

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**  
**Автономное профессиональное образовательное учреждение Удмуртской**  
**Республики «Техникум радиоэлектроники и информационных**  
**технологий**  
**имени А.В. Воскресенского»**

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

**Дисциплина ОП.04 Основы электроники и вычислительной техники**  
**программы подготовки специалистов среднего звена**  
**специальность 11.02.15 Инфокоммуникационные сети и системы связи**  
**квалификации выпускника – специалист по монтажу и обслуживанию**  
**телекоммуникаций**  
Форма обучения - очная

Разработал преподаватель: Лихачева Л.И.

2024 г.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 Общие сведения о полупроводниках

### Теоретическая часть:

Полупроводники - материалы, которые по своему удельному электрическому сопротивлению занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

У металлов  $\rho < 10^{-4}$  Ом•см. У диэлектриков  $\rho > 10^{10}$  Ом•см.

У полупроводников  $\rho = (10^{-3} \dots 10^9)$  Ом•см и сильно зависит от внешних воздействий.

Принцип действия полупроводниковых приборов тесно связан с особенностями электропроводности полупроводников.

В производстве преимущественно используется кремний (Si), так как является твёрдым телом с регулярной кристаллической решёткой. То есть каждый атом её расположен на одинаковом расстоянии от 4-х соседних. Так как связь между атомами валентная, то каждый атом электрически нейтрален.

С повышением температуры валентные связи между отдельными атомами полупроводника нарушаются. При этом образуются свободные электроны и незаполненные связи (дырки), которые всегда образуются и исчезают парами. Дырки впоследствии могут оказаться заполненными свободными электронами соседних атомов. А образованные в соседних атомах дырки так же могут оказаться заполненными свободными электронами следующих соседних атомов и так далее. Вследствие перемещения электронов и дырок образуется собственная электропроводность полупроводника. То есть она обусловлена парными носителями теплового происхождения.

Движение электронов и дырок в полупроводнике происходит за счёт двух процессов: диффузии и дрейфа.

Диффузионный ток - по причине разности концентраций носителей.

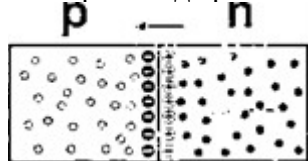
Дрейфовый ток - происходит под действием электрического поля.

Для усиления собственной электропроводности полупроводника в него добавляют атомы примесного вещества:

1. Например, вводят в кристалл кремния примеси V группы таблицы Д.И.Менделеева (сурьма, мышьяк, фосфор). В таком полупроводнике основными носителями заряда будут электроны, то есть проводимость будет определяться электронами. Это полупроводник n-типа. Такая примесь будет донорной.

2. Либо вводят в кристалл кремния примеси III группы таблицы Д.И.Менделеева (индий, бор, алюминий). В таком полупроводнике проводимость будет определяться дырками. Это полупроводник p-типа. То есть это акцепторная примесь.

Принцип работы большинства полупроводниковых приборов основывается на свойствах электронно-дырочного перехода p-n-перехода.



На рисунке изображены две граничащие области полупроводника, одна из которых содержит донорную примесь, а другая акцепторную примесь.

При отсутствии приложенного напряжения наблюдается диффузия основных носителей зарядов из одной области в другую. Так как электроны это основные носители заряда, и в области n их концентрация больше они диффундируют в p-область заряжая отрицательно приграничный слой этой области. Но уходя со своего места электроны создают вакантные места - дырки, тем самым заряжая приграничный слой p-области положительно. Таким образом, через достаточно короткий промежуток времени с обеих сторон поверхности раздела образуются противоположные по знаку пространственные заряды. В результате

положительно заряженный слой p-области вместе с отрицательно заряженным слоем r-области образуют обеднённый слой. Он и является p-p-переходом.

Электрическое поле, создаваемое неподвижными зарядами в p-p-переходе, препятствует дальнейшей диффузии дырок и электронов, то есть препятствует увеличению диффузионного тока. Возникает так называемый потенциальный барьер. В p-p-переходе устанавливается равновесие.

При подключении к r- и p-областям внешнего напряжения равновесие в электронно-дырочном переходе нарушается и возникает ток.

- При подключении «+» к r-области, диффузионный ток резко возрастает. Такое включение называют прямым. А при подключении «-» к r-области, диффузионный ток прекращается, и появляется дрейфовый ток неосновных носителей, число которых значительно меньше. Такое включение называют обратным.

