

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева
Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры
«Системы автоматического управления»
«09» декабря 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



О.В.Горячев

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
по дисциплине**

«Аналоговые и цифровые элементы систем управления»

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы специалитета**

по направлению подготовки

24.05.06 Системы управления летательными аппаратами

с направленностью (профилем)

Системы управления движением летательных аппаратов

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 240506-02-23

Тула 2022 год

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик:

Ефромеев Андрей Геннадьевич, доц. каф. САУ, к.т.н.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

Лабораторная работа №1

Основные радиоэлектронные измерения и измерительные приборы

Цель работы: изучение устройства радиоизмерительных приборов, их основных характеристик и правил эксплуатации.

Сведения из теории:

Все радиоэлектронные измерения можно разделить на два основных вида:

- измерение параметров сигналов;
- измерение характеристик и параметров цепей.

Так как измерение характеристик и параметров цепей сводится к измерению испытательного сигнала на входе и выходе цепи с последующим сравнением результатов, то в общем случае для выполнения измерений в радиоэлектронных цепях необходимо иметь два вида приборов:

- 1) непосредственно измерительные приборы, предназначенные для измерения параметров сигналов;
- 2) измерительные генераторы, предназначенные для генерирования испытательных сигналов с известными характеристиками.

К первому виду приборов относятся: электронный осциллограф, вольтметры, амперметры, ваттметры, частотомеры. Ко второму - генераторы электрических сигналов различных форм (синусоидальных, пилообразных, треугольных, импульсных и шумовых и т.д.), калибровочные источники напряжения и тока. Существуют также комбинированные приборы, содержащие элементы и первого, и второго видов.

Электронный осциллограф – один из наиболее универсальных измерительных приборов, предназначенный для наблюдения, сохранения электрических сигналов и измерения их характеристик. Внешний вид осциллографа АСК-2034 представлен на рис.1.

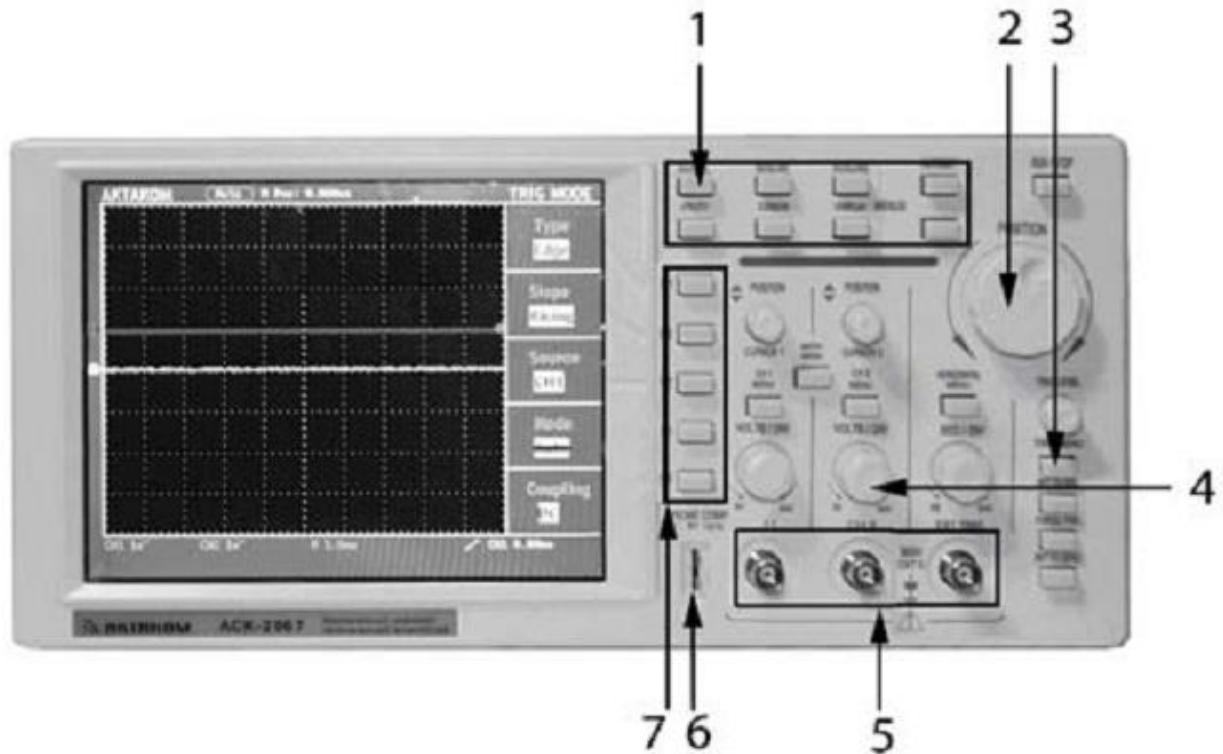


Рис.1

- 1) Кнопки меню функций
- 2) Управление горизонтальной системой
- 3) Управление системой запуска
- 4) Управление вертикальной системой
- 5) Входные разъёмы
- 6) Разъём для компенсации пробника
- 7) Функциональные кнопки меню F1-F5

