 1 – Безопасная макетная плата ZY–206

Для создания прототипов электронных устройств были созданы так называемые макетные платы, которые позволяют усовершенствовать устройство в максимальные сроки на этапе разработки.

На сегодняшний день эволюция таких плат позволяет конструировать и проверять схемы, не прибегая к использованию пайки, что существенно упрощает процесс создания устройств.

### **Плюсы беспечной макетной платы:**

- отсутствие процесса пайки при макетировании схемы;
- быстрота проектирования;
- сокращение времени исправления ошибок.

### **Устройство беспечной макетной платы**

Беспечная макетная плата состоит из пластикового основания, в котором имеются разъемы для подключения электронных компонентов. Контактные разъемы объединены в группы по несколько штук. Благодаря чему получается один контакт с несколькими разъемами. Каждый из разъемов позволяет подключать к нему выводы электронных компонентов или токопроводящих проводников диаметром, от 0,4мм до 0,7 мм.

Основа макетной платы – ABS пластик. Контактные разъемы выполнены из фосфористой бронзы и покрыты никелем. Поэтому, контактные разъемы (точки) рассчитаны на многократное подключение/отключение. Контактные разъемы позволяют подключать выводы радиодеталей и проводники диаметром от 0,4 до 0,7 мм.

Основным показателем качества беспечной макетной платы всё же является качество контактных разъемов и их количество. Чем больше контактных точек (разъемов), тем более сложную схему можно смонтировать на такой плате. Качество разъемов также важно, ведь от частого

использования разъёмы могут потерять свои упругие свойства, а это в будущем приведёт к плохому качеству контакта.

### **Советы по использованию беспаячных макетных плат.**

Поскольку разъёмы макетной платы позволяют подключать проводники диаметром не более 0,4–0,7 мм, то попытки «затолкнуть» толстые выводы деталей могут привести лишь к порче контакта. В таком случае к выводам радиоэлементов, имеющим достаточно большой диаметр, например, как у мощных диодов, лучше припаять или намотать провод меньшего диаметра и уже тогда подключать элемент к макетной плате.

Если планируется макетирование достаточно сложной схемы с большим количеством элементов, то площади беспаячной макетной платы может и не хватить. В таком случае схему лучше разделить на блоки, каждый из которых нужно собрать на отдельной макетной плате и затем соединить блоки в единое устройство с помощью соединительных проводников. Понятно, что в таком случае понадобится дополнительная макетная плата.

Как правило, макетная плата с набором соединительных проводников разной длины (проводов–джамперов) стоит дороже обычных беспаячных плат, которые такими проводниками не комплектуются. Но это не беда. В качестве соединительных проводников можно использовать и обычный

Макетную плату следует оберегать от пыли. Если плата долгое время не используется, то на её поверхности оседает пыль, которая забивает контактные разъёмы. В дальнейшем это приведёт к плохому контакту.

**Беспаячные макетные платы не предназначены для работы с напряжением 220 вольт!** Также стоит понимать, что макетирование и проверка работы сильноточных схем на беспаячной макетной плате может привести к перегреву контактных разъёмов.

## **Экранирование макетной платы.**

Обилие соединительных проводников и сама конструкция макетной платы при работе собранного устройства провоцирует так называемые «паразитные связи». По-простому их называют «наводками» или помехами. Эти помехи отрицательно влияют на работу схемы, собранной на плате. Чтобы избежать этого общий провод (GND) схемы электрически соединяют с металлической подложкой. Сама подложка закрепляется на нижней части беспаячной макетной платы.

## **Устройство разъёмов беспаячной макетной платы**

Дело в том, что точки (разъёмы) на макетной плате соединены на макетной плате особым образом. Например, беспаячная макетная плата ЕІС–402 имеет независимые контактные зоны. По краям – это шины питания (плюсовая «+» и минусовая «-»), они маркированы красной и синей линией вдоль контактных точек. Все точки шины соединены между собой построчно и, по сути представляют собой один проводник, но с кучей точек–разъёмов.

Центральная область разделена на две части. Посередине эти две части разделяет своеобразная канавка. В каждой части несколько строк по 5 точек–разъёмов в каждой. Эти 5 точек–разъёмов в строке электрически соединены между собой. Таким образом, если установить, например, микросхему в корпусе DIP–8 или DIP–18 по центру макетной платы, то к каждому её выводу можно подключить либо 4 вывода радиоэлементов, либо 4 соединительных проводника–джампера.

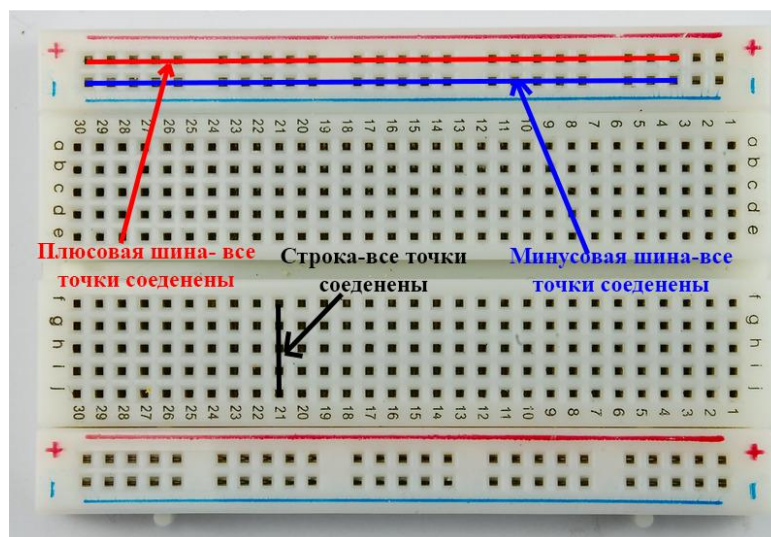


Рисунок 2 – Схема соединения разъёмов макетной платы

### Мультиметр DT890В

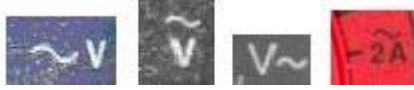
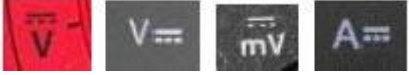



Рисунок 3 – Мультиметр DT890В

## Назначение



Мультиметр предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения, постоянного и переменного тока, сопротивления, емкости, проверки диодов, транзисторов, звуковой прозвонки. Метод измерений – АЦП двойного интегрирования с автоматической коррекцией нуля, автоматическим определением полярности и индикацией перегрузки. Полная защита от перегрузок. Предназначен для применения в полевых условиях, лаборатории, мастерских и домашнем хозяйстве.

Таблица 1 – Условные обозначения

Символ на мультиметре	Примеры
<p>~ (волнистая линия): можно увидеть такой символ возле символа V или A на передней панели мультиметра, в дополнение к метрическим префиксам. Это означает переменный ток (АС). Используйте эти установки, когда измеряете в схеме переменный ток (или напряжение).</p>	
<p>–, – – – (сплошная линия или пунктирная линия): как и волнистую линию, можно увидеть этот символ возле V или A. Прямые линии означают постоянный ток. Используйте эти установки, чтобы делать измерения в схемах с постоянным током (например, это большинство схем, которые запитаны от батарей).</p>	
<p>DCV, ACV, ACA, DCA, VAC или VDC: иногда вместо использования символа волнистой или прямой линии (или в дополнение к ним), мультиметры также используют аббревиатуры DC и AC, которые означают постоянный и переменный ток соответственно. Имейте в виду, что некоторые мультиметры могут применять AC и DC после V и A, некоторые перед.</p>	



## Окончание таблицы 1

Символ на мультиметре	Примеры
<p>Прозвонка (проверка целостности цепи, символ состоящий из параллельных дуг): эта установка используется для проверки соединения друг с другом двух проводников схемы. В этом режиме мультиметр издаст звуковой сигнал, если обнаружено замыкание между щупами (звук означает, что сопротивление очень мало или близко к нулю), и не будет пищать, если соединения между щупами нет. Имейте в виду, что иногда функцию пробника объединяют с режимом измерения сопротивления (определение полярности диода и падения напряжения на нём), или выделяют для этого отдельное положение на переключателе режимов.</p>	
<p>Режим hFE– измерение коэффициента передачи транзистора. E B C (эмиттер, база, коллектор), а снизу NPN(слева) и PNP(справа) (структура транзистора).</p>	

### Основные особенности DT890B:

- ЖК дисплей, 3.5 разрядный;
- индикатор состояния батарей;
- измерение широкого спектра электрических параметров;
- комбинированная защита от перегрузки и перенапряжений.

### Описание DT890B:

- 30–и позиционный переключатель режимов работы и пределов;
- высокая чувствительность – 100 мкВ;
- автоматическая индикация перегрузки – «1»;
- автоматическое определение полярности постоянного тока или напряжения;

- все пределы защищены от перегрузок;
- измерение сопротивления от 0,1 Ом до 200 Мом;
- измерение емкости от 1 пФ до 20 мкФ;
- проверка диодов прямым стабильным током 1 мА.

Измерение h<sub>21E</sub> транзисторов при I<sub>b</sub>=100 мкА.

Точность – ± (показание + кол-во единиц счета). Точность гарантирована в течение 1 года при 23±5°C и относительной влажности менее 75%.

Таблица 2 – Общие характеристики DT890B

Максимум дисплея	1999 чисел (3½ разряда) с автоматическим определением полярности и единиц измерения
Метод индикации	ЖК дисплей
Метод измерений	АЦП двойного интегрирования
Индикация перегрузки	«1» в старшем разряде
Максимальное синфазное напряжение	500В пост/перем эфф.
Скорость измерений	2–3 измерения в секунду
Температура гарантированной точности	23°C ±5°C
Интервал температур	Работа: 0°C +40°C Хранение: –10°C +50°C
Индикация разряда батареи	Символ на дисплее
Размер	88x170x38 мм
Вес	340 гр.
Принадлежности	Инструкция, щупы, коробка

Таблица 3 – Постоянное напряжение

Предел	Разрешение	Точность
200 мВ	100 мкВ	±0,5%±1 ед. счета
2 В	1 мВ	±0,5%±1 ед. счета
20 В	10 мВ	±0,5%±1 ед. счета
200 В	100 мВ	±0,5%±1 ед. счета

1000 В	1 В	$\pm 0,8\% \pm 2$ ед. счета
--------	-----	-----------------------------

Входное сопротивление: 10 Мом на всех пределах. Защита от перегрузок: 1000 В постоянного или пикового переменного тока на всех пределах.

Таблица 4 – Переменное напряжение

Предел	Разрешение	Точность
200 мВ	100 мкВ	$\pm 1,2\% \pm 3$ ед. счета
2 В	1 мВ	$\pm 0,8\% \pm 3$ ед. счета
20 В	10 мВ	$\pm 0,8\% \pm 3$ ед. счета
200 В	100 мВ	$\pm 0,8\% \pm 3$ ед. счета
750 В	1 В	$\pm 1,2\% \pm 1$ ед. счета

Входное сопротивление: 10 Мом на всех пределах. Диапазон частот: 40 Гц – 400 Гц. Защита от перегрузок: 750 В эфф. Или 1000 В пикового на всех пределах, кроме 200 мВ (15 сек. Максимум 300 В эфф.). Калибровка: Среднее (эфф. синусоиды).

Таблица 5 – Постоянный ток

Предел	Разрешение	Точность
2 мА	1 мкА	$\pm 0,8\% \pm 1$ ед. счета
20 мА	10 мкА	$\pm 0,8\% \pm 1$ ед. счета
200 мА	100 мкА	$\pm 1,2\% \pm 1$ ед. счета
20 А	20 А	$\pm 2\% \pm 5$ ед. счета

Защита от перегрузок: плавкий предохранитель 0,2А 250 В (предел 20 А не защищен). Максимальный ток на входе: 20 А, не более 15 секунд.

Таблица 6 – Переменный ток

Предел	Разрешение	Точность
20 мА	10 мкА	$\pm 1,2\% \pm 3$ ед. счета
200 мА	100 мкА	$\pm 2\% \pm 3$ ед. счета
20 А	10 мА	$\pm 3\% \pm 7$ ед. счета

Защита от перегрузок: плавкий предохранитель 0,2 А 250 В (предел 20 А не защищен). Диапазон частот: 40 Гц – 400 Гц. Максимальный ток на входе: 20 А, не более 15 секунд. Калибровка: Среднее (эфф. синусоиды).

Таблица 7 – Сопротивление

Предел	Разрешение	Точность
200 Ом	0,1 Ом	$\pm 0,8\% \pm 3$ ед. счета
2 кОм	1 Ом	$\pm 0,8\% \pm 1$ ед. счета
20 кОм	10 Ом	$\pm 0,8\% \pm 1$ ед. счета
200 кОм	100 Ом	$\pm 0,8\% \pm 1$ ед. счета
2 МОм	1 кОм	$\pm 0,8\% \pm 1$ ед. счета
20 МОм	10 кОм	$\pm 1\% \pm 2$ ед. счета
200 МОм	100 кОм	$\pm 5\% \pm 10$ ед. счета

На пределе 200 МОм при замыкании щупов отсчет дисплея 10 единиц, которые при измерении следует вычитать из полученного результата.

Таблица 8 – Емкость

Предел	Разрешение	Точность
2000 пФ	1 пФ	$\pm 2,5\% \pm 5$ ед. счета
20 нФ	10 пФ	$\pm 2,5\% \pm 5$ ед. счета
200 нФ	100 пФ	$\pm 2,5\% \pm 5$ ед. счета
2 мкФ	1 нФ	$\pm 2,5\% \pm 5$ ед. счета
20 мкФ	10 нФ	$\pm 2,5\% \pm 5$ ед. счета

## Мультиметр Samwa YX-360TRn



Рисунок 4 – Мультиметр Samwa YX-360TRn

### Назначение

Компактный, износостойкий мультиметр со стрелочной индикацией предназначен для измерения постоянного тока, сопротивления, емкости, проверки диодов, транзисторов. Устройство имеет встроенную защиту от перегрузки и перенапряжения. Предназначен для измерения в полевых условиях, лабораториях, мастерских и домашнем хозяйстве.

### Описание

- 20 позиционный переключатель режимов работы пределов;
- высокая чувствительность –100мкВ;
- все пределы защищены от перегрузок;
- измерение сопротивления от 0,1 Ом до 20 Мом;
- проверка диодов;

- измерение P21е транзисторов при  $I_b=10$  мкА;
- точность –  $\pm$  (деление шкалы);
- точность гарантирована в течении 1 года при  $23\pm 5^\circ$  С и относительной влажности менее 75%;
- в режиме измерения сопротивления напряжение в измеряемой цепи может достигать 12 В;

Таблица 9 – Общие характеристики

Метод индикации	Стрелочный индикатор с зеркальной шкалой
Температура гарантированной точности	$23\pm 5^\circ$
Интервал температур	Работа: $0^\circ$ С $+40^\circ$ С Хранение: $-10^\circ$ С $+50^\circ$ С
Размер	148x100x35 мм
Вес	280 г
Принадлежности	Инструкция, щупы, коробка

### Шкала измерения



Рисунок 5 – Шкала измерения Samwa YX–360TRn

## Установка нуля.

Перед измерением убедитесь, что указатель стоит на нулевой отметке. Если нет, то расположите мультиметр на плоской ровной поверхности, найдите ручку регулировки " Ohms Adjust ", "0 Adj", или что-то подобное. Она используется только в режиме измерения сопротивления, когда щупы касаются друг друга (коротко замкнуты). Вращайте эту ручку медленно, чтобы переместить стрелку прибора как можно ближе к положению "0" по шкале Ом.

## Устройство аналоговой шкалы мультиметра Samwa YX-360TRn

Верхняя шкала ( $\Omega$ )—это шкала сопротивления. Она обратная, а именно ноль у неё находится справа. .

Вторая шкала(DCV&ACV) – используется в измерениях DCV, DCmA и ACV.

Третья шкала для измерения AVC10V.

Четвёртая шкала предназначена для измерения ёмкости батареек.

## Определение показаний аналоговой шкалы

Для демонстрации и определения показаний аналоговой шкалы соберём небольшую схему (рисунок б).

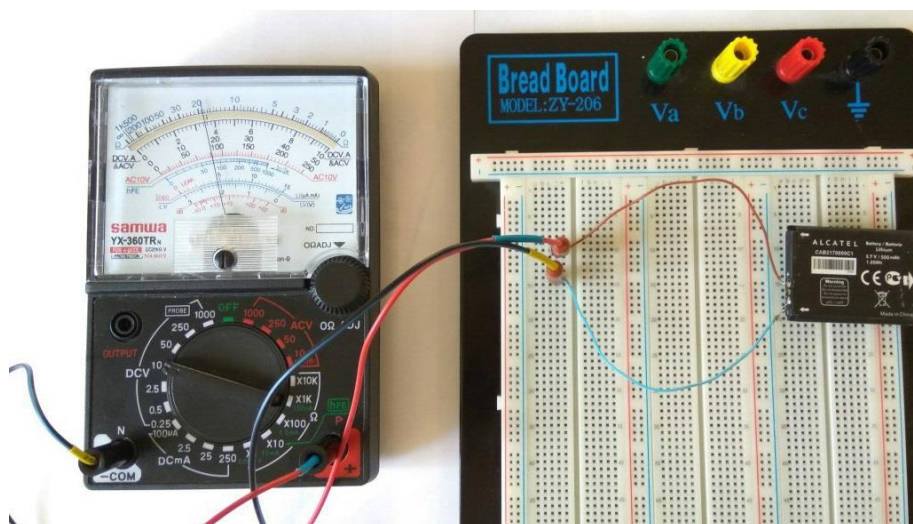


Рисунок 6 – Измерение напряжения аккумулятора



Рисунок 7 – Показания аналоговой шкалы.

Для определения что показывает аналоговая шкала (рисунок 7), необходимо произвести следующие действия:

1. Взять 2 соседних значения на шкале.  
Например, 2 и 4.
2. Вычесть меньшее значение из большего.
3. Разделить полученное число на количество делений между взятыми значениями.
4. В результате получаем, что цена деления шкалы DCV равняется 0,2.
5. Полученную цену деления необходимо умножить на количество делений до показаний стрелки шкалы. В нашем случае это значение равно 18 (рисунок 7).

Следовательно, напряжение взятого аккумулятора составляет 3,6 В.



**Задание по работе:** Собрать схему (рисунок 8) на беспаячной макетной плате, измерить мультиметром падение напряжения на диоде, с подачей на него напряжения и без.

### Ход работы

Проведём небольшие замеры на примере светодиода под напряжением и без с помощью цифрового мультиметра.