### Задание:

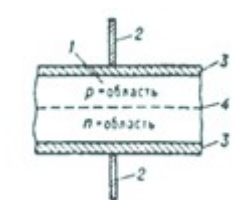
1. Внимательно прочитайте теоретическую часть и сделайте конспект в тетрадь.
2. Письменно ответьте на следующие вопросы:
  - 2.1. Почему атомы в кристалле кремния электрически нейтральны?
  - 2.2. Какие типы носителей зарядов образуют собственную электропроводность полупроводника?
  - 2.3. Что может оказаться причиной движения носителей зарядов в полупроводнике?
  - 2.4. С чем связан принцип действия полупроводниковых приборов?
  - 2.5. По какой причине могут возникнуть разности концентраций носителей в полупроводниках?
  - 2.6. С появлением каких слоёв в полупроводниках образуется p-p-переход?
  - 2.7. При каком подключении через p-p-переход проходит большой прямой ток, а при каком незначительный обратный ток?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 Полупроводниковые диоды

### Теоретическая часть:

Полупроводниковый диод - полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами (электродами). В отличие от других типов диодов, принцип действия полупроводникового диода основывается на явлении p-n перехода.

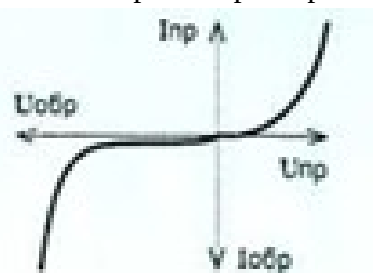
Рис. 1. Структурная схема полупроводникового диода с p-n переходом: 1 — кристалл; 2 — выводы (токоподводы); 3 — электроды (омические контакты); 4 — плоскость p-n перехода.



Идеальный полупроводниковый диод допускает протекание бесконечно большого прямого тока и выдерживает бесконечно большое обратное напряжение. Это отражено на вольт-амперной характеристике.

Рис. 2. Типичная вольт-амперная характеристика

полупроводникового диода с p-n переходом:  $U_{np}$  — напряжение на диоде;  $I_{np}$  — ток через диод;  $U_{обр}$  и  $I_{обр}$  — максимальное допустимое обратное напряжение и соответствующий обратный ток. Идеальных диодов на практике не бывает. Реальный диод всегда имеет конечную величину обратного напряжения, после чего наступит



переходом:  $U_{np}$  — напряжение и  $I_{np}$  — ток через диод;  $U_{обр}$  и  $I_{обр}$  — максимальное допустимое обратное напряжение и соответствующий обратный ток. Идеальных диодов на практике не бывает. Реальный диод всегда имеет конечную величину обратного напряжения, после чего наступит

пробой, и вполне определённый максимальный прямой ток, превышение которого вызовет тепловой пробой.

Электрический пробой - резкое падение их электрического сопротивления при достаточно высоком приложенном напряжении, отличается от теплового пробоя тем, что при нём слабо пробивное напряжение зависит от температуры.

Диоды, выполненные на основе кремния, имеют меньшую величину обратного тока и более высокую максимально допустимую температуру кристалла, чем германиевые диоды. Однако падение напряжения на кремниевых диодах в прямом включении примерно в два раза выше, чем на германиевых диодах.

Германиевые диоды работают при температурах не выше  $+80^{\circ}\text{C}$ , а кремниевые - до  $+140^{\circ}\text{C}$ .

Анодом диода называют вывод от той области электронно-дырочного перехода диода в прямом включении, к которому подсоединяют положительный полюс источника питания. А вывод от области, к которой подключают отрицательный полюс источника питания, именуют катодом.

По своему назначению полупроводниковые диоды подразделяются на выпрямительные (как разновидность выпрямительных - силовые), импульсные, высокочастотные и сверхвысокочастотные, стабилитроны, трехслойные переключающие, туннельные, варикапы, фото- и светодиоды.

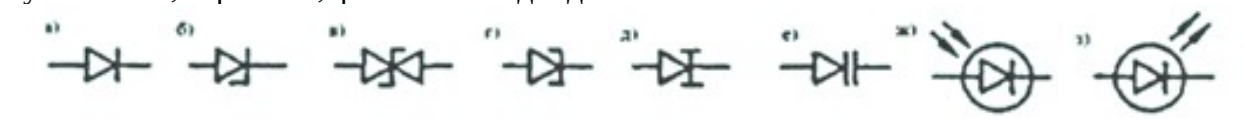


Рис. 3. Условные графические обозначения: а - выпрямительные и универсальные; б - стабилитроны; в - двухсторонний стабилитрон; г - туннельный диод; д - обращенные диоды; е - варикап; ж - фотодиодов; з - светодиод.