Осциллограф позволяет наблюдать сигнал в любом из каналов, их сумму или оба канала сразу. Для наблюдения сигналов в обоих каналах предназначены два режима: коммутационный режим и режим поочередной развертки. Первый используется при одновременном наблюдении двух низкочастотных сигналов, а второй – при наблюдении высокочастотных сигналов. Сигнал горизонтальной развертки создается внутренним генератором пилообразного напряжения, обеспечивающим отклонение, пропорциональное времени. Как и для усилителей вертикального отклонения, здесь предусмотрены калиброванный переключатель “время/деление” и концентрическая с ним ручка переменного усиления. Для измерения временных интервалов эта ручка должна быть выведена в крайнее правое положение до щелчка. Усилитель может иметь выведенный отдельно вход, который может быть использован для внешнего задания горизонтального отклонения. (Например, может быть использован для получения фигур Лиссажу). Сигнальные входы вертикального отклонения и горизонтальной развертки необходимы для построения графика зависимости напряжения от времени.

В ждущем режиме развертка начинается только в том случае, когда выбранный сигнал проходит через установленную точку запуска и изменяется в выбранном направлении. На практике, регулируя уровень, добиваются стабильного изображения.

В режиме внутреннего запуска в отсутствии сигнала развертка начинает “бегать”. Этот режим хорошо использовать в тех случаях, когда сигнал может уменьшаться до малых значений, так как изображение не будет пропадать и не будет возникать впечатление, что сигнал исчез.

Однократная развертка используется для непериодических сигналов.

Источники синхронизирующих сигналов выбирается переключателями: “Внутр.”, “Сеть”, “Внеш.”. В положении “Внутр.” Запускающий сигнал поступает на вход схемы синхронизации из усилителя вертикального отклонения. Этот режим был рассмотрен выше.

В режиме “Сеть” развертка запускается от сети переменного тока. Этот режим используется в тех случаях, когда интерес представляют фон или пульсации в схеме. Режим “Внеш.” схемы запуска используют в тех случаях, когда наряду с некоторыми интересующим “грязным” сигналом имеется чистый сигнал, имеющий такую же скорость изменения. К такому режиму часто прибегают в тех случаях, когда на схему подается некоторый испытательный входной сигнал или в цифровых схемах, работа которых синхронизируется тактовыми импульсами.

Входная емкость осциллографа по отношению к испытываемой схеме может быть слишком велика, особенно если учесть экранированный соединительный кабель. Полное входное сопротивление (параллельное соединение сопротивление 1 Мом и емкости $C = 100 \text{ пФ}$) часто оказывается слишком низким для чувствительных схем и нагружает их, образуя делитель напряжения. Иногда эта емкость вызывает неправильную работу схемы и даже приводит к возникновению автоколебаний. Для того

чтобы решить эту проблему, обычно используют высокоимпедансные шупы. Работу широко распространенного 10- кратного шупа иллюстрирует рис.2.

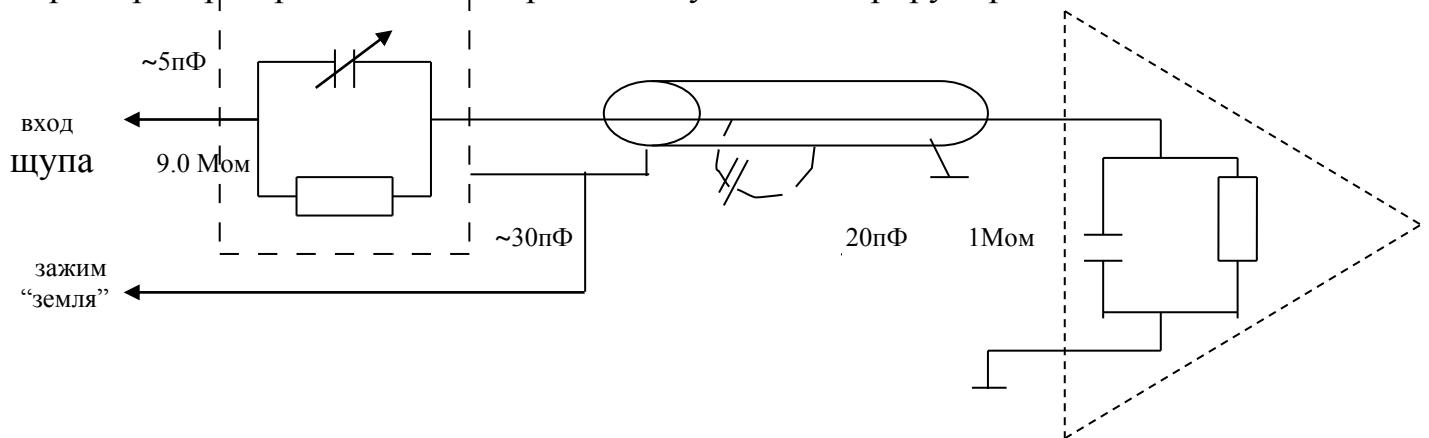


Рис.2

Как и в большинстве измерительных приборов, сигнал на входе осциллографа оценивается относительно земли прибора, которая обычно связана с корпусом. Это означает, что невозможно измерять напряжение между двумя точками в схеме, а вынуждены измерять сигналы относительно этой земли. При измерении слабых и высокочастотных сигналов необходимо убедиться, что земля осциллографа и земля схемы одинаковы.