Для этого соберём схему

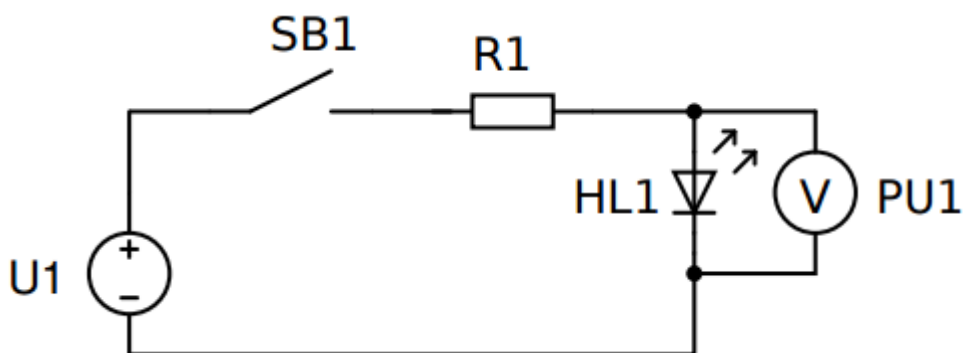


Рисунок 8 – Схема проверки диода.

Устанавливаем мультиметр в режим тестирования диодов.

При измерении без подачи напряжения мультиметр показывает падение напряжения на прямом переходе диода в значении 1469 mV.

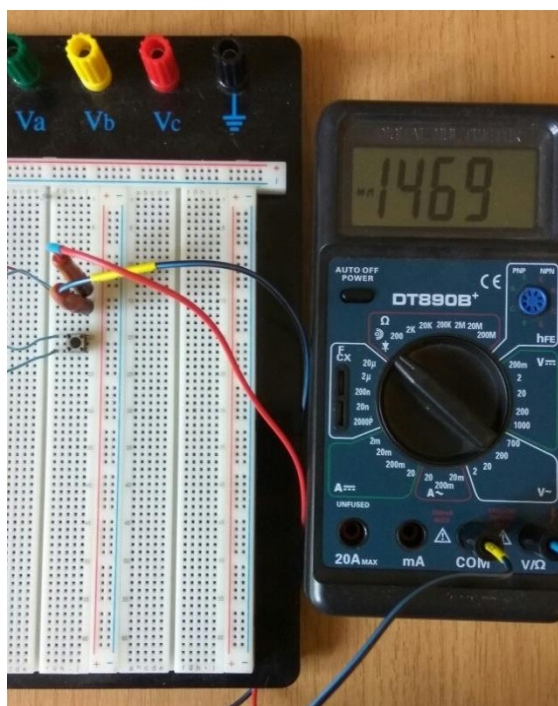


Рисунок 9 – Показания мультиметра без подачи напряжения на диод.

При нажатии кнопки подаём напряжение на диод, при этом мультиметр будет показывать единицу.

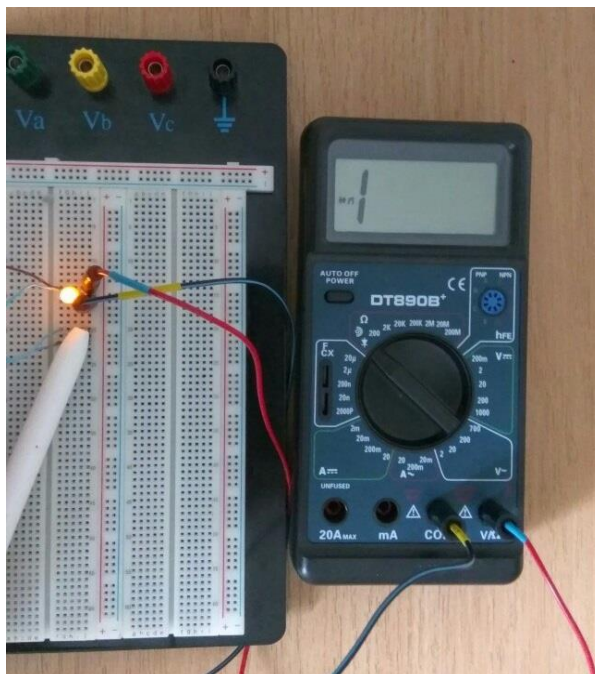


Рисунок 10 – Показания мультиметра при подаче напряжения на диод.

### **Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Фотографии хода работы с результатами измерения.
4. . Вывод.

### **Контрольные вопросы:**

1. Дайте понятие науки электроника.
2. Дайте понятие тока.
3. Что такое мультиметр?
4. Что называют диодом?
5. Дайте понятие электрической цепи.
6. Дайте понятие постоянного тока.
7. Дайте понятие напряжение.
8. Дайте понятие P–n перехода.
9. Дайте понятие полупроводникового прибора.
10. Дайте понятие потери напряжения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ–АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ И СТАБИЛИТРОНА»

**Цель:** ознакомление с основными характеристиками и параметрами полупроводниковых диодов; снятие вольт–амперных диодов, стабилитрона; определение экспериментальным путем их параметров

**Приборы и материалы:** выпрямительные диоды (выдаётся в соответствии с вариантом); стабилитрон (выдаётся в соответствии с вариантом); беспаячная макетная плата ZY–206; мультиметры, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Полупроводниковый диод – это полупроводниковый прибор с одним р–n–переходом и двумя выводами от «Р» и «N» областей. В полупроводниковом диоде используется свойство р–n–перехода хорошо проводить электрический ток в одном направлении и плохо пропускать его в противоположном направлении. Эти токи и соответствующие им напряжения между выводами полупроводникового диода называют прямым и обратным токами ( $I_{пр}$  и  $I_{обр}$  соответственно), прямым и обратным напряжениями ( $U_{пр}$  и  $U_{обр}$  соответственно).

Выпрямительный диод – полупроводниковый диод, предназначенный для выпрямления переменного тока.

По типу конструкции выпрямительные диоды делятся на точечные и плоскостные. Плоскостные диоды благодаря большой площади р–n–перехода используются для выпрямления больших токов. Точечные диоды имеют малую площадь перехода и, соответственно, предназначены для выпрямления

малых токов. Из-за малой площади контакта прямой ток таких диодов сравнительно невелик. По той же причине у них мала и межэлектродная емкость, что позволяет применять эти диоды в области очень высоких частот (СВЧ – диоды). Материалом для таких диодов обычно служит кремний или арсенид галлия. Германий практически не применяется из-за сильной температурной зависимости обратного тока.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода – это зависимость тока  $I$ , протекающего через диод, от напряжения  $U$ , приложенного к диоду. Вольт-амперной характеристикой называют и график этой зависимости.

Основные параметры выпрямительных диодов

- $U_{пр}$  – постоянное прямое напряжение, соответствующее заданному току  $I_{пр}$ ;

- $I_{обр}$  – постоянным обратный ток при определенном постоянном обратном напряжении  $U_{обр}$ ;

- $I_{пр.мах}$  – максимально допустимый постоянный прямой ток;

- $I_{обр.мах}$  – максимально допустимый постоянный обратный ток диода (положительная величина; если реальный ток больше, чем  $I_{обр.мах}$ , то диод считается непригодным к использованию);

- $U_{обр.мах}$  – максимально допустимое обратное напряжение диода (положительная величина);

- $r_{диф}$  – дифференциальное сопротивление диода (при заданном режиме работы);

- $U_{пр.ср.}$  – среднее прямое напряжение в схеме однополупериодного выпрямителя при определенном среднем прямом токе  $I_{пр.ср.}$  и максимально допустимом обратном напряжении;

- $I_{обр.ср.}$  – средний обратный ток в схеме однополупериодного выпрямителя при максимально допустимом обратном напряжении и определенном среднем прямом токе;

- $I_{пр.ср.мах}$  – максимально допустимый средний прямой ток, обычно определяемый как средний за период прямой ток в схеме однополупериодного выпрямителя.

Превышение  $I_{обр.ср.мах}$  приводит диод в режим пробоя. Различают электрический и тепловой пробой р–п–перехода. Электрический пробой может быть лавинным (или туннельным) и не сопровождается разрушением р–п–перехода. Тепловой пробой, как правило, приводит к разрушению р–п–перехода и выходу диода из строя.

Условное графическое обозначение полупроводникового диода приведено на рисунок 1 (а), а его структура на рисунок 1 (б). Электрод диода, подключенный к области «Р», называют анодом, а электрод, подключенный к области «N» – катодом. Статическая вольт–амперная характеристика диода показана на рисунок 1 (в).

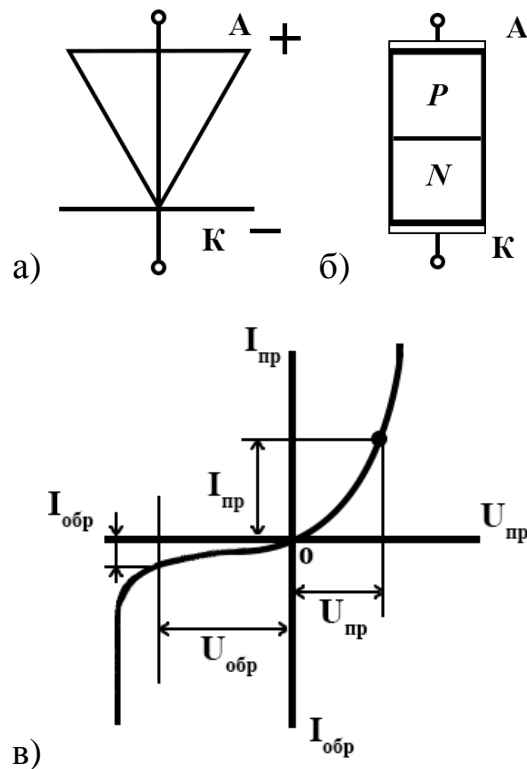


Рисунок 1 – Условное обозначение полупроводникового диода(а), его структура (б) и вольт–амперная характеристика (в)

Полупроводниковый стабилитрон – полупроводниковый диод, работающий в режиме лавинного пробоя. При обратном смещении полупроводникового диода возникает электрический лавинный пробой р–п–перехода. При этом в широком диапазоне изменения тока через диод напряжение на нем меняется очень незначительно. На рисунке 2 (а) показано схематическое изображение стабилитронов, а на рисунке 2 (б) приведены их вольт–амперные характеристики. Рабочий участок стабилитрона расположен на обратной ветви ВАХ, т.е. прибор работает в режиме пробоя.

Основные параметры стабилитронов:

- $U_{cm}$  – напряжение стабилизации (при заданном токе в режиме пробоя);
- $I_{cm.min}$  – минимально допустимый ток стабилизации;
- $I_{cm.max}$  – максимально допустимы ток стабилизации;

- $r_{cm}$  – дифференциальное сопротивление стабилитрона (на участке пробоя);
- $U_{cm}(TKH)$  – температурный коэффициент напряжения стабилизации.

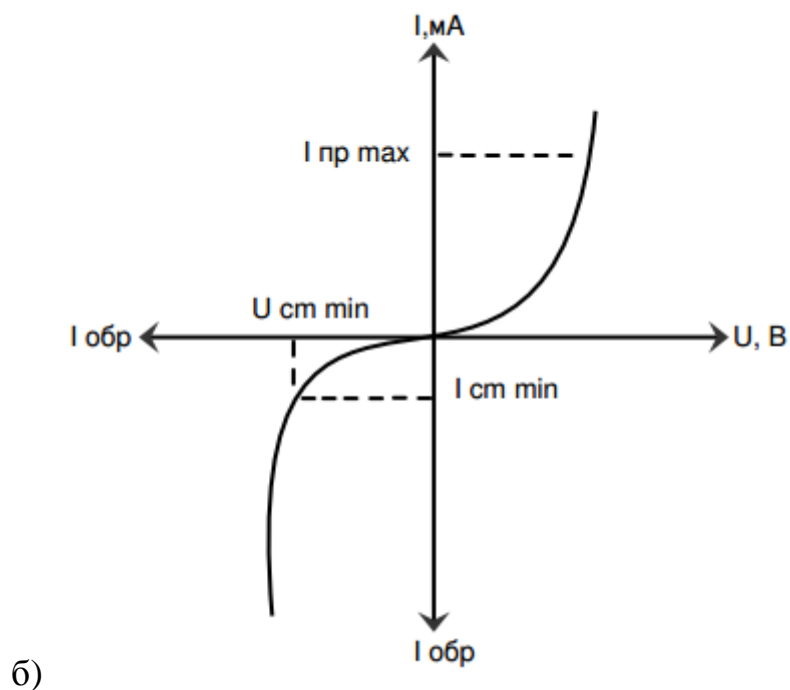
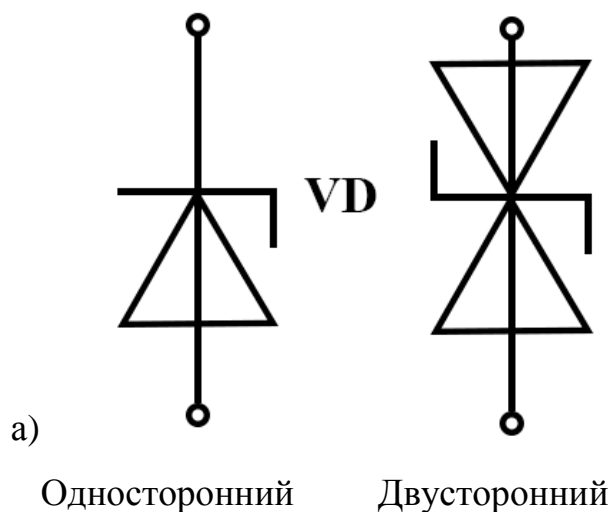


Рисунок 2 – Схематическое изображение стабилитронов (а) и их вольт–амперная характеристика (б)

**Задание по работе:** снять вольт–амперную характеристику выданного диода, определить маркировку диода, снять обратную вольт–амперную



характеристику выданного стабилитрона; определить маркировку стабилитрона; определить напряжение стабилизации стабилитрона  $U_{cm}$  и минимальный ток стабилизации  $I_{cm.min}$ .

**Ход работы:**

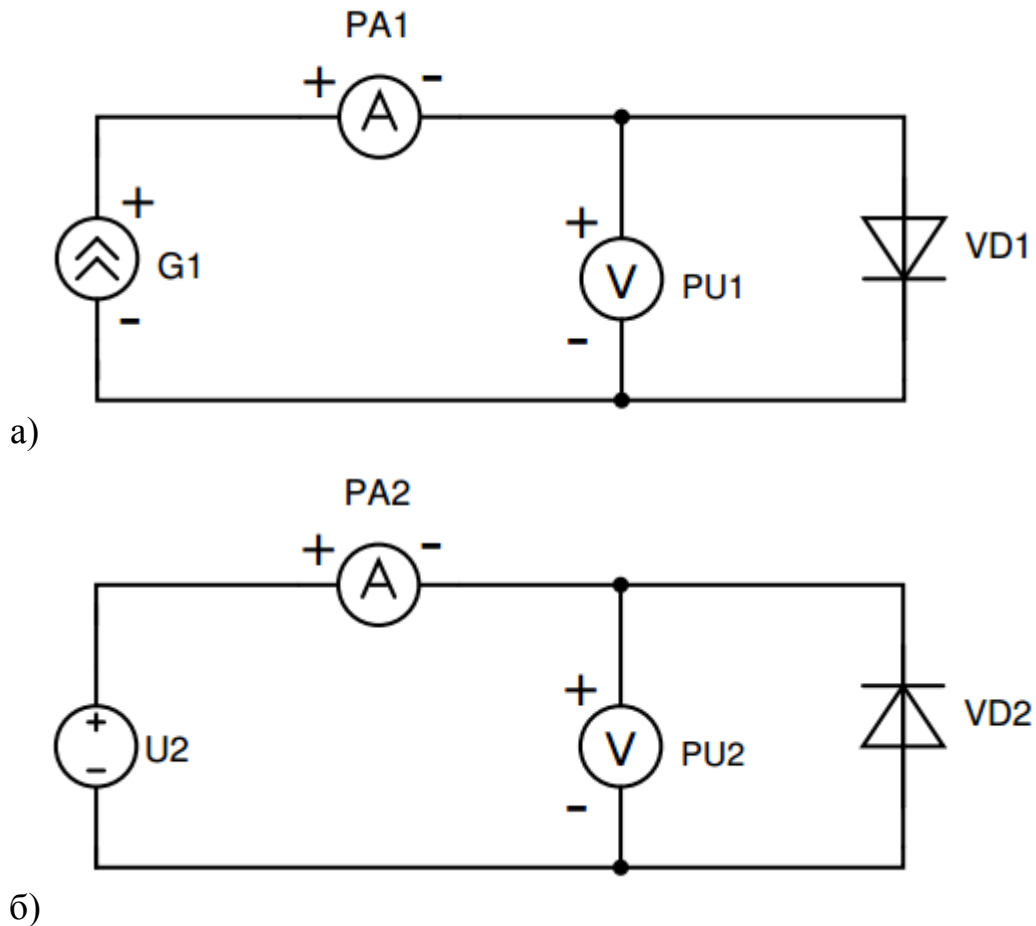


Рисунок 3 – Схема для снятия прямых (а) и обратных (б) ветвей ВАХ диодов и стабилитрона

### **I Снятие прямых ветвей вольт–амперных характеристик диодов**

1. На левой части сменной панели собрать схему для измерения прямых ВАХ (рисунок 3 а).

2. Установить диод №1, проверив полярность подключения. Постепенно повышая величину напряжения, подаваемого от источника питания ГТ,

провести не менее 5 измерений прямого тока  $I_{пр}$  и напряжения  $U_{пр}$ . При этом  $U_{пр}$  не поднимать выше 0,4 В. Данные измерений внести в таблицу 1.

3. Установить диод №2. Провести аналогичные измерения, данные измерений внести в таблицу 1. При этом  $U_{пр}$  не поднимать выше 0,7 В

## **II Снятие обратных ветвей ВАХ диодов**

1. На правой части сменной панели собрать схему для измерения обратных ВАХ (рисунок 3 б). В качестве источника питания использовать – ГН–3.

2. Установить диод №1. Постепенно повышая величину напряжения, подаваемого от источника питания ГН, провести не менее 5 измерений обратного тока  $I_{обр}$  и напряжения  $U_{обр}$ . При этом  $U_{обр}$  не поднимать выше 30 В. Данные измерений внести в таблицу 1.

3. Установить диод №2. Провести аналогичные измерения, данные занести в таблицу 1. При этом  $U_{обр}$  не поднимать выше 30 В.

4. По данным таблицы 1 построить на одном графике ВАХ диодов.

5. При нехватке данных для построения более качественного графика, произвести дополнительные измерения.