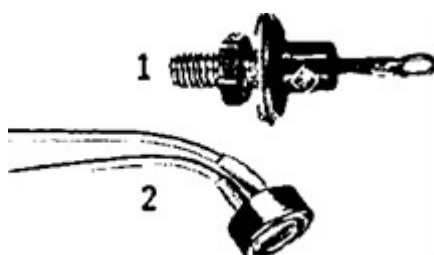
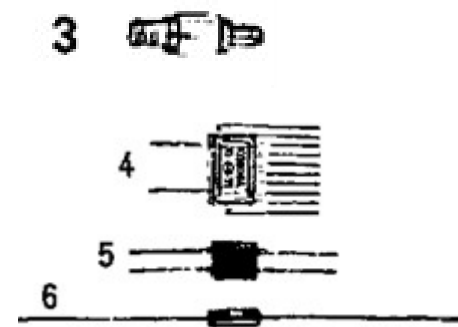


Рис. 4. Полупроводниковые диоды (внешний вид): 1 — выпрямительный диод; 2 — фотодиод; 3 — СВЧ диод; 4 и 5 — диодные матрицы; 6 — импульсный диод.

Корпуса диодов: 1 и 2 — металло-стеклянные; 3 и 4 — металло-керамические; 5 — пластмассовый; 6 — стеклянный.



### Задание:

1. Внимательно прочитайте теоретическую часть и сделайте конспект с рисунками в тетрадь.

2. Письменно ответьте на следующие вопросы:

2.1. На чём основывается принцип действия полупроводникового диода?

2.2. В чём отличие германиевых и кремниевых полупроводниковых диодов?

2.3. Что показывает вольт-амперная характеристика полупроводникового диода?

2.4. Что такое тепловой пробой?

2.5. В чём отличие катода и анода полупроводникового диода?

2.6. Какие бывают корпуса у полупроводниковых диодов?

2.7. Перечислите новые понятия, которые вы сегодня узнали. Дайте краткие определения.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3 Биполярные транзисторы

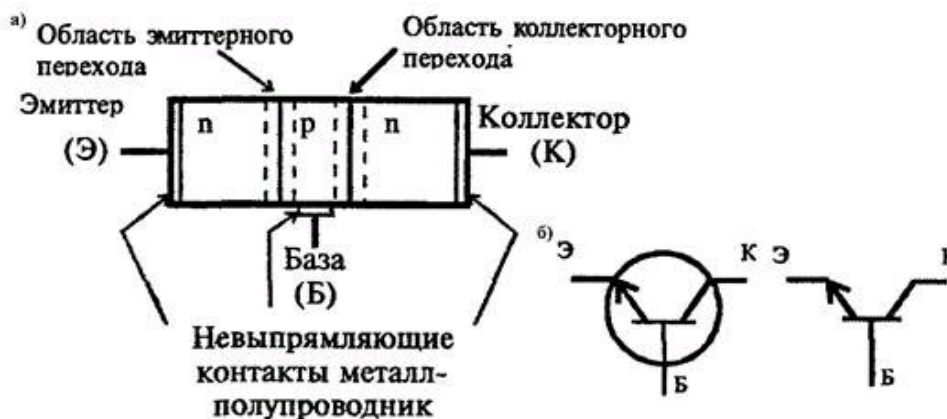
### Теоретическая часть:

Биполярным транзистором называют полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими р-п переходами и тремя и более выходами.

Это полупроводниковый кристалл, в котором две крайние области с одностипной электропроводностью разделены областью противоположной электропроводности.

В зависимости от электропроводности этих трёх областей различают транзисторы п-р-п и р-п-р типов.

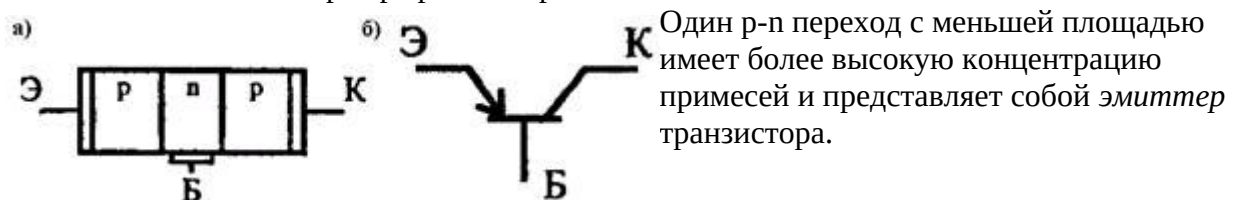
Рис. 1. Описание и обозначение п-р-п транзистора.