Лучше всего для этого соединить землю щупа непосредственно с землей схемы, а затем измерить щупом напряжение земли и убедиться, что сигнал отсутствует.

Как правило, осциллограф имеет генератор калибровочного сигнала известной частоты и амплитуды, выходной сигнал которого используется для калибровки осциллографа. Это делается путем подачи сигнала с генератора на один из входов осциллографа.

Функциональные генераторы



Рис. 3.

Генераторы этой группы генерируют синусоидальные (иногда треугольные, пилообразные и меандровые) периодические напряжения с частотой от сотых долей Гц до 200 Кгц. Они применяются при настройке и испытании низкочастотных радиоэлектронных устройств.

Перестройка частоты задающего генератора осуществляется с помощью ступенчатого переключателя диапазонов и плавного регулятора, изменяющего частоту в пре-

делах каждого диапазона. Для выбора формы сигнала используется специальный переключатель.

Выбранный сигнал с задающего генератора поступает на усилитель с плавной регулировкой коэффициента усиления, а затем через усилитель мощности на аттенюатор.

Напряжение на входе аттенюатора контролируется электронным вольтметром. Входное и выходное сопротивление аттенюатора не зависит от степени ослабления. Последнее особенно важно, так как постоянное во всем диапазоне частот и амплитуд, выходное сопротивление генератора упрощает расчеты и сопротивление результатов измерений.

Измерительные генераторы высокой частоты

Генераторы этой группы генерируют синусоидальные колебания с частотами от 200 КГц до десятков МГц (50 МГц).

Кроме чистого гармонического напряжения высокой частоты, также генераторы являются источниками колебаний, модулированных по амплитуде, а иногда и по частоте (рис.4).

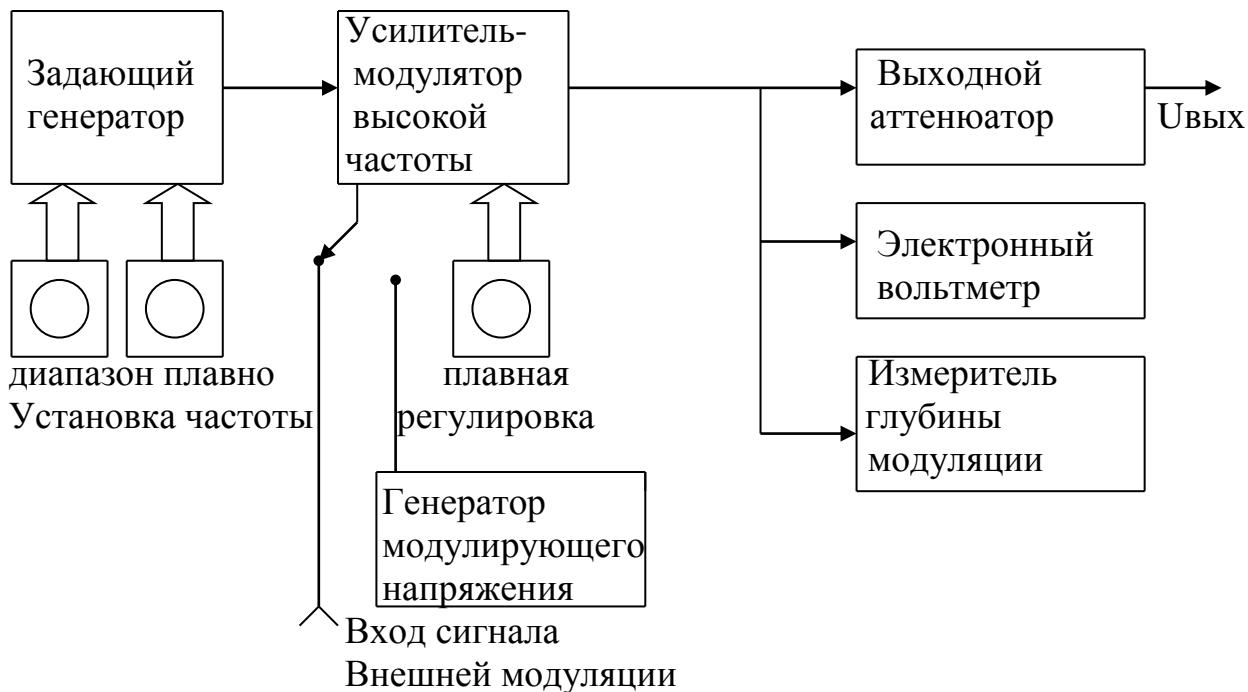


Рис. 4

Частота задающего генератора перестраивается переключением контурных катушек индуктивности (диапазоны) и плавным изменением емкости конденсатора контура (плавное изменение частоты в пределах каждого диапазона).