Таблица 1 – Результаты измерений вольт–амперных характеристик диодов

Диод	Параметр	№ Измерения				
		1	2	3	4	5
Диод №1	$U_{пр}$					
	$I_{пр}$					
	$U_{обр}$					
	$I_{обр}$					
Диод №2	$U_{пр}$					
	$I_{пр}$					
	$U_{обр}$					
	$I_{обр}$					

### III Снятие обратной ветви ВАХ стабилитрона

1. На правой части панели на место диода установить стабилитрон. В качестве источника питания использовать ГТ.

2. Изменяя с помощью ручки регулирования величину тока, проходящего через стабилитрон, пронаблюдать падение напряжения на стабилитроне по мультиметру.

3. Провести не менее 5 измерений. Результаты внести в таблицу 2.

4. По данным таблицы 2 построить обратную ветвь ВАХ стабилитрона. Определить величину  $U_{ст}$ . Найти минимальный ток стабилизации  $I_{ст.min}$ . Сравнить с паспортными данными.

5. При нехватке данных для построения более качественного графика, произвести дополнительные измерения.

Таблица 2 – Результаты измерений вольт–амперной характеристики стабилитрона

Параметр	№ Измерения				
	1	2	3	4	5
$U_{обр}$					
$I_{обр}$					

Таблица 3 –Варианты

Номер варианта:	Выдаваемые приборы:
1	Диоды: Д105, 1601ЕВП Стабилитрон: КС162
2	Диоды: Д104, КД521 Стабилитрон: КС175ж
3	Диоды: Д226, КД213 Стабилитрон: КС170А
4	Диоды: 2Д509А, Д220 Стабилитрон: КС119
5	Диоды: Д1643, 2Д503А Стабилитрон: КС113А
6	Диоды: 2Д212, КД521 Стабилитрон: КС482А
7	Диоды: Д104, 2Д509 Стабилитрон: КС191В
8	Диоды: КД213, 1601ЕВП Стабилитрон: КС139Г
9	Диоды: Д105, 2Д509А Стабилитрон: КС162А
10	Диоды: Д220, 2Д503А Стабилитрон: КС182ж

### Содержание отчета:

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схемы для снятия прямой и обратной вольт–амперной характеристики.
4. Фотографии получившихся устройств.
5. Таблицы 1 и 2 с результатами измерений.

6. Вольт–амперные характеристики диодов, построенных на общем графике.

7. Обратная ветвь вольт–амперной характеристики стабилитрона

8. Экспериментально определяемые величины  $U_{ст}$  и  $I_{ст.min}$ .

9. . Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Где применяются выпрямительные диоды?
2. Назовите основные параметры выпрямительных диодов.
3. На какие типы разделяются выпрямительные диоды? Для чего служит тот или иной вид?
4. Из каких материалов обычно изготавливаются выпрямительные диоды?
5. Что называют диодным мостом и для чего он применяется?
6. Что такое полупроводниковый стабилитрон?
7. Где применяется полупроводниковый стабилитрон?
8. Какие участки вольт–амперной характеристики стабилитрона называют рабочими?
9. Назовите основные параметры стабилитрона.
10. Что называют напряжением стабилизации?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ–АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИРИСТОРА»

**Цель:** ознакомление с основными параметрами тиристора и снятие экспериментальным путем его вольт–амперных характеристик

**Приборы и материалы:** тиристор (выдается преподавателем); сопротивление нагрузки тиристора  $R1 = 2 \text{ кОм}$ ; беспаячная макетная плата ZY–206; мультиметры; соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Тиристорами называют полупроводниковые приборы с двумя устойчивыми режимами работы (включен, выключен), имеющие три или более p–n–переходов. Тиристор по своему принципу – прибор ключевого действия. Во включенном состоянии он подобен замкнутому ключу, а выключенном – разомкнутому ключу. В открытом состоянии тиристоры хорошо проводят электрический ток, а в закрытом они представляют собой большое сопротивление соизмеримое с сопротивлением кремниевого диода при обратном напряжении. Тиристоры, которые не имеют специальных электродов для подачи сигналов с целью изменения состояния, а имеют только два силовых электрода (анод и катод), называются неуправляемыми, или диодными, тиристорами (динисторами). Иначе тиристоры называют управляемыми тиристорами, или просто тиристорами. Тиристоры широко применяются для управления электродвигателями, в выпрямительных схемах, импульсных схемах, устройствах автоматики.

В зависимости от расположения управляющего электрода (УЭ) тиристоры делятся на тиристоры с катодным управлением и тиристоры с анодным управлением. Расположение этих управляющих электродов и схематическое обозначение тиристоров приведены на рисунке 1. Вольт–амперная характеристика (ВАХ) (рисунок 2).

Из ВАХ тиристора видно, что напряжение включения регулируется изменением тока в цепи управляющего электрода. При увеличении тока управления снижается напряжение включения.

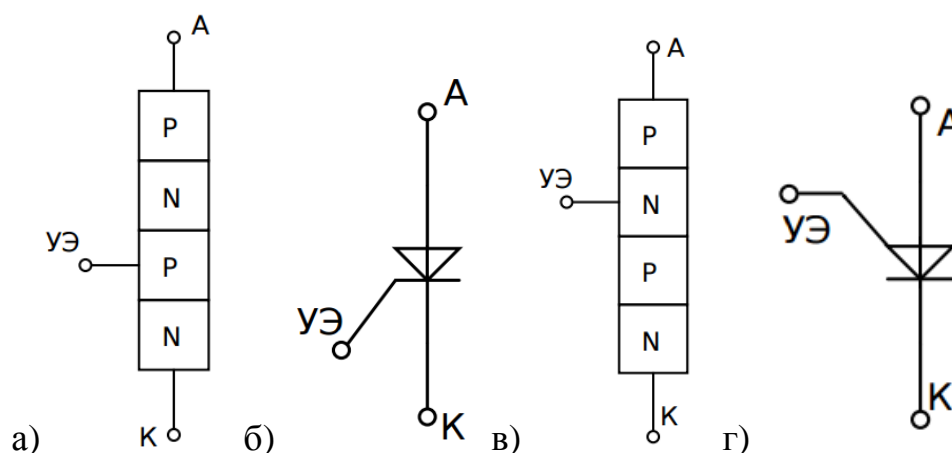


Рисунок 1 – Структура тиристора с катодным управлением (а) и его условное схематическое обозначение (б); структура тиристора с анодным управлением (в) и его условное схематическое обозначение (г)

Основные параметры тиристорov:

- $I_{oc.c.p.max}$  – максимально допустимый ток средний ток в открытом состоянии;
- $I_{oc.d.max}$  – максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии (для симметричных триакисторov);
- $I_{з.и.}$  – запираемый импульсный ток (для запираемых тиристорov);
- $U_{зс.max}$  – максимально допустимое постоянное напряжение в закрытом состоянии;
- $U_{обр.max}$  – максимально допустимое постоянное обратное напряжение;
- $U_{oc}$  – постоянное напряжение в открытом состоянии;
- $I_{зс}$  – постоянный ток в закрытом состоянии;
- $I_{обр}$  – постоянный обратный ток;

- $I_{у.от}$  – отпирающий постоянный ток управления: наименьший постоянный ток управления, необходимый для включения тиристора;
- $U_{у.от}$  – отпирающее постоянное напряжение управления: напряжение управления, соответствующее  $I_{у.от}$ .

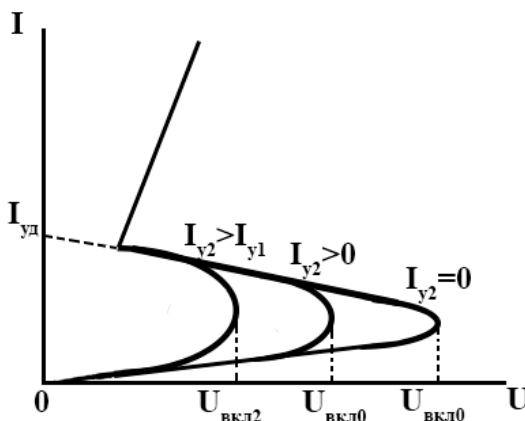


Рисунок 2 – ВАХ тиристора

**Задание по работе:** снять прямую ветвь вольт–амперной характеристики тиристора; определить величину напряжения переключения  $U_{пер}$  и тока переключения  $I_{пер}$  при выбранном управляющем токе; измерить, величину управляющего тока, при котором происходит спрямление характеристики  $I_{у.спр}$ .

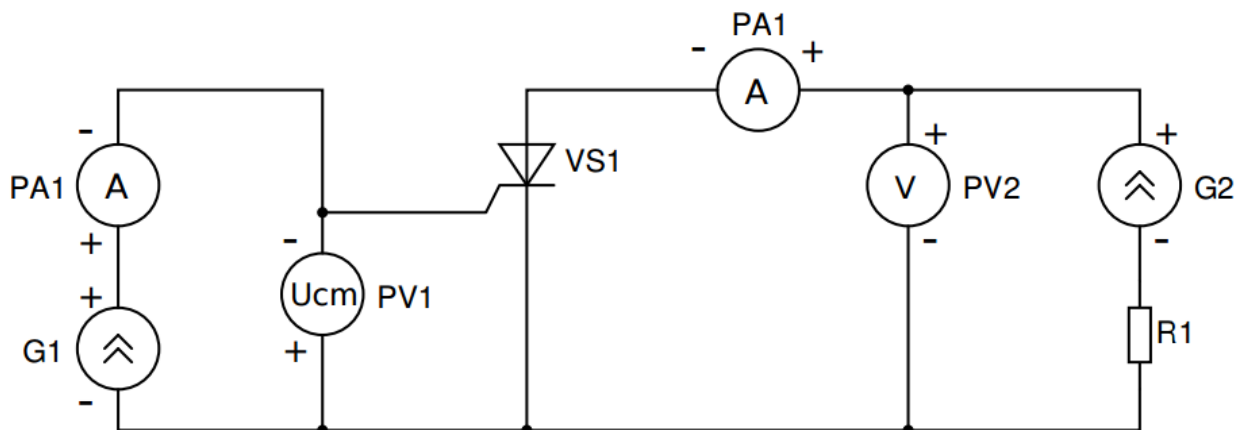


Рисунок 3 – Схема для снятия прямой ВАХ тиристора



### **Ход работы:**

1. Собрать схему (рисунок 3). Сопротивление нагрузки тиристора  $R_1$  взять равное 2 кОм. Установить вместо амперметра PA1 перемычку, подключить источники питания G1 и G2. Выходной ток генератора тока контролировать мультиметром.

2. Установить ток на генераторе тока G1 на 0. Плавно на генераторе напряжения G2 поднять напряжение до максимума (не более 100 В), при этом контролируя прямой ток на амперметре PA2. Сделать вывод: произошло или нет открытие тиристора?

3. Плавно увеличивая управляющий ток  $I_y$  на тиристоре с помощью G1, при этом контролируя его на мультиметре, зафиксировать момент переключения тиристора по резкому возрастанию прямого тока  $I_a$  через него. Записать значение управляющего тока, вызвавшего переключение тиристора  $I_{y.пер}$ .

4. Не изменяя величины тока генератора G1, уменьшить до нуля напряжение на G2, а затем плавно увеличить его и зарегистрировать момент переключения. Определить величину напряжения переключения  $U_{пер}$  при данном управляющем токе. Снова снизить напряжение на G2 до нуля.

5. Постепенно повышая напряжения на G2, примерно с шагом 5 В, производить измерение напряжения на тиристоре  $U_a$  по прибору PV2, и прямого тока через тиристор  $I_a$  на приборе PA2. Данные измерений занести в таблицу 1. Уменьшить напряжение на G2 до нуля.

Таблица 1 – Результаты измерений

	До переключения										После переключения					
$U_a$ (В)																
$I_a$ (мА)																

6. По полученным данным построить прямую вольт–амперную характеристику, определить по ней напряжение переключения  $U_{пер}$  и ток переключения  $I_{пер}$ .

7. Увеличить на 5% величину управляющего тока  $I_y$ . Снова произвести снятие вольт–амперной характеристики, аналогично пункту 5 – 6. Проанализировать ее вид: есть ли на ней участок, соответствующий запертому состоянию тиристора. Если такой участок есть, повысить величину управляющего тока  $I_y$  еще на 5% и снова снять вольт–амперную характеристику. Продолжить повышение тока управления с шагом 5% до тех пор, пока на ВАХ не исчезнет участок запертого состояния (происходит спрямление характеристики). Заметить величину управляющего тока, при котором происходит спрямление  $I_{y.спр}$ . Результаты всех экспериментов должны быть внесены в таблицы, аналогичные таблице 1, а прямые ВАХ построены на одном графике.

### Содержание отчета:

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема измерений
4. Таблица 1 с результатами измерений.
5. Фотография устройства.

6. Прямые вольт–амперные характеристики тиристора для различных  $I_u$ , построенные на одном графике, при этом  $I_u$  подписать над графиками.  
Величина  $I_{u.cпр.}$

7. . Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называют тиристором?
2. Где применяются тиристоры?
3. Из каких полупроводниковых материалов изготавливают тиристоры?
4. Почему закрытое состояние тиристора устойчивое?
5. Каковы преимущества бесконтактного переключения электрической цепи?
6. Каковы преимущества бесконтактного переключения электрической цепи?
7. Приведите классификацию тиристоров и графические обозначения.
8. В чем же заключается принцип работы тиристора?
9. Назовите основные типы тиристоров.
10. Какими техническими параметрами характеризуются тиристоры?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### «ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА, ВКЛЮЧЕННОГО ПО СХЕМЕ С ОБЩЕЙ БАЗОЙ»

**Цель:** ознакомление с основными параметрами биполярного транзистора; снятие опытным путем входных и выходных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общей базой.

**Приборы и материалы:** биполярный транзистор (выдается в соответствии с вариантом); мультиметры; беспаячная макетная плата ZY–206; соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Биполярным транзистором называется полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих между собой р–п–перехода. Технология изготовления биполярных транзисторов может быть различной – сплавление, диффузия, эпитаксия – что в значительной мере определяет характеристики прибора. В зависимости от последовательности чередования областей с различным типом проводимости различают п–р–п–транзисторы и р–п–р–транзисторы. Упрощенное устройство плоскостного п–р–п–транзистора приведено на рисунке 1 (а), его условное обозначение – на рисунке 1 (б), а схема замещения – на рисунке 1 (в). Аналогичные представления для р–п–р–транзистора приведены на рисунке 1 (г, д, е).

Средняя часть рассматриваемых структур называется базой (Б), одна крайняя область – коллектором (К), а другая – эмиттером (Э). В несимметричных структурах электрод базы располагается ближе к эмиттеру,

а ширина базы зависит от частотного диапазона транзистора и с повышением частоты уменьшается. В зависимости от полярности напряжений, приложенных к электродам транзистора, различают следующие режимы его работы: линейный (усилительный), насыщения, отсечки и инверсный.

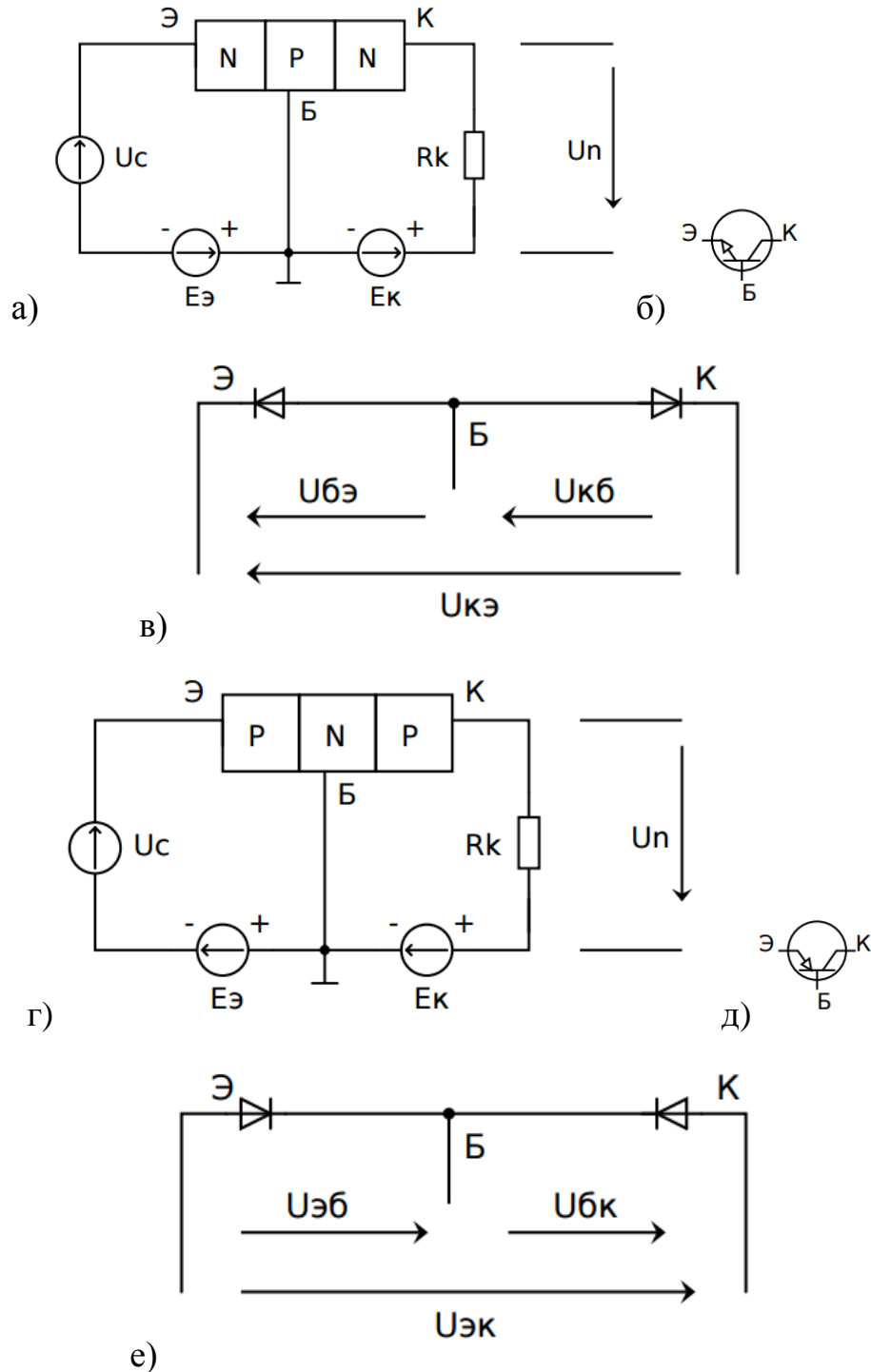


Рисунок 1 – Устройство n–p–n–транзистора (а), его схематическое изображение (б) и схема замещения (в). Устройство p–n–p–транзистора (г), его схематическое изображение (д) и схема замещения(е)

В линейном режиме работы транзистора эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном. В режиме насыщения оба перехода смещены в прямом направлении, а в режиме отсечки – в обратном. И, наконец, в инверсном режиме коллекторный переход смещен в прямом направлении, а эмиттерный – в обратном. Кроме рассмотренных режимов возможен еще один режим, который является не рабочим, а аварийным – это режим пробоя. Работа транзистора основана на управлении токами электродов и зависимости от приложенных к его переходам напряжений.