Невыпрямляющие контакты - это контакты между полупроводником и металлом, которые широко используются для формирования внешних выводов от полупроводниковых приборов.

Это асимметричные приборы, так как один из р-п переходов имеет гораздо большую площадь, чем второй. А так же в реальных транзисторах наблюдается и асимметрия в концентрации примесей.

Рис. 2. Обозначение р-п-р транзистора.



А р-п переход с большей площадью, имеет меньшую концентрацию примесей и представляет собой коллектор транзистора.

Средний слой транзистора называют базой.

Часть поверхностей базы, эмиттера и коллектора покрыты металлической плёнкой. К этим плёнкам припаиваются внешние выводы всех электродов транзистора. Сам кристалл укрепляют на кристаллодержателе и помещают в герметизированный корпус, а выводы выводят наружу.

Основные свойства транзистора определяются процессами в его базе. Остальные участки полупроводникового кристалла транзистора являются пассивными.

Взаимодействие между р-п переходами обеспечивается малой шириной базы. У современных транзисторов не превышает несколько микрон.

Бывают бездрейфовые и дрейфовые транзисторы. Если база однородна, то в ней движение носителей связано только с диффузией, то это бездрейфовый транзистор. А если база неоднородна, в ней соответственно образуется встроенное электрическое поле. То

есть на движение носителей оказывает влияние дрейф. Так происходит в дрейфовых транзисторах.

Чаще всего в качестве активных элементов интегральных схем применяются дрейфовые транзисторы.

#### **Задание:**

1. Внимательно прочитайте теоретическую часть и сделайте конспект с рисунками в тетрадь.

2. Письменно ответьте на следующие вопросы:

2.1. Как вы считаете, почему такой транзистор называется биполярным?

2.2. Как расположены области в кристалле транзистора?

2.3. Почему у *n-p-n* транзистора стрелочка на схеме направлена от базы к эмиттеру, а у *p-n-p* транзистора от эмиттера к базе?

2.4. Какой из участков полупроводникового кристалла транзистора является активным и почему?

2.5. В каком случае в транзисторе а движение носителей оказывает влияние дрейф?

2.6. Для чего используются транзисторы?

2.7. О каких новых понятиях вы сегодня узнали?

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4** **Оптоэлектронные приборы**

Оптоэлектронные приборы - это полупроводниковые приборы, которые чувствительны к электромагнитному излучению в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях (оптический диапазон спектра), а также приборы, производящие или использующие такое излучение.

Оптический диапазон — это электромагнитные волны с длиной от 1 нм до 1 мм, что соответствует частотам  $0,5 \times 10^{12}$ -  $0,5 \times 10^{17}$  Гц.

Видимому диапазону соответствуют длины волн от 3,88 до 0,78 мкм (частота около  $10^{15}$  Гц).

В практической деятельности используются источники излучения (излучатели), приемники излучения (фотоприемники) и оптроны (оптопары). Из источников излучения нашли широкое применение светодиоды и лазеры, а из приемников - фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры.

Широко используются оптроны, в которых применяются пары светодиод-фотодиод, светодиод-фототранзистор, светодиод-фототиристор.

Основными достоинствами оптоэлектронных полупроводниковых приборов являются:

- высокая информационная емкость оптических каналов передачи информации (большие значения используемых частот);
- отсутствие влияния приемника излучения на источник (однаправленность потока информации);
- невосприимчивость оптических каналов к электромагнитным полям (высокая помехозащищенность).

Оптон - это полупроводниковый прибор, в котором имеется и источник, и приемник излучения, конструктивно объединенные и помещенные в один корпус и связанные между собой оптически, электрически или одновременно обеими связями.

Принцип действия оптронов любого вида основан на следующем. В излучателе энергия электрического сигнала преобразуется в световую, в фотоприемнике, наоборот, световой сигнал вызывает электрический отклик.

В оптронах используются фотоприемники различных структур,

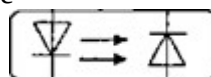
чувствительные в видимой и ближней инфракрасной области, так как именно в этом диапазоне спектра имеются интенсивные источники излучения и возможна работа фотоприемников без охлаждения.