Усилитель-модулятор представляет собой перестраиваемый по частоте одновременно с задающим генератором резонансный усилитель. Коэффициент усиления этого усилителя может изменяться сигналом собственного генератора, модулирующего напряжения звуковой частоты, или напряжением, подаваемым на вход внешней модуляции. В первом случае осуществляется внутренняя, а во втором- внешняя ампли-

тудная модуляция. Если модулирующее напряжение на усилитель- модулятор не поступает, высокочастотные колебания на его выходе остаются немодулированными.

Измерение напряжения сигнала и глубины модуляции осуществляется на выходе усилителя, к которому подключен выходной аттенюатор. Коэффициент деления аттенюатора определяет уровень сигналов на выходе генератора. Обычно он регулируется в пределах от 1В до долей микровольта.

Перечень используемого оборудования

- 1) Осциллограф ADS-2111MV
- 2) Осциллограф ACK-2034
- 3) Источник питания APS-7315
- 4) Источник питания APS-5333
- 5) Источник питания APS-3320
- 6) Генератор функциональный ADG-1005
- 7) Генератор функциональный АНР-1105
- 8) Мультиметр АМ-1152

Задания и методические рекомендации.

1. Руководствуясь прилагаемыми к приборам техническими описаниями и инструкциями, приведите все находящиеся на рабочем месте приборы в рабочее состояние.

2. С помощью осциллографа определите:

- а) частоту сигналов на выходе генератора,
- б) амплитуду сигналов на выходе генератора,
- в) параметры импульсов с генератора импульсов.

3. Используя осциллограф в режиме внешней синхронизации развертки, определите сдвиг фаз между двумя периодическими сигналами.

4. Генератор высокой частоты поставьте в режим внутренней амплитудной модуляции. Рассмотрите огибающую и несущую этого сигнала на экране осциллографа и оцените их частоты и амплитуды.

Оформление результатов.

Кратко записать последовательность действий при работе с измерительными приборами. Записать результаты измерений.

Контрольные вопросы.

1. Чем обеспечивается неподвижность изображения на экране осциллографа?
2. Как осуществляется калибровка осциллографа?
3. В чем состоят основные различия режимов внутренней и внешней синхронизации развертки осциллографа?

Библиографический список.

1. Осциллограф ADS-2111MV. Инструкция по эксплуатации.
2. Осциллограф ACK-2034. Инструкция по эксплуатации.
3. Источник питания APS-7315. Инструкция по эксплуатации.
4. Источник питания APS-5333. Инструкция по эксплуатации.
5. Источник питания APS-3320. Инструкция по эксплуатации.

6. Генератор функциональный ADG-1005. Инструкция по эксплуатации.
7. Генератор функциональный АНР-1105. Инструкция по эксплуатации.
8. Мультиметр АМ-1152. Инструкция по эксплуатации.

Лабораторная работа №2

Изучение программы моделирования электронных схем Electronics Workbench.

Цель работы: получить начальные навыки работы в программе компьютерного моделирования электронных схем Electronics Workbench.

Сведения из теории.

Программа EWB создана в 1989 г. канадской фирмой Interactive Image Technologies для схемотехнического моделирования аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств различного назначения. Существует несколько программ подобного рода (System View, Wicro-Cap, DesignLab, Aplac и др.), однако EWB отличается тем, что она позволяет использовать КИП, по внешнему виду, органам управления и характеристикам максимально приближенные к их промышленным аналогам. Схема составляется из библиотек компонентов или путем изменения уже готовых схем. Выделение элемента – щелчок левой кнопки мыши. Удаление – клавиша **Del** или соответствующая команда контекстного меню. При составлении схемы и ее упрощения путем оформления подсхем моделирование ее работы начинается щелчком выключателя.

Используемые тип файлов - .ewb. Эти файлы обычно находятся в каталоге **Samples**. Например, файл Rs-ff.ewb содержит схему RS-триггера на логических элементах ИЛИ-НЕ.

Структура окна.