Принцип работы биполярного транзистора. Рассмотрим более подробно работу транзистора типа  $n-p-n$  (рисунок 2). Транзистор типа  $p-n-p$  работает аналогично, но на него подаются напряжения противоположной полярности.

При работе транзистора в активном режиме один  $p-n$ -переход (эмиттерный для  $n-p-n$ -типа) включается в прямом направлении, а второй  $p-n$ -переход (коллекторный) в обратном направлении.

Под действием прямого напряжения  $U_{эб}$  электроны устремляются в сторону базы, а в  $p$ -области базы дырки движутся к отрицательному полюсу батареи. На границе они встречаются и, взаимодействуя друг с другом, образуют значительный прямой ток, несмотря на малое напряжение в цепи эмиттер–база. Во втором  $p-n$ -переходе (коллекторном) под воздействием обратного напряжения  $U_{кб}$ , электроны в  $n$ -области и дырки в  $p$ -области движутся в противоположных направлениях. Поэтому на границах данного  $p-n$ -перехода образуется слой, обедненный носителями тока и обладающий поэтому высоким сопротивлением.

Усижительный эффект в транзисторах получается за счет того, что область базы делается очень тонкой (от 0,5 мкм до 0,7 мкм). При такой малой толщине базы основная часть электронов из смещенной в прямом направлении цепи эмиттер–база проникает в  $p$ -область базы и приближается к границе второго  $p-n$ -перехода.

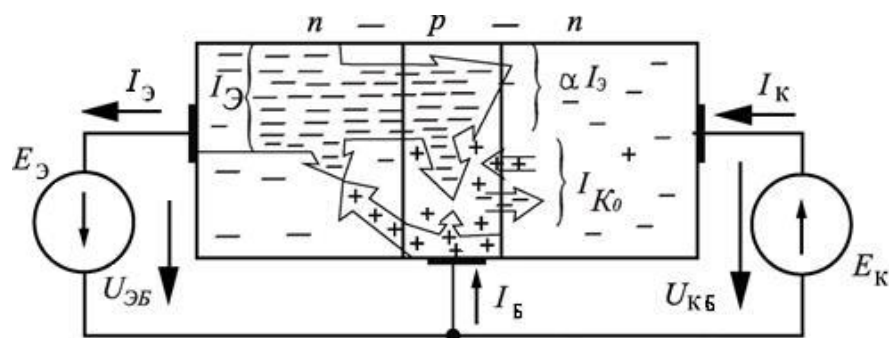


Рисунок 2 – Движение носителей заряда в транзисторе типа n–p–n

Здесь электроны подхватываются положительным потенциалом на коллекторе и создают ток в его цепи. Но так как напряжение источника питания коллекторной цепи всегда выше напряжения цепи эмиттер–база, а ток примерно одинаковый, то в выходной коллекторной цепи происходит усиление мощности. Если мы будем уменьшать или увеличивать напряжение  $U_{эб}$ , то соответственно будет меняться величина тока в эмиттерной цепи. А значит, аналогичным образом будет меняться и ток в коллекторной цепи, то есть изменяя напряжение  $U_{эб}$ , мы можем управлять током в коллекторной цепи. Изменяя потенциал базы, мы, по сути, меняем электрическое сопротивление p–n–переходов. Поэтому транзистор часто представляют в виде переменного сопротивления, управляемого электрическим сигналом.

Вольт–амперные характеристики биполярных транзисторов Выходные вольт–амперные характеристики транзистора приведены на (рис. 3 а). Линейная область на этих характеристиках отмечена штриховой линией. Транзистор будет находиться в линейной области, если напряжение на коллекторе достаточно большое и выходит за границу штриховой линии.

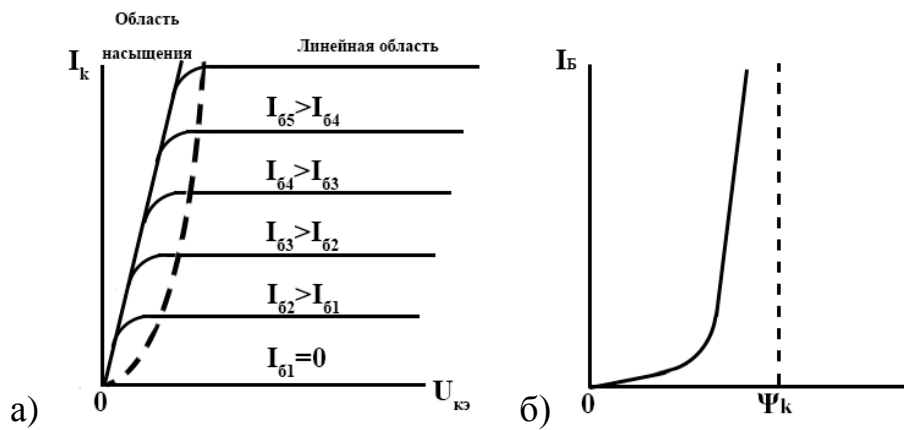


Рисунок 3 – Выходные характеристики биполярного транзистора (а) и его входная характеристика (б);  $\Psi_k$  – контактная разность потенциалов

Отметим некоторые особенности характеристик транзистора в линейной области. Во-первых, приращение тока коллектора пропорционально изменению тока базы. Во-вторых, ток коллектора почти не зависит от напряжения на коллекторе. В-третьих, напряжение на базе не зависит от напряжения на коллекторе и слабо зависит от тока базы. Из сказанного следует, что в линейном режиме транзистор для малых приращений тока базы можно заменить источником тока коллектора, управляемого током базы. При этом если пренебречь падением напряжения между базой и эмиттером, то можно считать этот переход коротким замыканием.

Схема с общей базой. Приведенная схема включения транзистора в электрическую цепь называется схемой с общей базой, так как база является общим электродом для источников напряжения. Изобразим ее с использованием условного графического обозначения транзистора (рисунок 4).

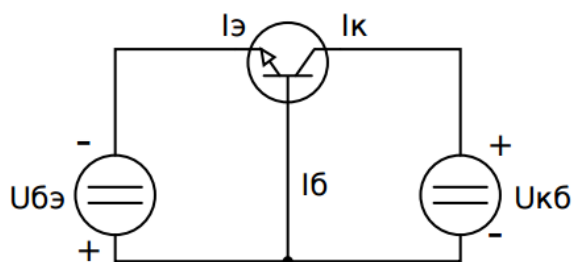


Рисунок 4 – Схема с общей базой



Транзисторы традиционно характеризуют их так называемыми входными и выходными характеристиками. Для схемы с общей базой входной характеристикой называют зависимость тока  $I_э$  от напряжения  $U_{бэ}$  при заданном напряжении  $U_{кб}$ , т. е. зависимость вида

$$I_э = f(U_{бэ})|_{U_{кб}=\text{const}}$$

где  $f$  – некоторая функция.

Входной характеристикой называют и график соответствующей зависимости (это справедливо и для других характеристик).

Выходной характеристикой для схемы с общей базой называют зависимость тока  $I_к$  от напряжения  $U_{кб}$  при заданном токе  $I_э$ , т. е. зависимость вида

$$I_к = f(U_{кб})|_{I_э=\text{const}}$$

где  $f$  – некоторая функция.

Полный ток коллектора для данной схемы равен:

$$I_к = h_{21б} * I_э + I_{кб0}$$

Величина  $h_{21б}$  называется статическим коэффициентом передачи тока эмиттером и примерно равна 0,9...0,998;  $I_{кб0}$  – обратный ток базово–коллекторного р–п–перехода в схеме с общей базой.

Полный ток базы равен:

$$I_б = I_{бр} - I_{кб0}$$

где  $I_{бр}$  – прямой ток эмиттерно–базового р–п–перехода, возникающий за счет движения электронов из внешней цепи (рекомбинационный ток базы).

**Задание по работе:** Собрать схему (рисунок 5). Снять входных и выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой.

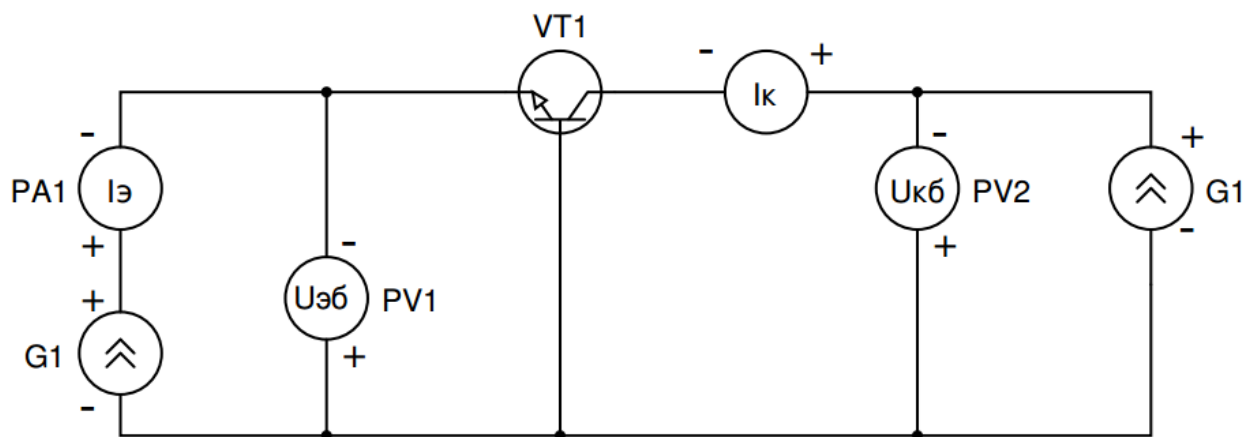


Рисунок 5 – Схема для снятия входной и выходной характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой

### Ход работы:

I Схема для снятия входной и выходной характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой

1. Собрать схему для измерения входной и выходной характеристик (рисунок 5) биполярного транзистора типа р–n–р. Для снятия входных характеристик используется следующее:

- транзистор VT1 (в соответствии с вариантом);
- генератор G1 (используется генератор тока ГТ);
- генератор G2 (используется генератор ГН2; при  $U_{кб}=0$  В источник ГН2 не подключают и ГН2 закорачивают);
- амперметр PA1 – ( $I_э$  – ток эмиттера);
- вольтметр PV1 – ( $U_{эб}$  – напряжение на участке эмиттер–база);
- амперметр PA2 закорачивается ( $I_г$  – ток коллектора);
- вольтметр PV2 напряжение ГН2;  $U_{кб}$  – напряжение на участке коллектор–база).

2. Установить напряжение  $U_{кб}=0$  В. Изменяя ток эмиттера  $I_э$  в сторону увеличения, произвести измерение напряжения на участке эмиттер–база. Полученные данные занести в таблицу 1.

3. Установит напряжение  $U_{кб}=10$  В. Произвести аналогичные действия согласно пункту 2.

4. Согласно результатам таблицы 1 построить семейство входных характеристик транзистора.

Таблица 1 – Экспериментальные результаты входных характеристик транзистора

Ток эмиттера $I_э, \text{мА}$		0,1	0,2	0,5	1	2	10
Напряжение на переходе эмиттер–база $U_{эб}$ при $U_{кб}, \text{В}$	0						
	10						

II Снятие выходных характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общей базой

5. На собранной схеме измерения входной и выходной характеристик биполярного транзистора р–п–р–типа произвести следующие изменения:

- вольтметр PV1 не подключать ( $U_{эб}$  – напряжение на участке эмиттер–база);
- амперметр PA2 ( $I_к$  – ток коллектора).

6. Установить ток эмиттера  $I_э=0$  А. Изменяя напряжение на участке коллектор–база  $U_{кб}$  в сторону увеличения, произвести измерение тока коллектора  $I_к$ . Полученные данные занести в таблицу 2.

7. Произвести как минимум семь аналогичных измерений согласно пункту 2 с разными эмиттерными токами

8. Согласно результатам таблицы 2 построить семейство выходных характеристик транзистора.

Таблица 2 – Экспериментальные результаты выходных характеристик транзистора

Напряжение коллектор–база $U_{кб}, В$		0,5	1	2	10
Ток коллектора $I_{к}, мА$ при $I_{э}, мА$	0				
	1				
	2				
	4				
	6				
	8				
	10				

Таблица 3 – Варианты.

Номер варианта:	Выдаваемые приборы:
1	Транзистор: П307В
2	Транзистор: КТ801Б
3	Транзистор: КТ608Б
4	Транзистор: МП116
5	Транзистор: МП11А
6	Транзистор: МП101Б
7	Транзистор: МП104
8	Транзистор: МП13Б
9	Транзистор: МП21Б
10	Транзистор: 2Т321В

## **Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема для снятия входной и выходной характеристик биполярного транзистора.
4. Таблицы 1 и 2 с результатами измерений.
5. Графики входных и выходных характеристик биполярного транзистора.
6. Фотографии устройств в ходе опыта.
7. . Вывод.

## **Контрольные вопросы**

1. Что называют биполярным транзистором?
2. Где применяются биполярные транзисторы?
3. Схемы включения транзисторов, их особенности и характеристики.
4. От чего зависит ширина базы биполярного транзистора?
5. Назовите типы биполярных транзисторов и их особенности.
6. Приведите схемы подключения биполярного транзистора с общим эмиттером.
7. Для чего служит коллектор в биполярном транзисторе?
8. В чем же отличие между полевыми и биполярными транзисторами?
9. Что называют входным сопротивлением транзистора?
10. Что называют коэффициентом усиления по напряжению транзистора?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### «ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ФИЛЬТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ»

**Цель:** исследование однофазной мостовой схемы выпрямителя с сглаживающим С и RC – фильтром. Ознакомление с устройством и работой осциллографа.

**Приборы и материалы:** полупроводниковые диоды (КД103, Д220); комплект конденсаторов различных емкостей; комплект резисторов различных сопротивлений; соединительные провода; осциллограф; мультиметры; беспаячная макетная плата ZY–206.

#### Краткие теоретические сведения

Выпрямитель – устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения в постоянное. Основное назначение выпрямителя заключается в сохранении направления тока в нагрузке при изменении полярности приложенного напряжения. Выпрямитель можно рассматривать как один из типов инверторов напряжения. Обобщенная структурная схема выпрямителя приведена на рисунке 1.

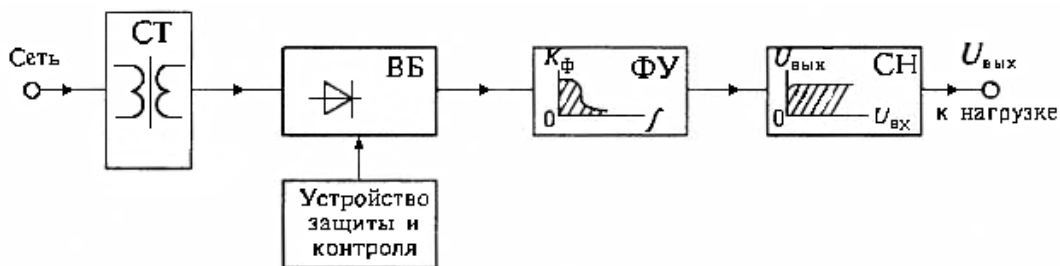


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема выпрямителя

В состав выпрямителя могут входить: силовой трансформатор (СТ), вентильный блок (ВБ), фильтрующее устройство (ФУ) и стабилизатор напряжения (СН). Трансформатор СТ выполняет следующие функции: преобразует значение напряжения в сети, обеспечивает гальваническую изоляцию нагрузки от силовой сети, преобразует количество фаз силовой сети.

Вентильный блок ВБ является основным звеном выпрямителя, обеспечивая однонаправленное протекание тока в нагрузке. В качестве вентилей могут использоваться электровакуумные, газоразрядные или полупроводниковые приборы, обладающие односторонней электропроводностью, например, диоды, тиристоры, транзисторы и др. Идеальные вентильные элементы должны пропускать ток только в одном (прямом) направлении и совсем не пропускать его в другом (обратном) направлении. Реальные вентильные элементы отличаются от идеальных прежде всего тем, что они пропускают некоторый ток в обратном направлении и имеют падение напряжения при протекании прямого тока. Это сказывается на снижении КПД вентильного блока и снижении эффективности выпрямителя в целом.

Фильтрующее устройство ФУ используется для ослабления пульсаций выходного напряжения. В качестве фильтрующего устройства обычно используются фильтры нижних частот (ФНЧ), выполненные на пассивных R, L, C элементах или, иногда, с применением активных элементов – транзисторов, операционных усилителей и пр. Качество ФУ оценивают по его способности увеличивать коэффициент фильтрации  $q$ , равный отношению коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра.

Стабилизатор напряжения СН предназначен для уменьшения влияния внешних воздействий: изменения напряжения питающей сети, температуры окружающей среды, изменения нагрузки и др. – на выходное напряжение выпрямителя. Стабилизатор напряжения можно установить не только на выходе выпрямителя, но и на его входе.

## Классификация выпрямителей:

### 1. По количеству выпрямленных полуволн:

- однополупериодные;
- двухполупериодные;

### 2. По числу фаз питающего напряжения:

- однофазные;
- двухфазные;
- трехфазные;
- шестифазные;

### 3. По схеме вентильного блока:

- выпрямители с параллельным включением однофазных выпрямителей;

- выпрямители с последовательным включением однофазных выпрямителей;

- выпрямители с мостовым включением однофазных выпрямителей.

Однофазный мостовой выпрямитель (рисунок 2) является двухполупериодным выпрямителем, питаемым от однофазной сети. Его можно использовать для выпрямления напряжения сети и без трансформатора. К его недостаткам относится удвоенное число выпрямительных диодов, однако трансформатор в таком выпрямителе используется наиболее полно, так как нет подмагничивания магнитопровода постоянным током, и ток во вторичной обмотке протекает в течение обоих полупериодов. Из-за увеличенного падения напряжения на выпрямительных диодах такие выпрямители резко используются при выпрямлении низких напряжений (меньше 5 В).