Наиболее универсальными являются фотоприемники с р - п-переходами (диоды, транзисторы и т. п.), в подавляющем большинстве случаев они изготавливаются на основе кремния и область их максимальной спектральной чувствительности находится вблизи  $\lambda = 0,7...0,9$  мкм

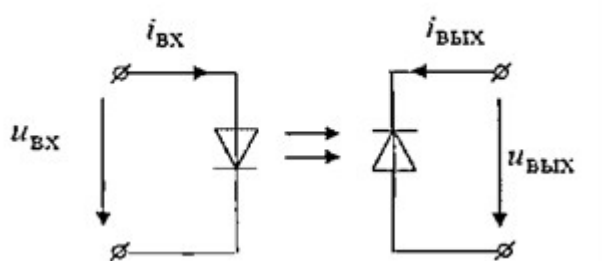
Практически распространение получили лишь оптроны, у которых имеется прямая оптическая связь от излучателя к фотоприемнику и, как правило, исключены все виды электрической связи между этими элементами.

Очень широко распространены оптроны, у которых в качестве приемника излучения используются фоторезистор, фотодиод, фототранзистор и фототиристор.

Рассмотрим оптопару светодиод-фотодиод. Условное



графическое изображение представлено на рисунке:



В данной схеме излучающий диод (слева) должен быть включен в прямом направлении, а фотодиод — в прямом (режим фотогенератора) или в обратном направлении (режим фотопреобразователя).

Оптроны используются как датчики во всевозможных детекторах наличия (например, детектор бумаги в принтере), датчиках конца (или начала), счётчиках и дискретных спидометрах на их базе (например, координатные счётчики в механической мыши, ареометры).

Также оптроны используются для гальванической развязки электрических цепей - передачи сигнала без передачи напряжения, для бесконтактного управления и защиты. На принципе полупроводникового оптрона построены такие приспособления как:

- беспроводные пульты управления и оптические устройства ввода-вывода;
- беспроводные (атмосферно-оптические) и волоконно-оптические устройства передачи аналоговых и цифровых сигналов.

Также оптроны используются в неразрушающем контроле как датчики аварийных ситуаций. Специальные диоды начинают излучать свет при воздействии на них радиации, а фотоприёмник фиксирует возникшее свечение и сообщает о тревоге.

Задание: Внимательно почитайте лекцию и сделайте конспект в тетрадь. Письменно ответьте на вопросы:

1. К каким областям электромагнитного излучения относится оптический диапазон спектра?
2. Чем обусловлена высокая информационная емкость оптических каналов передачи информации?
3. Какое достоинство даёт однонаправленность потока информации?
4. Чем обусловлена высокая помехозащищенность оптоэлектронных полупроводниковых приборов?
5. Опишите конструкцию оптрона.
6. На чём основан принцип действия любого оптрона?

7. В чём особенность универсальных фотоприёмников?
8. Какие элементы используют в качестве приёмников излучения в оптронах?
9. Что такое режим фотогенератора?
10. Что такое режим фотопреобразователя?

### Практическая работа № 5

#### Заполнение таблицы истинности по виду логической функции

Заполните таблицу истинности для логической функции:

Вариант 1:  $y = (x_1 + x_2 + x_3)$ .

Вариант 2:  $y = x_4 \cdot x_5 + x_6 \cdot \bar{x}_7$ .

Вариант 3:  $y = (x_1 + x_2) \cdot x_5$ .

Вариант 4:  $y = \{ \bar{x}_1 \cdot x_2 \}$ .

Вариант 5:  $y = (\overline{x_1 \cdot \bar{x}_2} + x_3)$ .

Вариант 6:  $y = x_5 + \bar{x}_6 \cdot x_7$ .

Вариант 7:  $y = (\bar{x}_3 + x_4 + x_5) \cdot x_6$ .

Вариант 8:  $y = \{ \bar{x}_4 \cdot \bar{x}_5 + \overline{\bar{x}_6 \cdot \bar{x}_7} \}$ .

### Практическая работа № 6

#### Выполнение заданий на построение комбинационных схем в заданном базисе

Постройте функциональную схему заданной функции в базисе И-НЕ:

Вариант 1:  $y = (x_1 + x_2 + x_3) \cdot (x_4 + \bar{x}_5) \cdot \bar{x}_6$ .

Вариант 2:  $y = (x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3) + x_4 \cdot x_5 + x_6 \cdot \bar{x}_7$ .

Вариант 3:  $y = (x_1 + x_2) \cdot (\bar{x}_3 + x_4) \cdot x_5 + x_6 \cdot \bar{x}_7$ .

Вариант 4:  $y = \{ \bar{x}_1 \cdot x_2 + x_3 \cdot \overline{\bar{x}_4 \cdot \bar{x}_5} + x_6 \}$ .