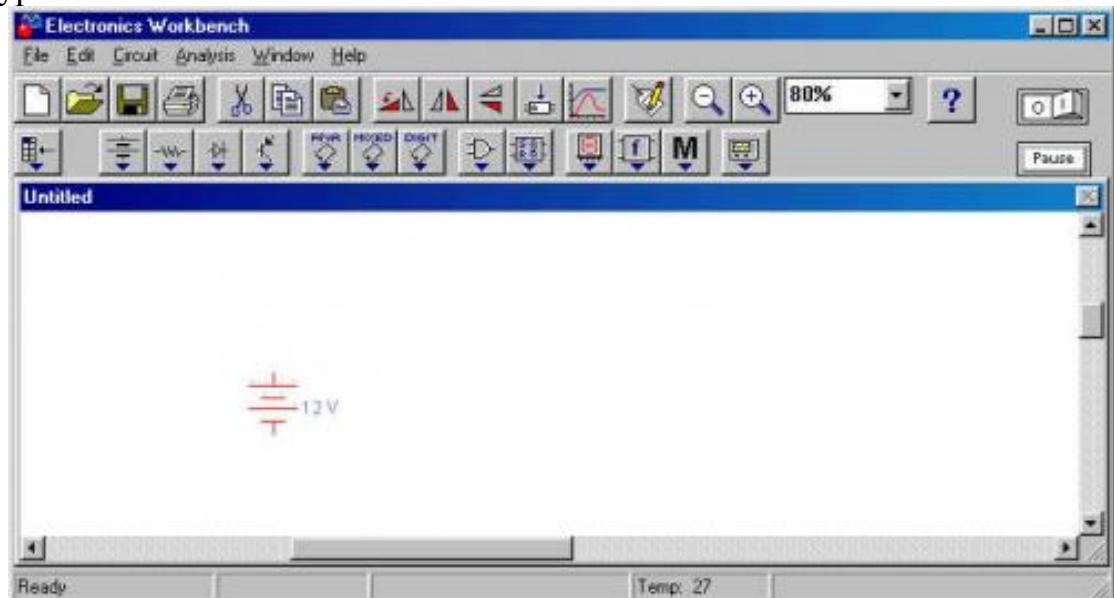


Рис.1. Основные элементы интерфейса программы EWB 5.0

Основную, центральную часть окна приложения занимает рабочая область, в которой собирается и тестируется электронная схема. Над рабочей областью расположена панель кнопок. С помощью кнопок, имеющихся на этой панели, можно изменять содержимое окна набора компонентов. Изображения на кнопках показывают, какие типы компонентов появятся в наборе при нажатии соответствующей кнопки. Справа в этом же ряду расположен переключатель, позволяющий включать и выключать собранную схему. Переключение осуществляется с помощью щелчка мышью на переключателе. Над иконками приборов расположено меню.

Главное меню программы включает в себя:

File

Revert to Saved... - стирание всех изменений, внесенных в текущем сеансе редактирования и восстановление схемы в первоначальном виде;

Edit

Copy as Bitmap – выделение, указанная область помещается в буфер обмена;

Circuit – для подготовки схем и задания параметров моделирования;

Analysis – задание параметров моделирования

Window:

Arrange – исправление искажения изображений компонентов, соединительных проводников и перезапись экрана, *Circuit* – вывод схемы на передний план, *Description* – вывод на передний план описания схемы или окна-ярлыка;

Help - стандартный для Windows. После нажатия на элемент схемы на клавишу F1 – открывается окно **Справки** с описанием данного элемента.

Таблица 1. Меню пиктограмм

Пиктограмма	Название	Описание
	Favorites	Избранное
	Sources	Источники сигналов
	Basic	Пассивные компоненты и коммутационные устройства
	Diodes	Диоды
	Transistors	Транзисторы
	Analog ICs	Аналоговые микросхемы
	Mixed ICs	Микросхемы смешанного типа
	Digital ICs	Цифровые микросхемы
	Logic Gates	Логические цифровые микросхемы
	Digital	Цифровые микросхемы
	Indicators	Индикаторные устройства
	Controls	Аналоговые вычислительные устройства
	Miscellaneous	Компоненты смешанного типа
	Instruments	Контрольно-измерительные приборы

В Electronics Workbench сборка схемы осуществляется в рабочей области. Электронные компоненты для сборки схемы берутся из меню, содержащего набор компонентов. Содержимое набора компонентов можно изменить нажатием соответствующих кнопок, расположенных непосредственно над окнами. Чтобы переместить требуемый компонент в рабочую область, нужно поместить на него курсор и нажать левую клавишу мыши. Затем, удерживая клавишу в нажатом состоянии, "перетащить" элемент, двигая мышь, в требуемое положение в рабочей области и отпустить клавишу.

Чтобы осуществить какие-либо операции над элементом его необходимо выделить. Выделение элемента осуществляется щелчком мыши на элементе, при этом он окрашивается в красный цвет.

Если необходимо повернуть элемент, нужно сначала его выделить, а затем использовать комбинацию клавиш [Ctrl+R], нажатие которых приводит к повороту элемента на 90°.

Для удаления элемента его также необходимо сначала выделить, а затем нажать клавишу [Del] и в ответ на запрос о подтверждении удаления нажать кнопку подтверждения или отмены удаления.

Все электронные компоненты характеризуются своими параметрами, определяющими их поведение в схеме. Чтобы задать эти параметры нужно дважды щелкнуть мышью на нужном элементе, в результате чего появится диалоговое окно, в котором необходимо выбрать или записать требуемые параметры и закрыть его нажатием кнопки "Ok".