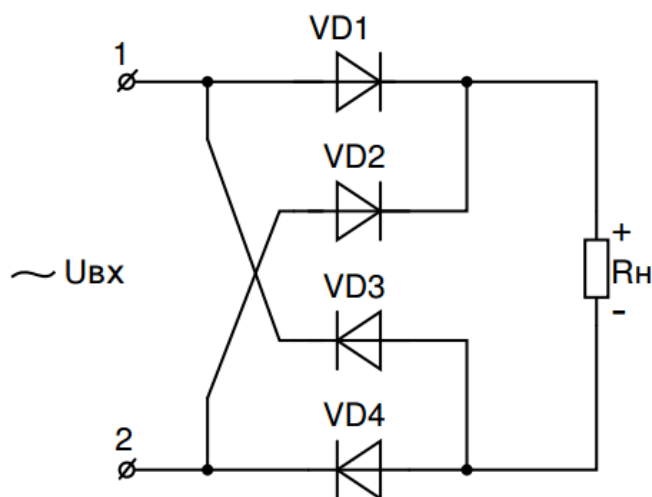


Рисунок 2 – Схема однофазного мостового выпрямителя

Принцип работы мостовой схемы. Пусть в первый полупериод входного синусоидального напряжения на выводе 1 действует положительное напряжение по отношению к выводу 2, и ток будет проходить по цепи: вывод 1 – диод VD1 – резистор  $R_n$  – диод VD4 – вывод 2. При этом на резисторе образуется падение напряжения, полярность которого указана на рисунке 2. В течение этого полупериода диоды VD3 и VD4 тока не проводят, так как закрыты поступающим на них через диоды VD1 и VD4 напряжением. Максимальное обратное напряжение закрытых диодов равно амплитуде входного напряжения.

В следующий полупериод, когда знаки входного напряжения изменятся на противоположные, ток пойдет по следующей цепи: вывод 2 – диод VD2 – резистор  $R_n$  – диод VD3 – вывод 1, и на нагрузке будет создаваться падение напряжения той же полярности, что и в первый полупериод. Таким образом, на нагрузке будет создаваться постоянное пульсирующее напряжение.

В мостовой схеме частота пульсаций равна удвоенной частоте входного напряжения.

Пульсации выпрямленного напряжения оцениваются коэффициентом пульсаций  $p$  и являются отношением амплитуды первой гармоники входного напряжения  $U_{1вх}$  к среднему значению напряжения на нагрузке  $U_{Rн.ср}$ :

$$(1) \quad p = \frac{U_{1вх}}{U_{Rн.ср}}$$

Среднее значение выпрямленного синусоидального напряжения на нагрузке  $U_{Rн.ср}$  при помощи мостовой схемы выпрямления определяется по следующей формуле:

$$(2) \quad U_{Rн.ср} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_a \sin \omega t d\omega t \approx 0,9U_a$$

где  $U_a$  – амплитуда пульсирующего напряжения на нагрузке.

Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения применяются сглаживающие фильтры. Это свойство фильтров оценивается коэффициентом сглаживания  $q$ , равным отношению коэффициентов пульсаций ( $p$ ) на входе и выходе фильтра:

$$(3) \quad q = \frac{p_{вх}}{p_{вых}}$$

Основными элементами сглаживающих фильтров являются конденсаторы, индуктивные катушки и транзисторы, сопротивления которых различны для постоянного и переменного токов. В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры.

Индуктивный фильтр, состоящий из дросселя  $L$ , включают последовательно с нагрузочным резистором  $R_n$ . Фильтр будет работать тем эффективнее, чем больше  $L$  или меньше  $R_n$ . Индуктивные фильтры обычно применяют в трехфазных выпрямителях средней и большой мощностей, то есть в выпрямителях, работающих на нагрузочные устройства с большими токами.

В электронных фильтрах вместо индуктивных катушек включают транзисторы. Такая замена позволяет избавиться от переходных процессов, отрицательно влияющих на работу нагрузочного устройства и самого

выпрямителя, при этом снижаются габариты, масса и стоимость выпрямителей.

Простейшим сглаживающим фильтром является емкостной, состоящим из конденсатора, подключенного параллельно нагрузке  $R_n$ . Заряжаясь в то время, когда напряжение на входе фильтра близко к максимальному, конденсатор отдает запасенную энергию в нагрузку при уменьшении входного напряжения. В схеме (рисунок б) сглаживающим фильтром может быть конденсатор  $C_1$ .

Коэффициент сглаживания емкостного фильтра тем выше, чем больше емкость конденсатора. Правда, при этом укорачиваются импульсы тока подзаряда конденсатора, а, следовательно, растет их амплитуда, что усложняет работу выпрямительных диодов. Емкостные фильтры широко применяют в источниках питания радиоэлектронных устройств, так как они просты и недороги.

Намного эффективнее сглаживающий фильтр, состоящий из двух звеньев: емкостного  $C_1$  и RC–звена из элементов  $R_1$  и  $C_2$ . Напряжение на конденсаторе  $C_1$  поднимается почти до амплитуды входного, при этом предварительно сглаживаются пульсации. Для окончательного сглаживания служит второе звено. Такой фильтр прост в изготовлении и недорог. Недостатком RC–фильтров является низкий КПД:

$$(4) \quad \text{КПД} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$$

Обычно на резисторе  $R_1$  теряется до 10% выпрямленного напряжения, что допустимо только в маломощных источниках питания.

### **Назначение, состав и органы управления двухлучевого осциллографа С1–74.**


Двухлучевой универсальный осциллограф С1–74 предназначен для исследования формы и параметров двух однократных или периодических электрических сигналов путем визуального наблюдения. Осциллограф

применяется для электро и радиоизмерений в различных областях науки и техники при проведении исследовательских и испытательных работ в лабораторных и производственных условиях. Осциллограф состоит из следующих функциональных узлов:

- двух каналов вертикального отклонения;
- двух каналов горизонтального отклонения;
- двух усилителей синхронизации;
- двух усилителей подсвета;
- индикатора;
- калибратора;
- схемы коммутации;
- усилителя канала «Z»;
- блока питания.

Все операции по исследованию параметров электрических сигналов производятся по изображению формы исследуемых сигналов на экране электронно–лучевой трубки (ЭЛТ). К экрану прикреплена шкала, которая разделена на 6 вертикальных и 10 горизонтальных делений. Основные органы управления осциллографом представлены в таблице 1.


Таблица 1 – Органы управления осциллографа

Обозначение органов управления	Назначение
СЕТЬ	Освещение шкалы
Свет	Регулировка яркости (верхняя ручка для верхнего луча, нижняя – для нижнего)
	Регулировка яркости (верхняя ручка – для верхнего луча, нижняя – для нижнего)

Окончание таблицы 1

Обозначение органов управления	Назначение
Фокус	Регулировка фокусировки (верхняя ручка – для верхнего луча, нижняя – для нижнего)
ВХОД СИНХ. А ВХОД СИНХ. Б	Входные разъемы для внешнего синхронизирующего сигнала
1:10 1:1 СЕТЬ ВНУР.	Переключатели вида синхронизации
ВЧ $\sim \cong$	Переключатели открытых или закрытых входов блока разверток
+ –	Переключатель полярности запуска синхронизирующим сигналом
УРОВНЬ	Регулировка уровня запуска синхронизирующим сигналом
ВРЕМЯ/ДЕЛ	Переключатели длительности разверток
АВТ.ЖДУЩ. ОДНОКР.	Переключатель режимов запуска развертки А
АВТ.ЖДУЩ.	Переключатель режимов запуска развертки В
А+Б Б зад. А Б	Переключатель режимов работы блока разверток
$\longleftrightarrow$	Перемещение луча по горизонтали
+ВХОД –ВХОД	Входы усилителя вертикального отклонения
$\sim \cong$	Переключатели открытого и закрытого входов усилителей вертикального отклонения
V/ДЕЛ.	Переключатель коэффициента отклонения
$\updownarrow$	Смещение луча по вертикали
УСИЛЕНИЕ	Плавное усиление коэффициента отклонения
КОРР.	Установка калиброванного коэффициента отклонения
БАЛАНС	Баланс усилителя вертикального отклонения по постоянному току

Внимание! Так как одновременная подача высокого напряжения и напряжения накала на ЭЛТ до разогрева ее катода разрешается только при

запертых лучах, включение осциллографа разрешается производить только в крайние положения ручек «» обеих лучей.

Осциллограф обеспечивает технические характеристики после времени само прогрева, равного 15 мин.

Измерение амплитуд и временных интервалов исследуемых сигналов производится методом калиброванной шкалы. Этот метод основан на измерении линейных размеров изображения непосредственно по шкале экрана ЭЛТ. Измеряемую величину подсчитывают по формуле:

$$A = B \cdot C,$$

где  $A$  – искомая величина сигнала,  $B$  – число делений шкалы,  $C$  – значение положения переключателей коэффициента отклонения ( $V / \text{ДЕЛ.}$ ) или коэффициента развертки ( $\text{ВРЕМЯ} / \text{ДЕЛ.}$ ).

### **Эпюры напряжения.**

Эпюра– особый вид графика, показывающий распределение величины нагрузки на объект. Например, для стержня продольная ось симметрии берётся за область определения и составляются эпюры для сил, напряжений и разных деформаций в зависимости от абсциссы.

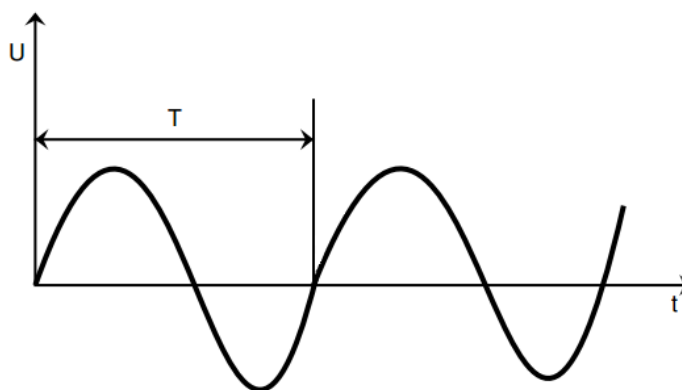


Рисунок 3 – Синусоидальная эпюра напряжения

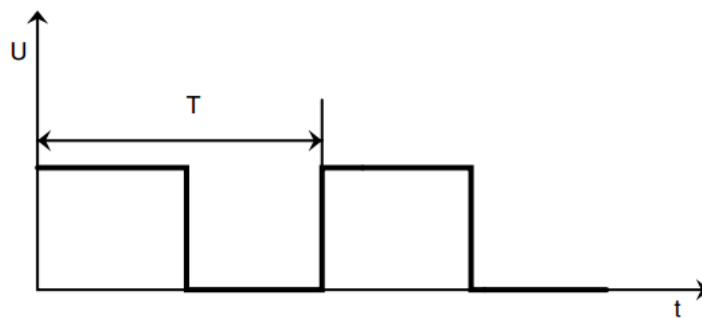


Рисунок 4 – Прямоугольная эюра напряжения

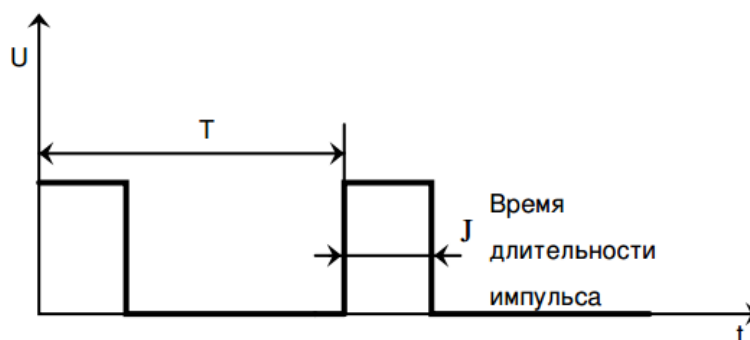


Рисунок 5 – Время длительности импульса

**Задание по работе:** исследовать работу мостовой схемы выпрямителя; исследовать влияние фильтров и нагрузки на амплитуду пульсации.

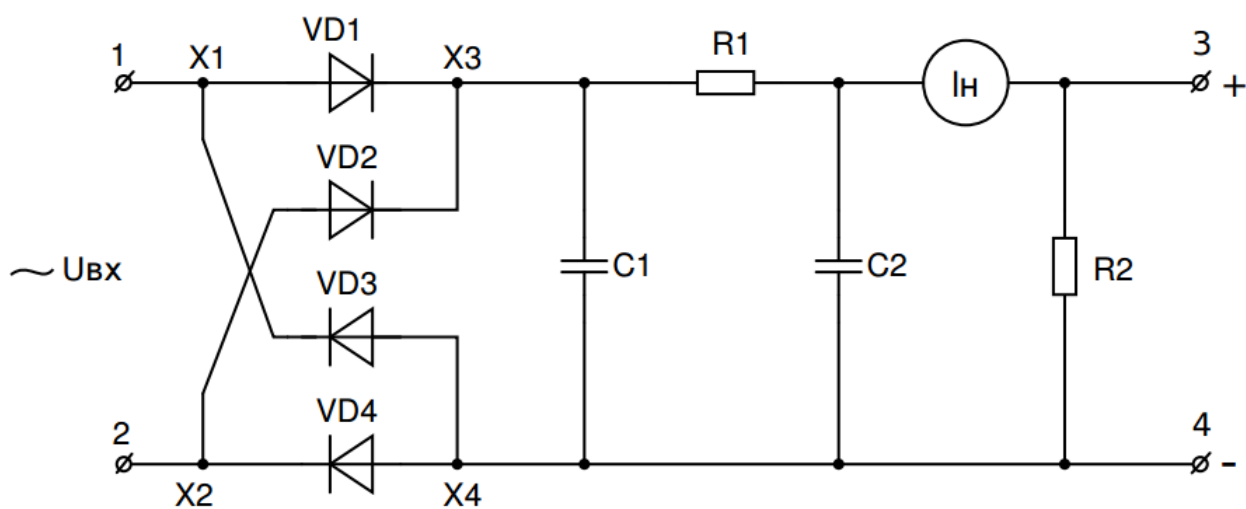


Рисунок 6 – Схема для исследования мостовой схемы выпрямления

### **Ход работы:**

#### **I Исследование работы мостовой схемы выпрямления**

1. Собрать схему для исследования мостовой схемы выпрямления (рисунок 3), при этом учитывать следующее:

- VD1 – VD4 – полупроводниковые диоды типа КД103 или Д220;
- R1 заменить перемычкой;
- R2 не использовать;
- C1 и C2 не устанавливать;
- к точкам 1 и 2 подключить одно из плеч источника переменного напряжения 15 В;
- для измерения постоянного напряжения схемы и тока нагрузки использовать мультиметры.

2. Снять, сфотографировать и зарисовать друг под другом в координатных осях осциллограммы напряжений на входе мостовой схемы выпрямления (точки X1 и X2) и на выходе (точки X3 и X4).

3. Определить амплитуду сигналов и частоту, вычислить по формулам (1) и (2) коэффициент пульсации  $r$ ; определить действующее значение входного напряжения и сравнить ее с показаниями мультиметра у источника переменного напряжения.

#### **II Исследование емкостного фильтра**

4. Установить в схему конденсатор C1 емкостью 20 мкФ.

5. Включить стенд; снять и зарисовать осциллограмму напряжения на выходе (точки X3 и X4); измерить напряжение и ток на выходе. Полученные данные занести в таблицу 2.

6. Установить резистор R2 номиналом 1,6 кОм; снять и зарисовать осциллограмму напряжения на выходе (точки X3 и X4); измерить напряжение и ток на выходе. Полученные данные занести в таблицу 2.

7. Установить резистор R2 номиналом 1 кОм; снять и зарисовать осциллограмму напряжения на выходе (точки X3 и X4); измерить напряжение и ток на выходе. Полученные данные занести в таблицу 2.



8. Установить резистор R2 номиналом 510 Ом; снять и зарисовать осциллограмму напряжения на выходе (точки X3 и X4); измерить напряжение и ток на выходе. Полученные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Экспериментальные результаты

$R_H(R2)$ , кОм	нет	1,6	1	0,51
$I_H$ , мА				
$U_H$ , В				
$U_{м.п.}$ , В (амплитуда пульсации)				

### III Исследование фильтра, состоящего из двух звеньев

9. Установить в схему конденсатор C2 емкостью 50 мкФ и резистор R1 номиналом 200 Ом; убрать резистор R2.

10. Произвести аналогичные действия согласно п. 2 – 5 предыдущего раздела и записать полученные данные в таблицу 3.

11. Согласно данным таблиц построить нагрузочные характеристики.

Таблица 3 – Экспериментальные результаты

$R_H(R2)$ , кОм	нет	1,6	1	0,51
$I_H$ , мА				
$U_H$ , В				
$U_{м.п.}$ , В (амплитуда пульсации)				

### Содержание отчета:

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема для исследования работы мостовой схемы выпрямления.
4. Таблицы 2 и 3 с результатами измерений.
5. Фотографии устройств в ходе опыта и показаний осциллографа.

6. Изображение снятых характеристик.
7. Экспериментально определенные величины
8. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называют биполярным Выпрямителем?
2. Где применяется фильтрующее устройство?
3. Где применяется стабилизатор напряжения
4. Сколько последовательно включенных диодов имеется в цепи тока нагрузки при мостовой схеме выпрямления?
5. От чего зависит эффективность работы индуктивного фильтра?
6. Каким должно быть максимально допустимое обратное напряжение на диоде в мостовой схеме?
7. Как влияют конденсаторы фильтра и сопротивление нагрузки на амплитуду пульсаций? Для чего служит коллектор в биполярном транзисторе?
8. Какой будет осциллограмма напряжения на нагрузке, если один из диодов отключен?
9. Для чего применяют мостовую схему выпрямления?
10. Какова частота пульсаций на выходе выпрямителя?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### «ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛА ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ КОЛЬЦЕВОГО ГЕНЕРАТОРА»

**Цель:** ознакомиться с логическими элементами и их обозначениями, определить задержку распространения сигнала.

**Приборы и материалы:** безопасная макетная плата ZY–206, осциллограф двухлучевой универсальный С1–74, логические элементы 155ЛА3, соединительные провода.

#### **Краткие теоретические сведения**

##### **Логические элементы**

Логические элементы, это простейшие устройства, составные части цифровой микросхемы, выполняющие определённые логические функции. При этом, цифровая микросхема может содержать в себе от одного, до нескольких единиц, десятков, и до нескольких сотен тысяч логических элементов в зависимости от степени интеграции. Для того, чтобы разобраться, что такое логические элементы, мы будем рассматривать самые простейшие из них.

Начнём с того, что единица цифровой информации это «один бит». Он может принимать два логических состояния – логический ноль «0», когда напряжение равно нулю (низкий уровень), и состояние логической единицы «1», когда напряжение равно напряжению питания микросхемы (высокий уровень).