Вариант 5:  $y = (\overline{\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2} + x_3) + (x_4 \cdot x_5 \cdot \bar{x}_6)$ .

Вариант 6:  $y = x_1 \cdot \bar{x}_2 + (\overline{\bar{x}_3 + \bar{x}_4}) \cdot x_5 + \bar{x}_6 \cdot x_7$ .

Вариант 7:  $y = (\bar{x}_1 + x_2) \cdot (\bar{x}_3 + x_4 + x_5) \cdot x_6$ .

Вариант 8:  $y = (\bar{x}_1 + x_2 + x_3) \cdot \bar{x}_4 \cdot \bar{x}_5 + \overline{\bar{x}_6 \cdot \bar{x}_7}$ .

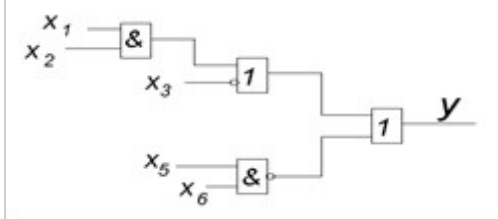
### Практическая работа № 7

#### Сравнительный анализ логических схем принятия решений

Вариант 1

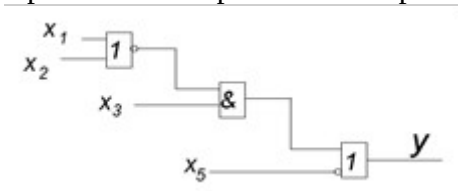


Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



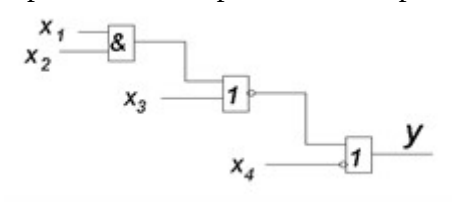
Вариант 2

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



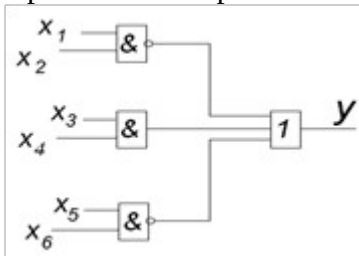
Вариант 3

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



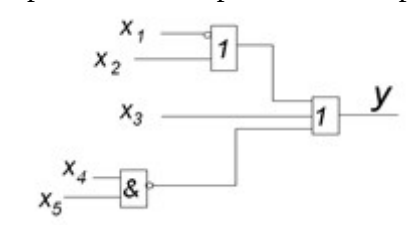
Вариант 4

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



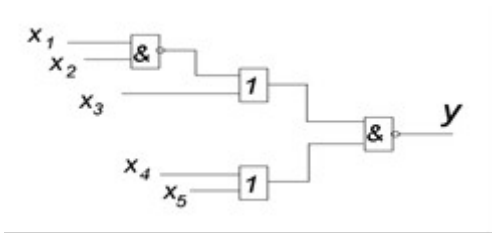
Вариант 5

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



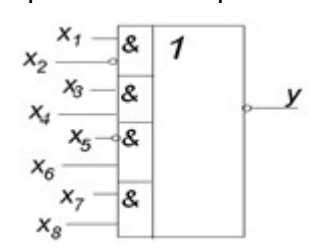
Вариант 6

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



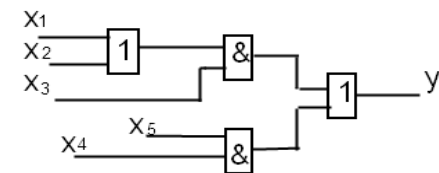
Вариант 7

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.



Вариант 8

Привести алгебраическое выражение функциональной схемы.

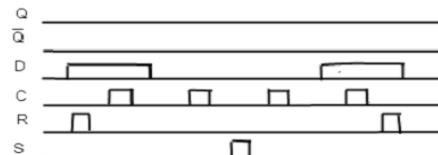
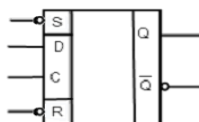


### Практическая работа № 8

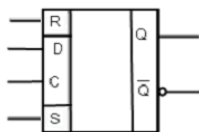
#### Сравнительный анализ логических схем памяти

Определить тип устройства:

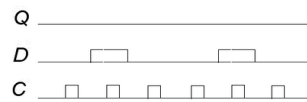
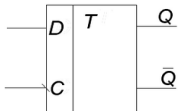
Вариант 1:



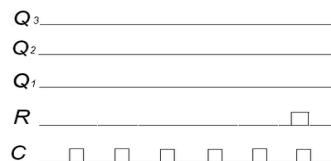
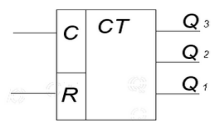
Вариант 2:



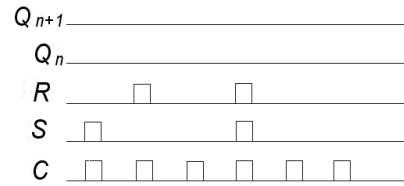
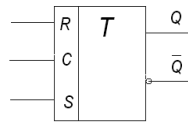
Вариант 3:



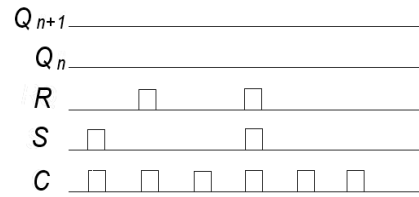
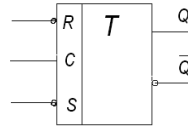
Вариант 4:



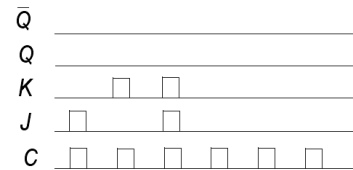
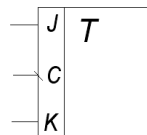
Вариант 5:



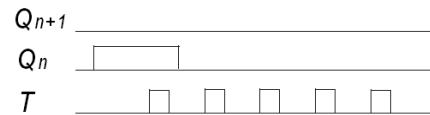
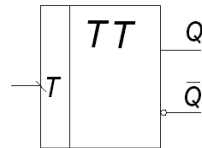
Вариант 6:



Вариант 7:



Вариант 8:



### Практическая работа № 9

#### Исследование характеристик запоминающих устройств на основе микросхем

1. Построить схемы триггеров согласно рисункам, подключить логический преобразователь к каждой из них.

Рис.1

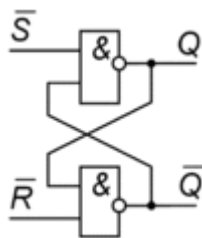


Рис.2

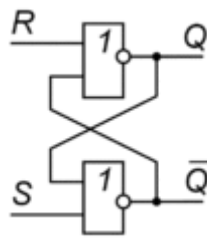


Рис.3

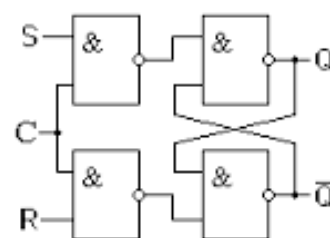


Рис.4

2. С помощью логического преобразователя получить таблицу истинности для каждого триггера.

3. С помощью логического преобразователя получить булево выражение, реализуемое каждым триггером.
4. По полученным результатам сделайте вывод, каким триггером является каждое из устройств.
5. Все результаты занести в тетрадь.

### Практическая работа № 10

#### Исследование характеристик аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей

Рассмотрим схему включения АЦП совместно с ЦАП (см. рис. 1). Цифроаналоговый преобразователь выберем обычный, выходной сигнал которого представляет собой напряжение. Источники опорного напряжения задают динамический диапазон работы АЦП, т.е. задают некоторое пороговое значение, поэтому на схеме они имеют подписи "верхний порог" и "нижний порог".