Чтобы соединить между собой выводы элементов подведите курсор к нужному выводу, при этом, если к этому выводу действительно можно подсоединить проводник, на нем появится маленький черный кружок. При появлении кружка нажмите левую клавишу мыши и, не отпуская ее, протащите курсор к другому выводу. Когда на другом выводе тоже появится черный кружок, отпустите клавишу, и эти выводы автоматически будут соединены проводником. Если вывод элемента нужно подсоединить к уже имеющемуся проводнику, то подведите курсор мыши при нажатой клавише к этому проводнику, при этом также в том месте, где можно сделать подсоединение появится маленькая окружность. В этот момент отпустите клавишу, и в схеме автоматически образуется проводящее соединение между проводниками, обозначенное черным кружком.

1. Источник постоянного напряжения.

Находится в наборе Источники сигналов.

Этот элемент представляет собой модель идеального источника напряжения, поддерживающего на своих выводах постоянное напряжение заданной величины. Величина напряжения может задаваться разработчиком двойным щелчком мыши на элементе и записью в диалоговом окне требуемого значения.

2. Лампочка накаливания.

Находится в наборе Индикаторные устройства.

Этот элемент моделирует обычную лампу накаливания и может находиться в трех состояниях: выключенном, включенном и перегоревшем. Поведение элемента характеризуется двумя параметрами: мощностью и максимально допустимым напряжением. Ввести нужные параметры можно двойным щелчком мыши на элементе. После этого появляется диалоговое окно. Введите требуемые параметры и закройте диалоговое окно щелчком на кнопке "Ok".

При работе схемы элемент будет находиться в выключенном состоянии, если приложенное к нему напряжение не превышает половины максимального напряжения. Если приложенное напряжение находится в интервале от половины максимального напряжения до уровня максимального напряжения, элемент находится во включенном состоянии. При превышении приложенным напряжением заданного максимального напряжения элемент переходит вперегоревшее состояние.

3. Заземление.

Находится в наборе Источники сигналов.

В схеме, собранной с помощью Electronics Workbench, как и практически для любой реальной схемы, требуется указать точку нулевого потенциала, относительно которой определяются напряжения во всех других точках схемы. Именно для этой цели служит элемент заземление. Его единственный вывод подключается к той точке схемы, потенциал которой принимается равным нулю. Допускается и даже целесообразно, особенно для сложных схем, использовать несколько элементов заземления. При этом считается, что все точки, к которым подсоединенны заземления, имеют один общий потенциал, равный нулю.

4. Точка - соединитель.

Находится в наборе Источники сигналов.

Основным свойством точки-соединителя является то, что вы можете подсоединять к ней проводники. Подсоединять проводники к точке можно слева, справа, сверху и снизу, то есть существует всего четыре места подсоединения проводников к одной точке и, следовательно, в одной точке могут соединяться не более четырех проводников. Для реализации такого подсоединения нужно подвести проводник при нажатой клавише мыши к соответствующей стороне точки, при этом около точки появляется маленький черный кружок. Отпуская в этот момент левую клавишу мыши, получаем требуемое подсоединение.

5. Переключатель.

Находится в наборе Пассивные компоненты и коммутационные устройства .

Этот переключатель допускает два возможных положения, в которых один общий вход соединяется с одним из двух возможных выходов. По умолчанию переключение осуществляется клавишей [Space]. Чтобы назначить какому-либо переключателю другую клавишу, нужно дважды щелкнуть мышью на этом переключателе, ввести требуемый символ в появившемся диалоговом окне и нажатием кнопки "Ok" подтвердить сделанный выбор. После этого переключение данного переключателя будет осуществляться с помощью выбранной клавиши.

6. Динамик.

Находится в наборе Индикаторные устройства.

Этот элемент издает гудок заданной частоты, если приложенное к его выводам напряжение превышает установленный уровень напряжения. Значения порогового напряжения и частоты издаваемого сигнала можно задать в диалоговом окне, появляющемся при двойном щелчке мыши на элементе.

7. Вольтметр.

Находится в наборе Индикаторные устройства.

Этот элемент показывает напряжение, приложенное к его выводам. Одна из сторон этого элемента выделена утолщенной линией. Если напряжение, приложенное к выводам таково, что потенциал на выводе, находящемся с не выделенной стороны, больше потенциала на выводе, находящемся с выделенной стороны, то знак напряже-

ния, показываемого вольтметром, будет положительным. В противном случае знак индицируемого напряжения будет отрицательным.

8. Амперметр.

Находится в наборе Индикаторные устройства.

Этот элемент показывает величину тока, протекающего через его выводы. Одна из сторон этого элемента выделена утолщенной линией. Если направление тока, протекающего через выводы элемента, совпадает с направлением от не выделенной стороны к выделенной стороне, то знак величины индицируемого тока будет положительным. В противном случае знак будет отрицательным.

9. Резистор.

Находится в наборе Источники сигналов.

Этот элемент представляет собой один из наиболее широко используемых компонентов электронных схем. Величина сопротивления резистора задается разработчиком в диалоговом окне, появляющемся при двойном щелчке мыши на элементе.