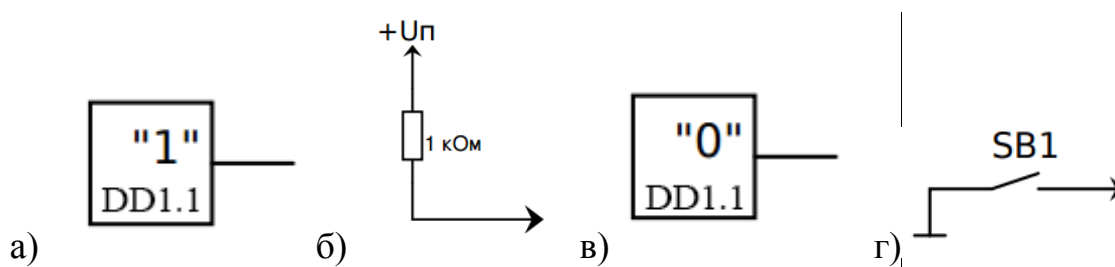


Рисунок 1 – Обозначение в ТТЛ логике логической единицы (а), принципиальной электрической схемы логической единицы (б), логического нуля (в), принципиальной электрической схемы логического нуля (г)

Поскольку простейший логический элемент – это электронное устройство, то это означает, что у него есть входы (входные выводы) и выходы (выходные выводы). И входов, и выходов может быть один, а может быть и больше.

Для того, чтобы понять принципы работы простейших логических элементов используется «таблица истинности». Кроме того, для понимания принципов работы логических элементов, входы, в зависимости от их количества обозначают:  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , а выходы:  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$ .

Обозначение DD1.1 означает, что D – цифровой логический элемент, 1 (первая) – номер микросхемы в общей схеме, 1 (вторая) – номер элемента в микросхеме. Точно также расшифровываются и другие логические элементы.

Часто, чтобы отличить цифровые микросхемы от аналоговых микросхем, применяют обозначения из двух букв: DD – цифровая микросхема, DA – аналоговая микросхема.

Функции, выполняемые простейшими логическими элементами, имеют названия. Как правило, впереди функции ставится цифра, обозначающая количество входов. Простейшие логические элементы всегда имеют лишь один выход.

«И» (AND) – функция сложения (если на всех входах единица, то на выходе будет единица, в противном случае, если хотя бы на одном входе ноль, то и на выходе всегда будет ноль). В алгебре–логике элемент «И» называют

«конъюнктор». Графическое обозначение элемента «И» и его таблица истинности представлены слева.

На схеме внутри прямоугольника микросхемы рисуется значок «&», что на английском языке означает «AND».

По таблице истинности следует, что на выходе элемента «И» будет логическая единица только в одном случае – когда на обоих входах будет логическая единица. Если хотя бы на одном входе ноль, то и на выходе будет ноль.

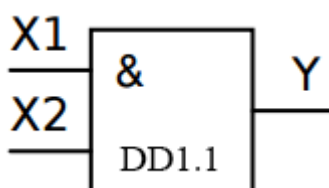


Рисунок 2 – Логический элемент «И»

Таблица 1 – Таблица истинности логического элемента «И»

X1	X2	Y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

«ИЛИ» (OR) – функция выбора (если хотя бы на одном из входов – единица, то на выходе – единица, в противном случае на выходе всегда будет ноль). В алгебре–логике, элемент «ИЛИ» называют «дизъюнктор».

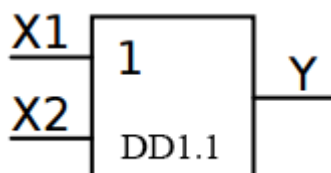


Рисунок 3 – Логический элемент «ИЛИ»

Таблица 2 – Таблица истинности логического элемента «ИЛИ»

X1	X2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

«НЕ» (NOT) – функция отрицания (инверсии сигнала). Потому его чаще называют – «инвертор». Графически, инверсия обозначается пустым кружочком вокруг вывода элемента (микросхемы). Обычно кружок инверсии ставится у выхода, но в более сложных логических элементах, он может стоять и на входе.

У элемента «НЕ» всегда один вход и один выход. По таблице истинности следует, что при наличии на входе элемента логического нуля, на выходе будет логическая единица. И наоборот, при наличии на входе логической единицы, на выходе будет логический ноль. Цифра «1» внутри прямоугольника обозначает функцию «ИЛИ», её принято рисовать и внутри прямоугольника элемента «НЕ», но это равным счётом ничего абсолютно не значит.

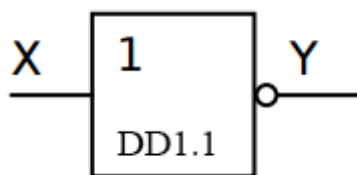


Рисунок 4 – Логический элемент «НЕ»

Таблица 3 – Таблица истинности логического элемента «НЕ»

X	Y
0	1
1	0

«И–НЕ» (NAND) – функция сложения с отрицанием (если на всех входах единица, то на выходе будет ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица).

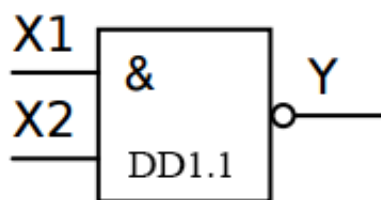


Рисунок 5 – Логический элемент «И–НЕ»

Таблица 4 – Таблица истинности логического элемента «И–НЕ»

X1	X2	Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

«ИЛИ–НЕ» (NOR) – функция выбора (если хотя бы на одном из входов – единица, то на выходе – ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица). Как вы поняли, элемент «ИЛИ–НЕ» выполняет функцию «ИЛИ», а потом инвертирует его функцией «НЕ».

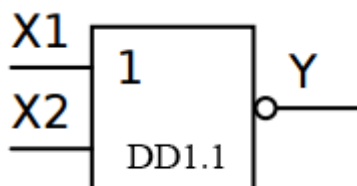


Рисунок 6 – Логический элемент «ИЛИ–НЕ»

Таблица 5 – Таблица истинности логического элемента «ИЛИ–НЕ»

X1	X2	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

«Исключающее ИЛИ» (XOR) – функция неравенства двух входов. Высокий потенциал на выходе возникает только в том случае, если входные сигналы не равны. То есть на одном из входов должна быть единица, а на другом ноль. Если на выходе логического элемента имеется инвертор, то функция выполняется противоположная – «равнозначность». Высокий потенциал на выходе будет появляться при одинаковых сигналах на обоих входах.

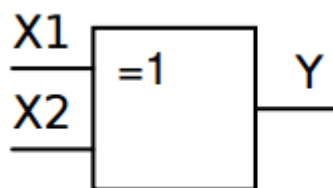


Рисунок 7 – Логический элемент «Исключающее ИЛИ»

Таблица 6 – Таблица истинности логического элемента «Исключающее ИЛИ»

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

**Задание по работе:** Собрать схему (рисунок 8) на макетной плате используя микросхему К155ЛА3 (рисунок 9), поочередно подать на первый



логический элемент логический ноль и единицу, сфотографировать экран осциллографа и нарисовать эпюру напряжения. Рассчитать задержку распространения сигнала логических элементов по формуле. Сделать вывод о проделанной работе.

**Ход работы:**

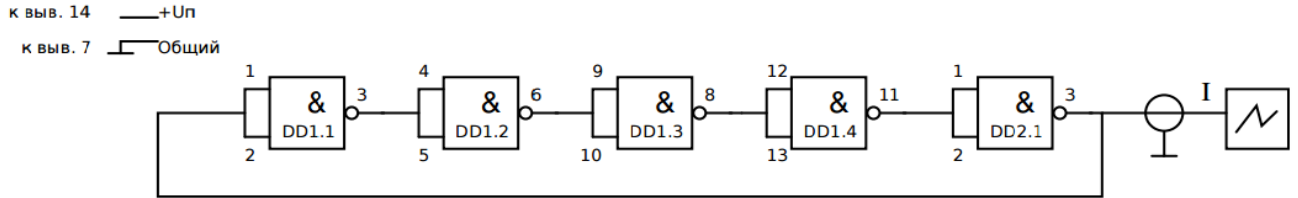


Рисунок 8 – Схема для определения задержки распространения сигнала

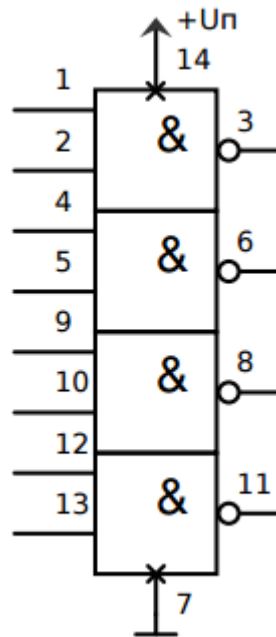


Рисунок 9 – Условно графическое обозначение К155ЛА3

Входы и выходы К155ЛА3:

- 1,2,4,5,9,10,12,13 – входы X1–X8;
- 3,6,8,11 – выходы Y1–Y4;
- 7 – общий;
- 14 – напряжение питания.

Формулы для расчета задержки сигнала логических элементов:

$$t_{\text{здср}} = (t^{10} + t^{01})/2$$

$$t^{10} + t^{01} = 2 t_{\text{здср}}$$

$$T = 5(t^{10} + t^{01})$$

$$T = 5 * 2 t_{\text{здср}}$$

$$t_{\text{здср}} = T/10$$

- $t^{01}$  – время перехода из состояния логического нуля в состояние логической единицы;
- $t^{10}$  – время перехода из состояния логической единицы в состояние логического нуля;
- $t_{\text{здср}}$  – среднее время задержки распространения сигнала;

### **Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Фотография устройства и экрана осциллографа.
4. Эпюра напряжения, построенная по показаниям экрана осциллографа.
5. Расчёты задержки распространения сигнала логических элементов
6. Вывод

### **Контрольные вопросы**

1. Что называют логическим элементом?
2. Что называют синхронизируемым генератором одиночного импульса?
3. Что называют разрядностью в микросхемах?
4. Где применяется кольцевой генератор?
5. Что называют распределителем импульсов?

6. В чём заключается принцип работы осциллографа, построенного на ЭЛТ?
7. Что называют эпюрой напряжения и для чего она служит?
8. От чего зависит задержка распространения сигнала?
9. Почему время задержки  $t^{10}$  и  $t^{01}$  различаются?
10. Что такое «гонки» в цифровых схемах?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### «ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРА»

**Цель:** изучить работу мультиплексора, снять выходную характеристику с помощью осциллографа.

**Приборы и материалы:** Беспаячная макетная плата ZY–206, микросхема К155КП5, кнопки, резисторы, блок питания, осциллограф, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Мультиплексор – это функциональный узел, осуществляющий подключение одного из нескольких входов к выходу в соответствии с кодом адреса. Мультиплексор имеет код КП (К155КП5). Для обозначения мультиплексоров на схемах используется символ MS или MUX. Мультиплексор имеет вход разрешения «Е», информационные входы  $D_{i0} - D_{in}$ , адресные входы  $A_1 - A_n$ , где  $n = 2, 4, \dots$ , информационные выходы Q (прямые и инверсные, или какой-либо один из них). Часто выход мультиплексора делают инверсным. В составе ряда серий выпускаются микросхемы многоразрядных мультиплексоров, т.е. в одном корпусе размещается несколько мультиплексоров, объединенных адресными входами.

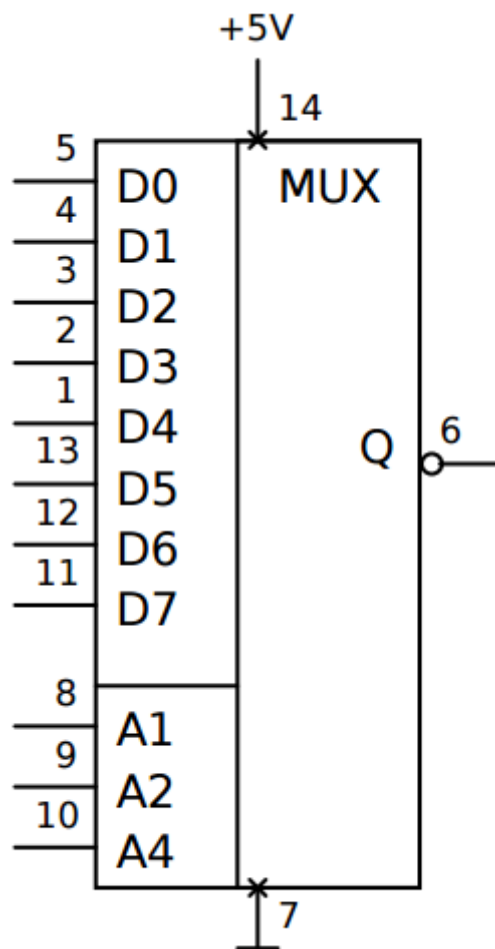


Рисунок 1 – Условное графическое изображение К155КП5

**Задание по работе:** Собрать схему на беспаячной макетной плате, составить таблицу истинности данного мультиплексора, снять выходные характеристики с помощью осциллографа.

## Ход работы:

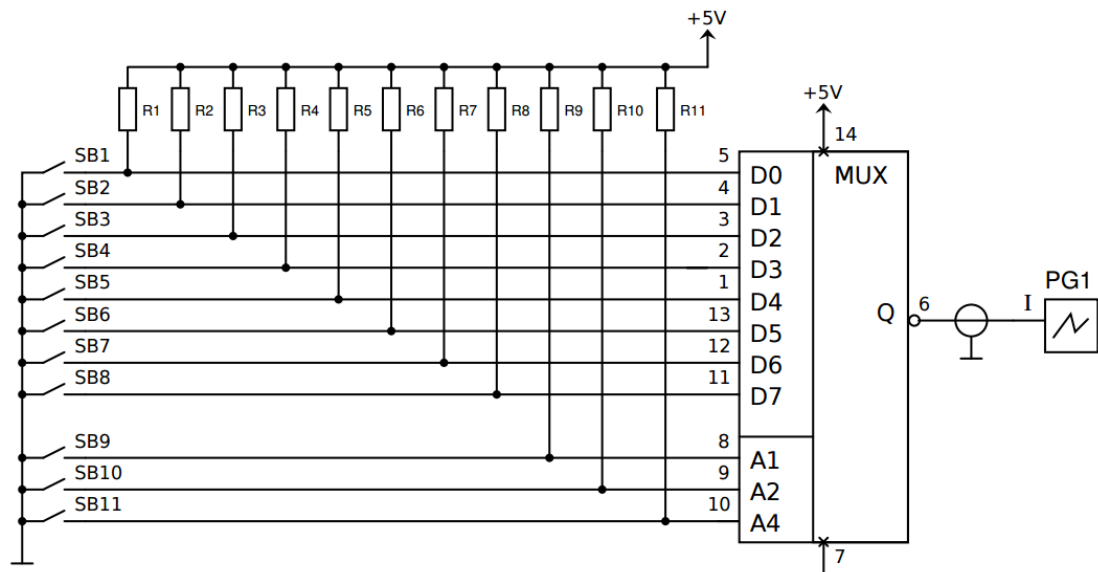


Рисунок 2 – Схема для снятия временных диаграмм мультиплексора

1. Собрать схему (рисунок 2) на макетной плате.
2. Написать полную таблицу истинности работы мультиплексора.
3. Задать произвольную комбинацию на информационных входах.
4. Снять временные диаграммы работы мультиплексора с помощью осциллографа, изменяя состояние адресных входов в соответствии с таблицей истинности.

## Содержание отчета:

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема опыта.
4. Фотография устройства и экрана осциллографа.
5. Таблица истинности.
6. Эпюра напряжения, построенная по показаниям экрана осциллографа.
7. Вывод.

## Контрольные вопросы

1. Что называют мультиплексором?
2. Приведите логическую схему мультиплексора.
3. Где применяется мультиплексор?
4. Существует ли зависимость между количеством адресных и информационных входов? Если да, то какая?
5. Для чего существует разрешающий вход?
6. Для чего служат адресные входы?
7. От чего зависит быстродействие мультиплексора?
8. На основе мультиплексора разработайте логический элемент «И» («ИЛИ», «И–НЕ», «ИЛИ–НЕ», «исключающее ИЛИ») и т.д.
9. Для чего применяют каскадирование мультиплексоров?
10. Для чего в мультиплексорах используется стробирующий вход?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

### «ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СДВИГАЮЩЕГО РЕГИСТРА»

**Цель:** изучить принцип работы сдвигающего регистра с помощью генератора псевдослучайных кодов; определить в результате опыта период повторения кодов.

**Приборы и материалы** беспаяечная макетная плата ZY–206, микросхема, К155ИР13, кнопки, резисторы, блок питания, осциллограф, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Регистрами называют функциональные узлы, предназначенные для хранения информации. Информация поступает и хранится в регистре в виде  $n$ -разрядных двоичных чисел. С использованием регистров можно также выполнять и операции преобразование кодов. Основными элементами внутренней структуры регистров являются триггеры. По способу приема и передачи информации регистры делятся на параллельные, последовательные (сдвигающие) и параллельно–последовательные.

Исследуемый сдвигающий регистр имеет восемь информационных входов (D1–D8) для параллельной записи информации с кнопочного регистра и один информационный вход, («вход инф.») для последовательной записи информации. Параллельная запись информации осуществляется по управляющему входам S1–S2, выставив на них логическую единицу (таблица 1).

Сдвиг информации между триггерами регистра происходит от младших разрядов к старшим (сдвиг влево) при подаче сигналов на управляющий вход



«С» (гнездо «сдвиг»). Также регистр имеет восемь информационных входов (Q1–Q8).