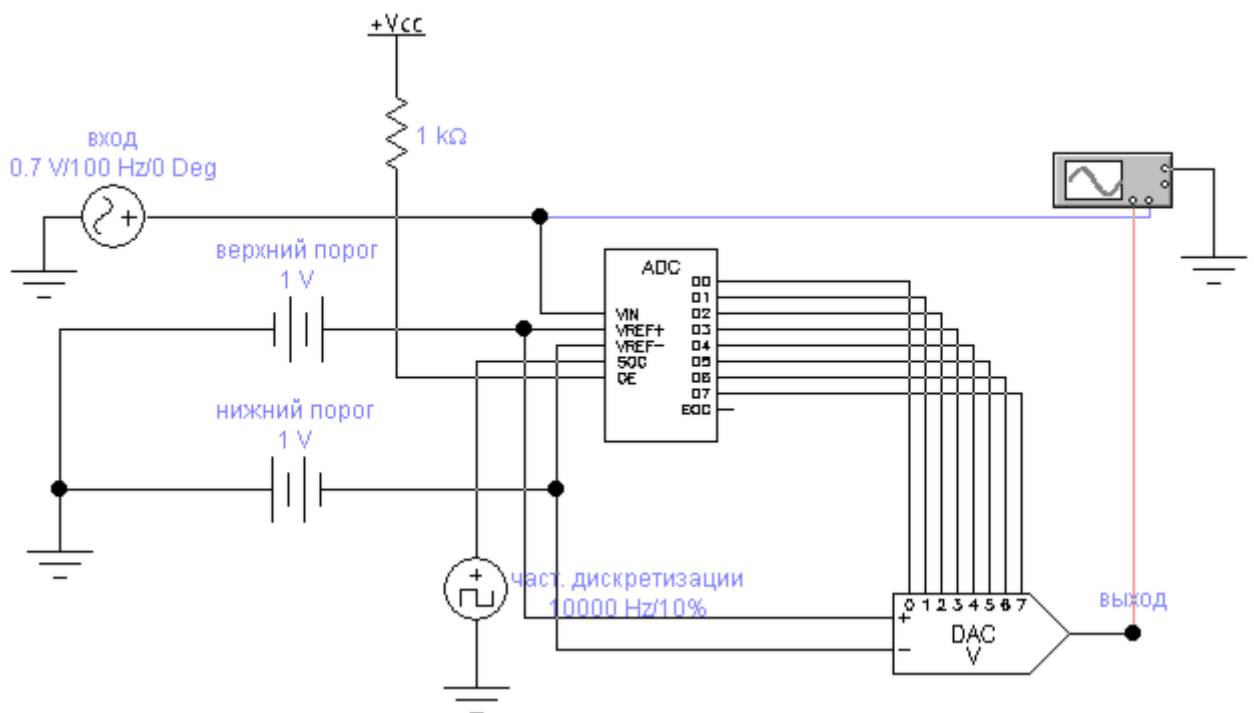


Рис. 1. Схема для изучения АЦП и ЦАП.

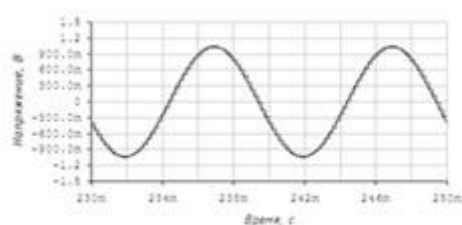


Рис. 2. Осциллограммы сигналов на входе и на выходе схемы.

На рис. 3 показан один из возможных вариантов 4-хразрядного ЦАП. Принцип работы этого ЦАП очень простой.

Вспомним, как перевести число из двоичного представления в десятичное. Если имеется  $n$ -разрядное двоичное число, то его можно преобразовать в десятичное представление следующим образом

где  $M_k$  - содержимое  $k$ -го разряда двоичного числа (1 или 0).

То есть нужно  $k$ -ый разряд умножить на  $2^k$ , а затем просуммировать все полученные числа. Схема, реализующая эти действия, показана на рис. 4.

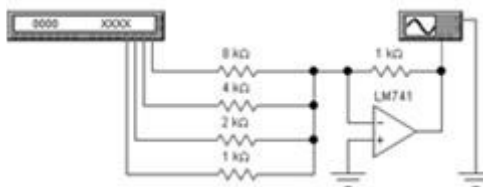


Рис. 3. Цифроаналоговый преобразователь.

Подав на вход цифроаналогового преобразователя двоичные числа с помощью генератора слов можно проверить правильность его работы. Для этого, установите генератор слов в режим инкрементирующего счетчика и ограничите счет до 000F (дальнейшее увеличение числа не имеет смысла, так как тогда количество разрядов превысит 4).

Зациклите генератор слов, чтобы он повторял сначала последовательность слов, когда дойдет до 000F.

Запустите симуляцию собранной схемы и посмотрите на ее работу. Осциллограммы выходного сигнала ЦАП показаны на рис. 4.

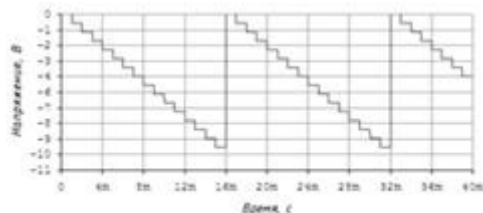


Рис. 4. Осциллограммы выходного сигнала ЦАП.

При необходимости можно увеличить число разрядов ЦАП, добавив дополнительные резисторы пропорциональные степеням двойки.