Простейшая электрическая цепь состоит из источника и приемника электрической энергии. В качестве простейшего источника электрической энергии может служить источник постоянного напряжения, например, батарейка. Приемником электрической энергии обычно служит устройство, преобразующее энергию электрического тока в другой вид энергии, например, в световую энергию в электрической лампочке, или в энергию акустических волн в динамике.

Чтобы обеспечить протекание тока через приемник, необходимо образовать замкнутый контур, по которому течет ток. Для этого необходимо один вывод приемника электрической энергии подсоединить к отрицательному выводу батарейки, а другой к положительному выводу. Простейший способ управления прохождением тока по цепи заключается в замыкании и размыкании контура цепи с помощью переключателя. Размыкание контура цепи приводит к разрыву цепи, вследствие чего ток становится равным нулю. Замыкание цепи обеспечивает путь для прохождения по цепи тока, величина которого определяется приложенным напряжением и сопротивлением цепи согласно закону Ома.

Перечень используемого оборудования

- 1) Персональный компьютер
- 2) Интерактивная доска

Задания и методические рекомендации.

1. Запустите программу EBW и изучите её интерфейс.
2. Соберите в программе EBW схему простейшего RC-фильтра.
3. Запустите моделирование собранной схемы.
4. С помощью виртуальных приборов подавайте различные сигналы на вход фильтра и фиксируйте выходные сигналы.
5. Сохраните результаты моделирования.

Оформление результатов.

Кратко записать последовательность действий при работе с программой. Отчет должен содержать рисунки схем, собранных в программе и результаты моделирования их работы.

Контрольные вопросы.

1. Модели каких типов электронные компоненты есть в программе Electronics Workbench?

2. Какие виртуальные измерительные приборы можно использовать в Electronics Workbench?

Лабораторная работа №3 Полупроводниковые диоды

Цель и задачи работы

Целью данной лабораторной работы является изучение осциллографического метода получения статических характеристик полупроводниковых диодов, а также изучение работы диодов в различных электронных схемах.

Теоретические положения

Диод представляет собой пассивный нелинейный элемент с двумя выводами. Качество вольт – амперной характеристики (ВАХ) диода может быть представлена в виде показанном на рис.1.

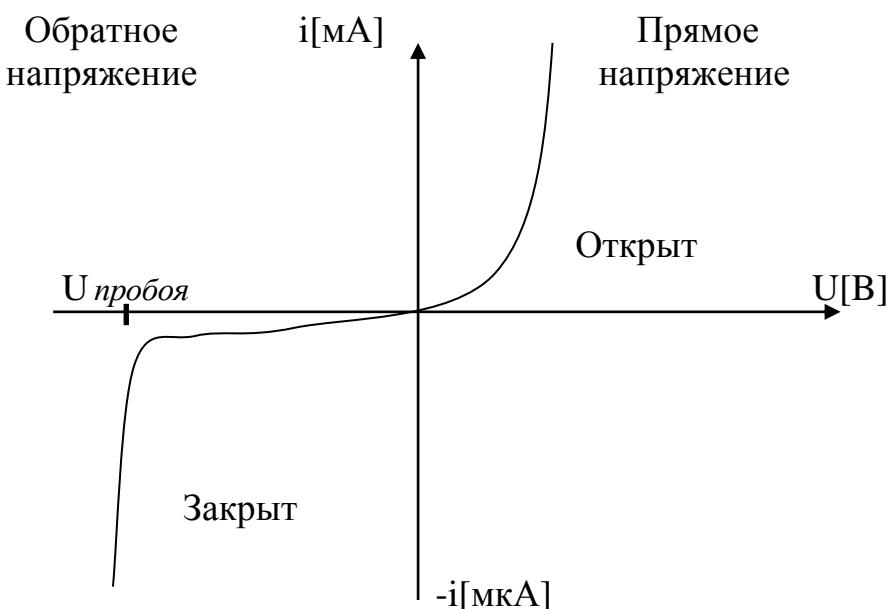


Рис.1

На условном обозначении направление стрелки диода (так обозначается анод элемента) совпадает с направлением тока. (рис.2).

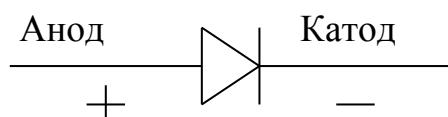


Рис.2

Обратный ток для диодов общего применения измеряется вnanoамперах (обратите внимание на разный масштаб измерений по оси абсцисс для прямого и обратного тока) и его, как правило, можно не принимать во внимание до тех пор, пока напряжение на диоде не достигнет значения напряжения пробоя.

В нормальном состоянии на диод падает такое напряжение, которое не может вызвать пробой. Исключение составляют опорные диоды (стабилитроны), для которых режим пробоя является нормальным режимом работы. Чаще всего падение напряжения на диоде, обусловленное прямым током через него, составляет от 0,2 до 0,7 В.