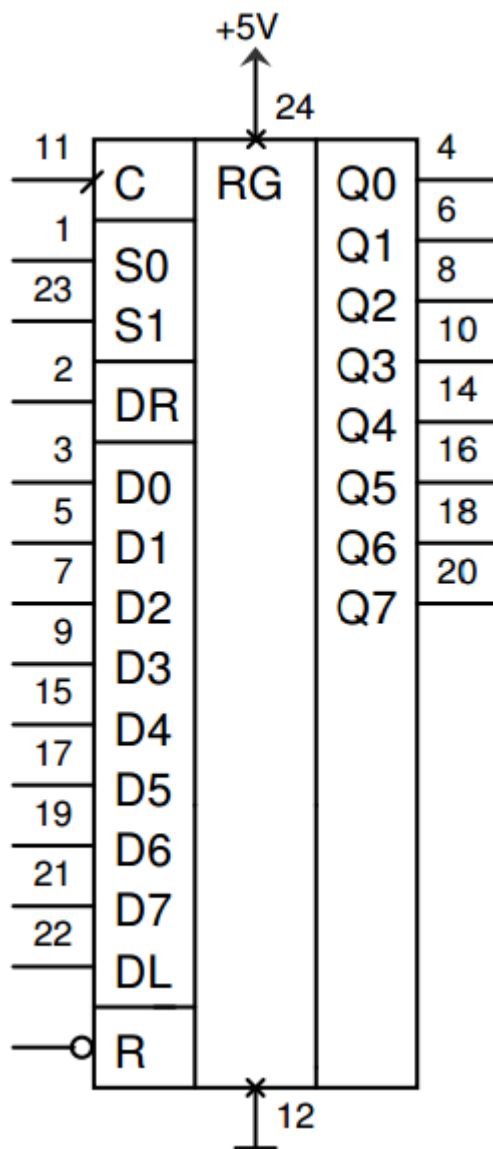


Рисунок 1 – Условное графическое изображение микросхема К155ИР13

Входы–выходы К155ИР13:

- 1 – вход режимный S0;
- 2 – вход последовательного ввода информации при сдвиге вправо DR;
- D0–D7 – входы информационный D0–D7;
- Q0–Q7 – выходы Q0–Q7;
- 11 – вход синхронизации С;
- 12 – общий;

- 13 – вход инверсный "сброс" R;
- 22 – вход последовательного ввода информации при сдвиге влево DL;
- 23 – вход режимный S1;
- 24 – напряжение питания;

Таблица 1 – Таблица режимов ИР13

S0	S1	Режим
0	0	Хранение
0	1	Сдвиг влево
1	0	Сдвиг вправо
1	1	Параллельный ввод

Микросхема К155ИР13 (зарубежный аналог 74198) представляет собой восьмиразрядный синхронный сдвиговый регистр (рисунок 1). Этот регистр может работать в четырех режимах: режиме параллельной загрузки, режимах сдвига влево и сдвига вправо (последовательная загрузка), режиме хранения. Выбор режима осуществляется входами S0 и S1. Если на входах S0 и S1 установлены низкие уровни (S0=0, S1=0), регистр находится в режиме хранения данных (таблица 1). Если на входах S0 и S1 установлены высокие уровни (S0=1, S1=1), регистр работает в режиме параллельной загрузки. В этом режиме на входы данных D0 – D7 подается слово (8–разрядное число), которое нужно записать в регистр. Информация с входов D0 – D7 записывается в регистр и появляется на выходах Q0 – Q7 по переднему фронту импульса синхронизации С. В режиме сдвига вправо (S0=1, S1=0) данные, которые необходимо записать в регистр, последовательно (по одному биту) поступают на вход DR. Запись каждого нового бита происходит по переднему фронту импульса С, при этом содержимое регистра сдвигается на один бит в сторону младшего разряда Q0, и новые данные записываются в старший разряд Q7. В режиме сдвига влево (S0=0, S1=1) записываемые данные последовательно поступают на вход DL. По переднему фронту импульса С

содержимое регистра сдвигается на один бит в сторону старшего разряда Q7, и новые данные записываются в младший разряд Q0.

При работе с регистром К155ИР13 следует учитывать, что на входы S0, S1 перепад от высокого уровня к низкому можно подавать, только когда на входе С присутствует напряжение высокого уровня.

Сброс регистра осуществляется подачей 0 на асинхронный вход R.

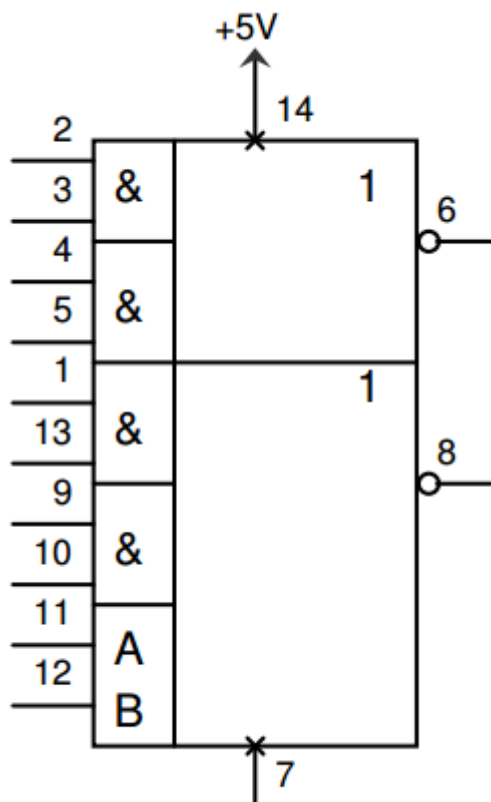


Рисунок 2 – Условное графическое обозначение К155ЛР1

Входы–выходы К155ЛР1:

- 1–5,9–13 – входы;
- 6,8 – выходы;
- 7 – общий;
- 14 – напряжение питания.

**Задание по работе:** определить период повторения кодов генератора.

## Ход работы:

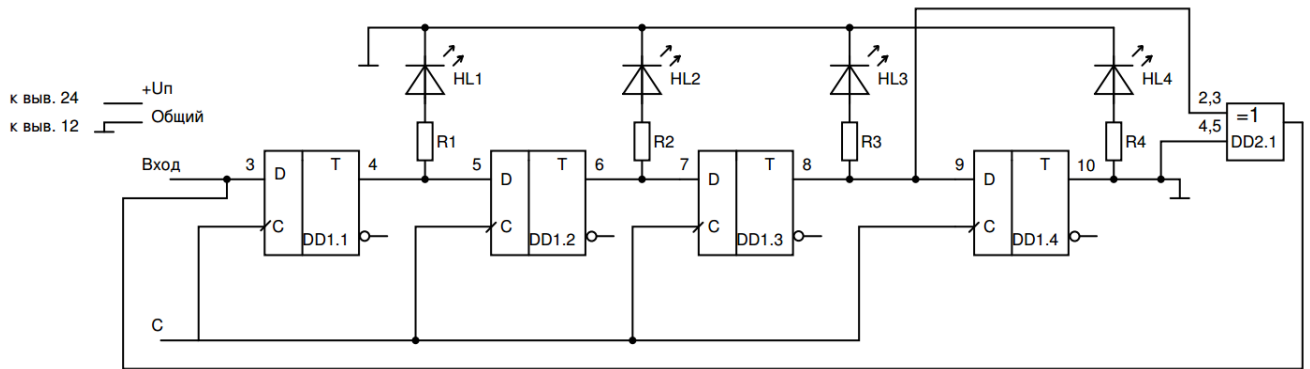


Рисунок 3 – Функциональная схема сдвигающего регистра на основе D–триггеров

1. Собрать схему генератора псевдослучайных кодов (рисунок 3) используя микросхему K155IP13 (DD1) и K155ЛР1 (DD2). Подключить его к регистру.

2. Подключить к входам D управляющие кнопки.

3. Подключить к выходам Q светодиоды.

4. Задать на информационных входах D произвольную последовательность.

5. Подключив к входу C генератора одиночного импульса последовательно нажимая кнопку «Пуск» записать информацию с «Входа инф.» в первый триггер регистра и одновременно сдвигать информацию между оставшимися триггерами регистра. Нажимая кнопку «Пуск» производить последовательную запись до тех пор, пока информация на выходах регистра не повторится.

## **Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема опыта
4. Фотография устройства.
5. Таблица с экспериментальными результатами.
6. Вывод.

## **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение «сдвигающего регистра».
2. Какие виды регистров вы знаете?
3. Как связан период повторения псевдослучайных кодов с количеством используемых информационных выходов регистра?
4. Приведите принцип записи в последовательный регистр.
5. Какие элементы лежат в основе построения регистров?
6. Приведите схему простого сдвигового регистра на D триггерах.
7. Приведите схему сдвигового регистра с параллельной выгрузкой.
8. Что означает режим сдвига «вправо», «влево»?
9. Как применить универсальный сдвиговый регистр для преобразования параллельного кода в последовательный?
10. Какова роль регистров в информационной электронике?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ШИФРАТОРА»

**Цель:** изучить работу шифратора и проверить ее с помощью дешифратора.

**Приборы и материалы:** Беспаячная макетная плата ZY–206, дешифратор КР1533ИДЗ, кнопки, резисторы, светодиоды, блок питания, соединительные провода.

#### **Краткие теоретические сведения**

Шифратором называют устройство, преобразующее унарный (позиционный) код в двоичный, т.е. он выполняет функцию обратную дешифратору. Шифратор часто называют кодером. Классический шифратор имеет  $m$ –входов и  $n$ –входов, связанных соотношением  $m=2n$ .

При подаче сигналов на один из входов (обязательно на один и не более) на выходе узла появляется двоичный код номера возбужденного входа. Шифратор можно использовать, например, для отражения в виде двоичного кода номера нажатой кнопки или положения многопозиционного переключателя. Микросхемы обычных шифраторов встречаются очень редко. Большее применение нашли приоритетные шифраторы, выпускаемые в составе многих серий. Они имеют обозначения «ИВ» (К155ИВ1).

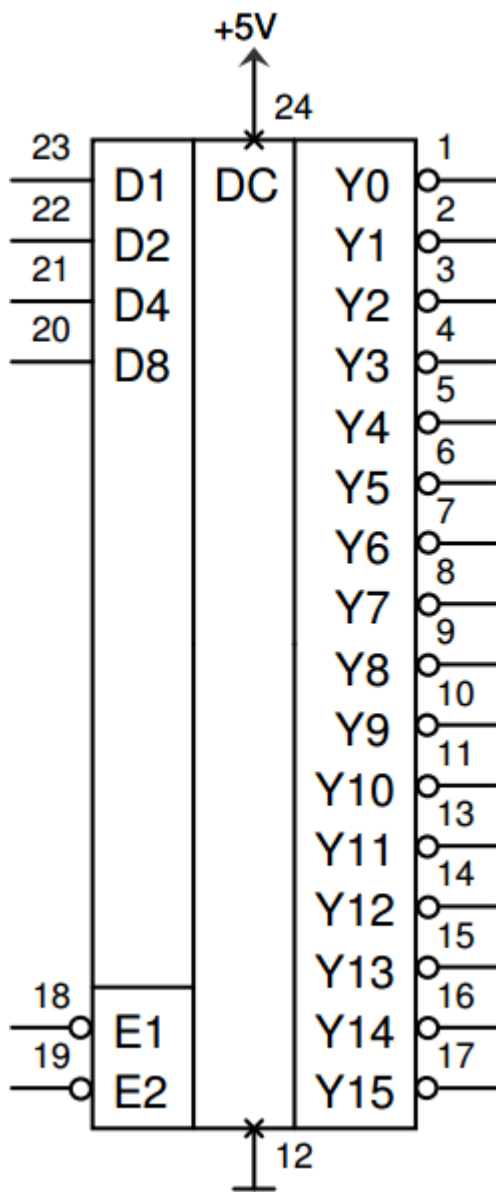


Рисунок 1 – Условное графическое обозначение дешифратора КР1533ИДЗ

Входы–выходы КР1533ИДЗ:

- D1–D8 входы;
- Y0–Y15 выходы;
- 12 общий;
- E1–E2 входы разрешения
- 24 напряжение питания;

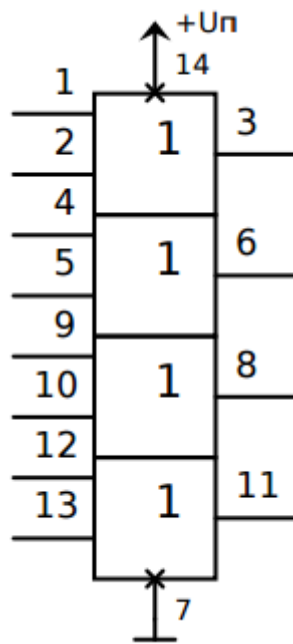


Рисунок 2 – Условное графическое обозначение логической микросхемы (2ИЛИ) К155ЛЛ1

- 1,2,4,5,9,10,12,13 – входы;
- 3,6,8,11 – выходы;
- 7 – общий;
- 14 – напряжение питания.

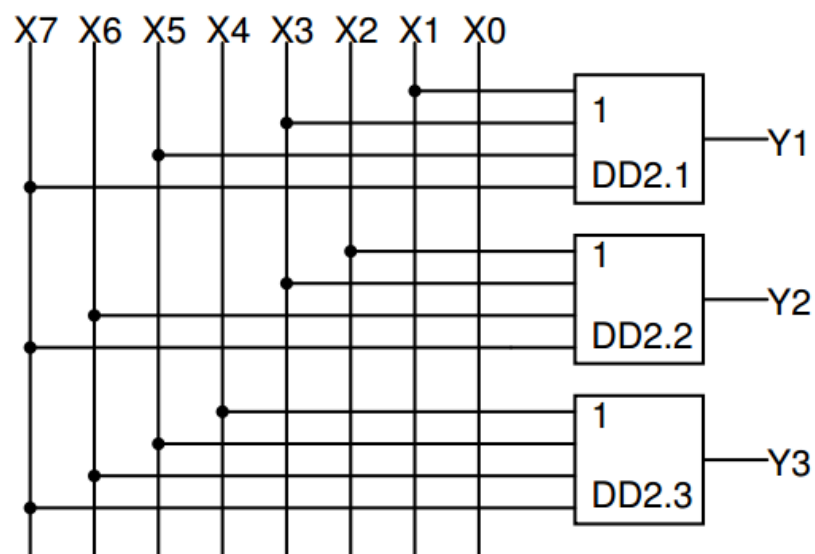


Рисунок 3 – Логическая схема шифратора



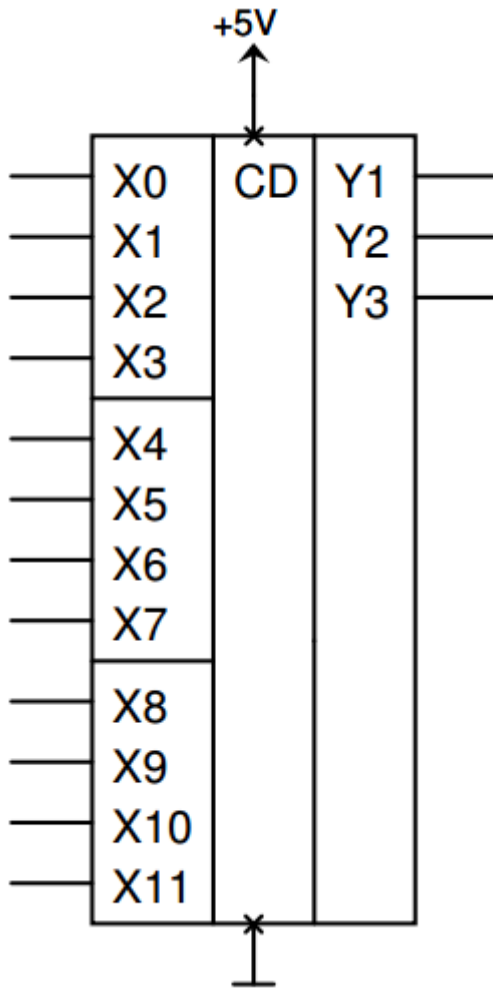


Рисунок 4 – Условное графическое обозначение шифратора

**Задание по работе:** Исследовать работу шифратора с помощью дешифратора КР1533ИД3 (DD1) (рисунок 1) и логической микросхемы К155ЛЛ1 (DD2) (рисунок 2).

Ход работы:

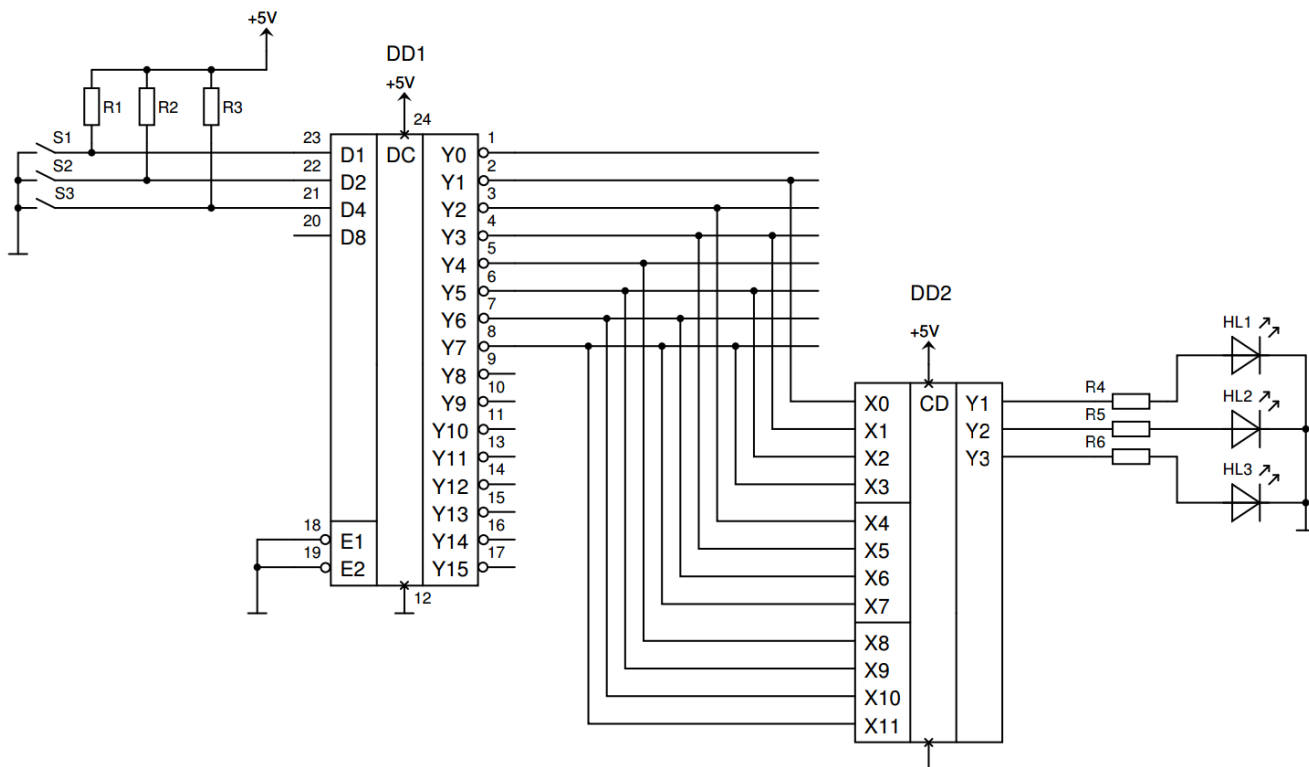


Рисунок 5 – Схема проверки шифратора

1. Составить полную таблицу истинности работы шифратора 8 – 3.
2. По таблице истинности разработать логическую схему шифратора.
3. Собрать схему разработанного шифратора и подключить его в соответствии со схемой опыта (рисунок 5).
4. Переключать входные сигналы в соответствии с таблицей истинности.
5. Получившийся результат на выходе шифратора представить в табличной форме.

## **Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема опыта.
4. Таблица истинности.
5. Фотография устройства
6. Таблица с экспериментальными результатами.
7. Вывод.

## **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение «шифратор»?
2. Как шифратор обозначается на схемах?
3. Где применяется шифратор?
4. В качестве чего используется кодер?
5. Что называют унитарным кодом?
6. От чего зависит сложность и быстродействие шифратора?
7. Можно ли подать активные уровни на несколько входов шифратора?

Почему?

8. Расскажите принцип работы шифратора?
9. Приведите таблицу истинности шифратора 4 в 2.
10. Что называют приоритетным шифратором?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

### «ИССЛЕДОВАНИЕ JK–ТРИГГЕРА»

**Цель:** изучить принцип работы JK–триггера; снять его выходные характеристики с помощью осциллографа.

**Приборы и материалы** Беспаяная макетная плата ZY–206, микросхема КМ155ТВ1, кнопки, резисторы, блок питания, осциллограф, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Триггером называется устройство, имеющее два устойчивых состояния: логическая единица и логический ноль. Триггеры бывают асинхронные и синхронные. Наиболее универсальным среди синхронных триггеров является JK–триггер.

Как и RS–триггер, JK–триггер сохраняет свое состояние при сигналах низкого уровня на входах. Сигнал на входе – J включает триггер: при  $J=1$  устанавливается  $Q=1$ . Сигнал на входе – K выключает триггер: при  $K=1$  устанавливается  $Q=0$ . При входном сигнале  $J=K=1$  начальное состояние триггера меняется на противоположное, что отличает его от RS–триггера, где аналогичная комбинация сигналов запрещена. Переключение JK–триггера происходит лишь при наличии синхросигнала. Вход – C реагирует не на уровень потенциала, а на его перепад.

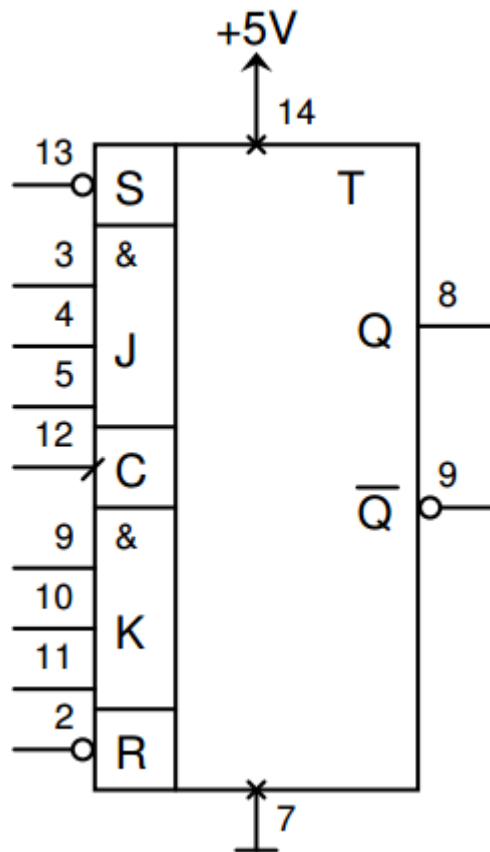


Рисунок 1 – JK триггер КМ155ТВ1

Входы–выходы КМ155ТВ1:

- 1 – свободный;
- 2 – вход R;
- 3–5 – входы J1–J3;
- 6 – выход Q;
- 7 – общий;
- 8 – выход  $\bar{Q}$ ;
- 9–11 – входы K1–K3;
- 12 – вход C;
- 13 – вход S;
- 14 – напряжение питания;

Микросхема представляет собой два независимых тактируемых J–K триггера с установкой в 0 и 1. Считывание информации с входов J и K

происходит во время положительного перепада на входе С, а на выходы она передается во время отрицательного перепада. наличие низкого уровня на входах R и S одновременно дает неопределенное состояние на выходах. Логические уровни на J и K не должны изменяться, пока на С высокий уровень. Если соединить выводы J и K триггер будет работать как обычный счетный (делить частоту на 2).

Триггер КМ155ТВ1 имеет прямой и инверсный выходы. На рисунке это соответственно выводы 8 и 6 (рисунок 1).

По входам R и S триггер работает так же, как простой RS–триггер. Рабочим для этих входов является низкий уровень. Как и у D – триггера эти входы являются приоритетными: появление и удержание на каком–либо из них низкого уровня запрещает работу остальных входов, а короткий отрицательный импульс переведет триггер в соответствующее состояние вплоть до следующего импульса на входе С.

Вход С – тактирующий. При работе триггера в счетном режиме он играет роль информационного, – именно на него поступают счетные импульсы. В режиме приема и хранения информации он служит тактирующим, его назначение подобно аналогичному входу D – триггера, но логика работы несколько иная и определяется состоянием JK входов.

Таблица 1 – таблица состояний КМ155ТВ1

J	K	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	1	0

**Задание по работе:** снять временные диаграммы работы JK–триггера.

**Ход работы:**

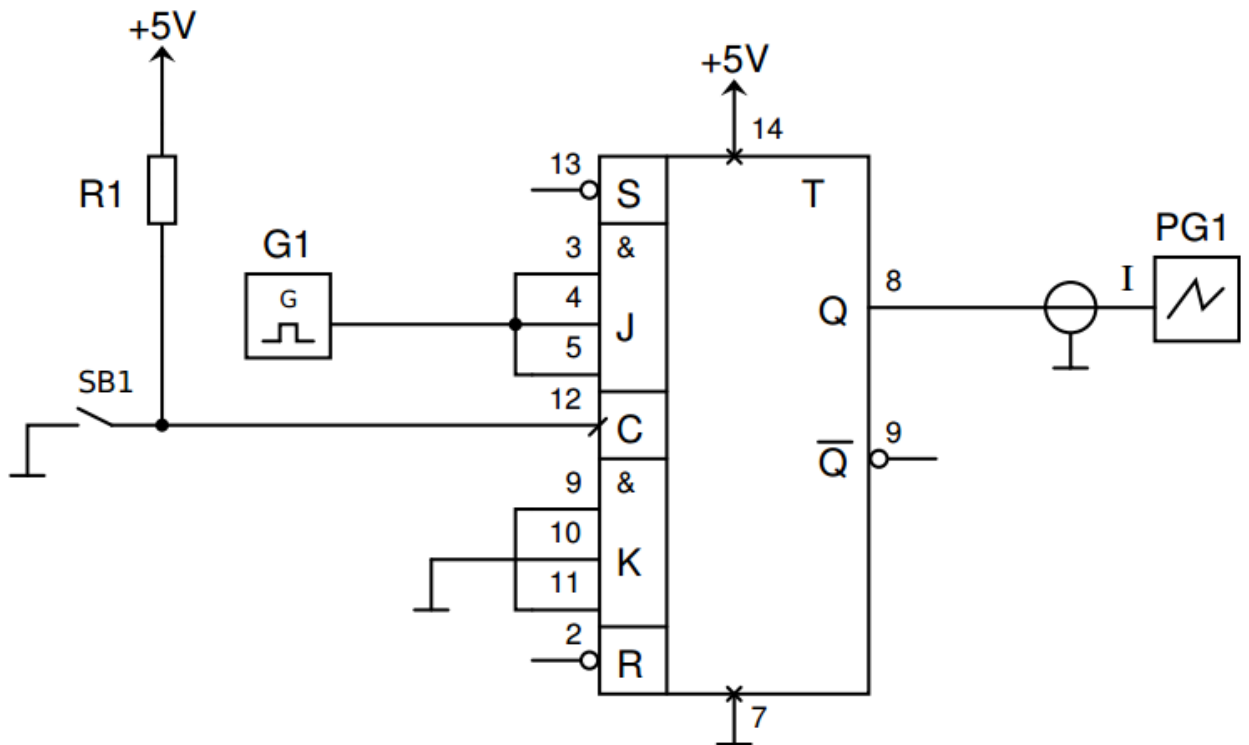


Рисунок 2 – Схема опыта 1

1. Собрать схему (рисунок 2). Подключить осциллограф.
2. Опыт 1: подключить вход J JK–триггер к гнезду 0,5 МГц генератора. Вход К – заземлить. Снять временную диаграмму JK–триггер с помощью осциллографа.
3. Опыт 2: подключить вход К JK–триггеру к гнезду 0,5 МГц генератора G1. Вход J – заземлить. Снять временную диаграмму работы JK–триггера с помощью осциллографа.
4. Опыт 3: подключить входы J и К JK–триггера к гнездам («+»). Снять временную диаграмму работы JK– триггер с помощью осциллографа

**Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.

2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема опыта.
4. Фотография устройства и экрана осциллографа.
5. Эпюра напряжения работы JK–триггера, снятых с помощью осциллографа.
6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение «JK–триггера»?
2. Как JK–триггер обозначается на схемах?
3. Приведите режимы работы JK–триггера.
4. Где применяются JK–триггеры?
5. От чего зависит быстродействие триггеров?
6. Почему JK– триггер называют универсальным?
7. Какой режим работы JK–триггера называется счетным?
8. Какие типы триггеров существуют? Дайте краткое описание каждого из них.
9. Приведите схему соединения логических элементов триггера
10. Как долго триггер может хранить записанную информацию, и от чего это зависит?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

### «ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО–ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО (СДВИГАЮЩЕГО) РЕГИСТРА»

**Цель:** изучение логики работы и приобретение навыков использования регистров сдвига.

**Приборы и материалы** Беспаячная макетная плата ZY–206, микросхема, К155ИР13, кнопки, резисторы, блок питания, осциллограф, соединительные провода.

#### Краткие теоретические сведения

Восьмиразрядный сдвигающий регистр параллельно–последовательного типа выполнен на основе двухступенчатых D–триггеров, выполненных в виде микросхем К155ТМ2 по схеме последовательного сдвига.

Сдвигающий регистр имеет восемь информационных входов (D1 – D8) для параллельной записи информации с кнопочного регистра и один информационный вход («вход инф.») для последовательной записи информации. Параллельная запись информации осуществляется по управляющему входам S1–S2, выставив на них логическую единицу (таблица 1).

Сброс информации в регистр производится аналогичным образом по управляющему входу R, подачей управляющего импульса на гнездо «сброс RG» или нажатием соответствующей кнопки.

Сдвиг информации между триггерами регистра происходит от младших разрядов к старшим (сдвиг влево) при подаче сигналов на управляющий вход «С» (гнездо «сдвиг»).

Вход импульса управления изображен рядом с гнездом соответствующего управляющего входа.

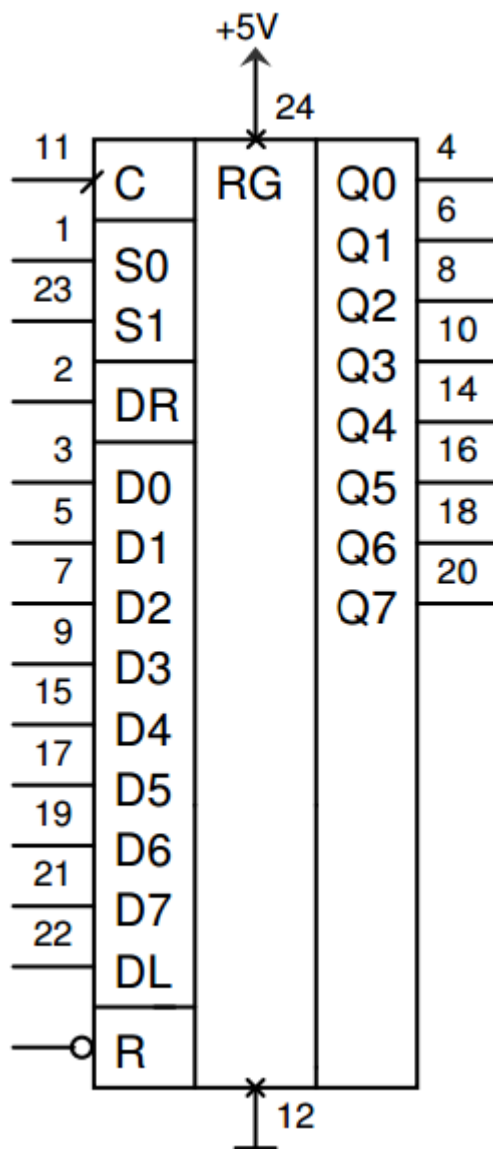


Рисунок 1 – Условное графическое изображение микросхема К155ИР13

Входы–выходы К155ИР13:

- 1 – вход режимный S0;
- 2 – вход последовательного ввода информации при сдвиге вправо DR;
- D0–D7 – входы информационный D0–D7;
- Q0–Q7 – выходы Q0–Q7;
- 11 – вход синхронизации C;
- 12 – общий;

- 13 – вход инверсный «сброс» R;
- 22 – вход последовательного ввода информации при сдвиге влево DL;
- 23 – вход режимный S1;
- 24 – напряжение питания;

Таблица 1 – Таблица режимов ИР13

S0	S1	Режим
0	0	Хранение
0	1	Сдвиг влево
1	0	Сдвиг вправо
1	1	Параллельный ввод

Параллельная запись и сброс информации в регистре производится при следующей последовательности операций:

1. На регистре установим восьмиразрядный код.
2. Нажимая кнопку «Пуск» генератора, произведем параллельную запись установленного кода в сдвигающий регистр. Информация о том, что произошла запись кода в триггеры регистра отображается путем включения светодиодов у соответствующих выходов сдвигового регистра.
3. Подав логическую единицу на инверсный вход R регистра сбросим записанный код.
4. Повторим действия, описанные в пунктах 1–3, сменив исходный код на кнопочном регистре.

**Задание к работе:** Собрать схему кольцевого распределителя сигналов (рисунок 1).

## Ход работы:

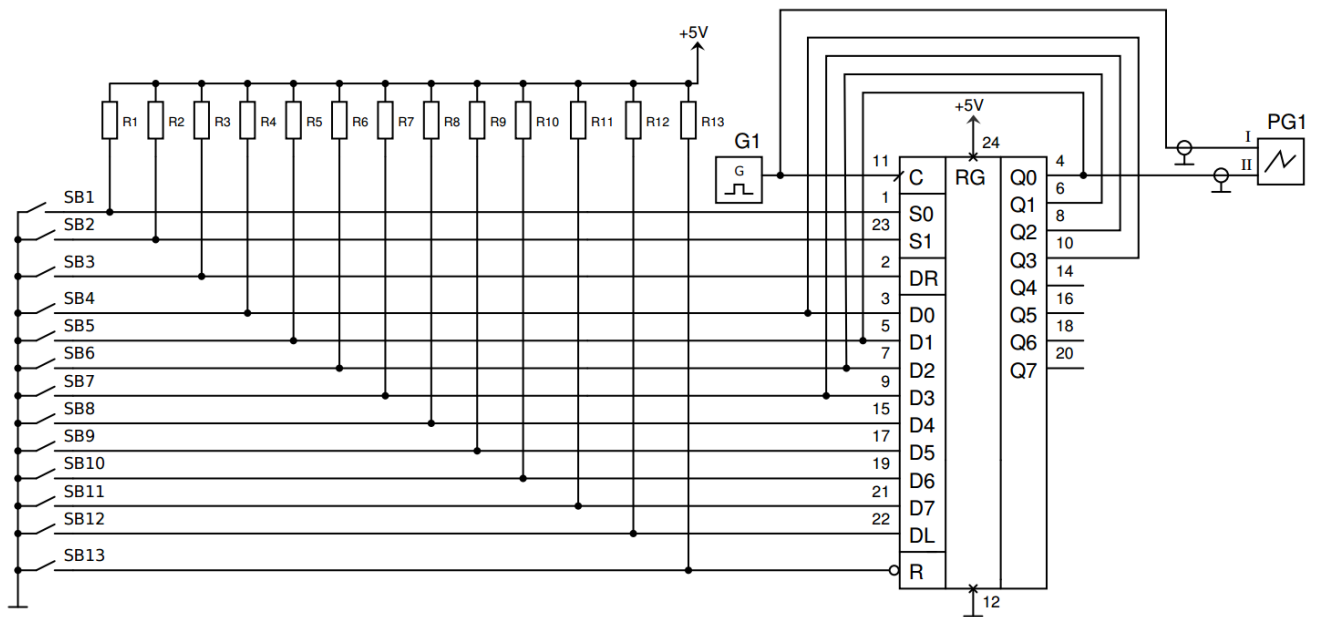


Рисунок 1 – Схема кольцевого распределителя сигналов

1. Включить стенд.
2. Записать в первый разряд кнопочного регистра логическую единицу (в остальные семь старших разрядов установить логический ноль).
3. Подать на вход С сдвигающего регистра с генератора синхроимпульсов G1 сигнал частотой 0,5 МГц.
4. Записать в параллельном формате с кнопочного регистра информацию в сдвиговый регистр.
5. Включить осциллограф.
6. Настроить осциллограф при синхронизации развертки «Б» от сигнала Q1 сдвигающего регистра. Установить верхний луч на середину верхней части, а нижний на середину нижней части экрана ЭЛТ.
7. Подать на вход верхнего луча осциллографа сигнал с генератора синхроимпульсов G1 частотой 0,5 МГц.
8. Последовательно подавая на вход нижнего луча осциллографа сигналы Q1, Q2, Q3 и Q4, убедиться в их последовательном сдвиге на один такт относительно друг друга.

9. Продемонстрировать преподавателю правильное функционирование схемы кольцевого распределителя.

10. Определить по изображению на экране ЭЛТ частоту импульсов в любом из выходных каналов кольцевого распределителя.

11. Сделать выводы о проделанной работе.

### **Содержание отчета:**

1. Тема, цель лабораторной работы.
2. Приборы и материалы, используемые при выполнении лабораторной работы, с их характеристиками.
3. Схема опыта.
4. Фотография устройства и экрана осциллографа.
5. Эпюра напряжения работы кольцевого распределителя сигналов, снятых с помощью осциллографа.
6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение регистров.
2. По каким признакам классифицируются регистры?
3. Чем определяется разрядность регистров?
4. Назначение параллельного регистра.
5. Объясните принцип работы последовательного регистра.
6. Как осуществляется параллельная запись и сброс информации в регистре?
7. Каково назначение информационного входа регистра?
8. Как работает счетчик импульсов. Типы счетчиков.
9. Кольцевые счетчики на регистрах. Принцип действия. Назначение.
10. Как производится преобразование информации в обратный код?