В ряде случаев таким падением напряжения можно пренебречь, и тогда диод можно рассматривать как проводник, пропускающий ток только в одном направлении. К другим важнейшим характеристикам, отличающим существующие типы диодов друг

от друга, относятся: максимальный прямой ток, емкость, ток утечки и время восстановления обратного сопротивления. В табл.1 приведены характеристики некоторых типов диодов, которые используются в данной лабораторной работе.

В табл.1 приводятся следующие основные параметры диодов: постоянный обратный ток $i_{прям}$ - ток через диод в проводящем направлении;

постоянное прямое напряжение $U_{прям}$ - напряжение на диоде при протекании через него определенной величины постоянного тока;

постоянный обратный ток $i_{обр}$ - ток, протекающий через диод при подаче на него постоянного обратного напряжения определенной величины;

пиковое значение выпрямленного тока $i_{пп}$ - предельное значение выпрямленного тока;

время восстановления обратного сопротивления – интервал времени от момента, когда ток через диод равен нулю до момента уменьшения обратного тока до заданного уровня;

емкость диода – емкость между выводами диода при заданном напряжении смещения.

С практической точки зрения следует отметить два важных момента:

1. Схему, содержащую диоды, нельзя изменить эквивалентной.

2. Диод не обладает сопротивлением в обычном смысле, т.е. не подчиняется закону Ома.

Таблица 1

Тип	Уобр. Max [В]	iобр. Max [мкА]	Среднее зна- чение за не- ограничен- ный интервал времени	Пиковые значения			<i>Время</i> восста- новле- ния обр. сопр., нс	<i>Ем - кость</i> пФ	<i>Час- тота</i> кГц	<i>Класс</i>
				Up r [В]	iпрям [mA]	Iпп [A]				
Д2Ж	150	250	1	8	7	150	0,025	3000	0,2	-
Д9В	30	250	1	20		30	0,062	3000	1	-
Д229А		50	1	400		200	10			1
В 2Д202 Д	70 140	1000	1	5000		100 200	30			1,2
Д246А	400	3000	1	10000		400	30			1,1
2Д106А	100	10	1	300		100	3	450	5-153	30
Д18	20	50	1	16	5		0,05	100	0,5	-
Д310	20	20	0,5	500	2,4		0,8	300	10	-
Д311	30	100	0,4	80	1	30	0,6	50	1,5	-
ГД507А	20	50	0,5	16	3,5		0,2	100	0,8	-
1Д508	8	60	0,4	10	1,5	10	0,03		0,75	-
КД510А	50	5	1,1	200		50	1,5	4	4	-
А КД503 Б	30	4	1 1,2	20	2,5 3,5	30	0,2	10	5 2,5	-

Особое место среди диодов занимают стабилитроны, или опорные диоды, предназначенные для стабилизации уровня напряжения при изменении величины протекающего через диод тока. В опорных диодах рабочим является пробивной участок вольт – амперной характеристики в области обратных напряжений. На этом участке напряжение на диоде остается практически постоянным при значительном изменении тока, протекающего через диод.

В табл.2 приведены характеристики некоторых типов стабилитронов, которые используются в данной лабораторной работе. В табл.2 приняты следующие значения:

напряжение стабилизации $U_{ст}$ – напряжение в рабочей области, где большему изменению тока через диод соответствует малое изменение напряжения на нем;

максимальный ток стабилизации $i_{ст.max}$ – ток ограниченный максимально допустимой рассеиваемой мощностью;

минимальный ток стабилизации $i_{ст.min}$ – ток, ниже которого пробой становится неустойчивым;

дифференциальное сопротивление $R_{диф}$ – отношение приращения падения напряжения на стабилитроне к вызывающему его малому приращению тока;

температурный коэффициент напряжения (ТКН), %/град., определяется как отношение относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды.

Условное обозначение диодов.

В основу системы обозначений диодов положен буквенно-цифровой код, первый элемент которого обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор:

Г или 1 – германий или его соединения;

К или 2 – кремний или его соединения;

Второй элемент обозначения – буква, определяет подкласс приборов:

Д – диоды выпрямительные, импульсные,

Ц – выпрямительные столбы,

В – варикапы,

И – тунNELьные диоды,

С – стабилитроны.

Третий элемент – цифра, определяет один из основных характеризующих прибор признаков (параметр, назначение или принцип действия),

Например, для подкласса Д:

1 – выпрямительные диоды с постоянным или средним значением прямого тока $< 0,3$ А.

2 – выпрямительные диоды с постоянным прямым током от 0,3 до 10 А.

4 – импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления более 500 нс.

5 – импульсные диоды с временем восстановления < 500 нс.

Таблица 2

Тип	Напряже- ние стаби- лизации, В	max ток стабили- зации, Ма	Дифферен- циальное сопротив- ление, Ом	ТКН %/град.	Макси- мальная допусти- мая мощ- ность Вт	Диапазон рабочих температур °C	max прямой ток, А
Д 814Б	8 – 9,5	40	6	0,07	0,34	-60 ÷ +100	0,1
Д 814В	9 – 10,5	32	12	0,009	0,34	-60 ÷ +100	0,1
Д 814Г	10 – 12	29	15	0,095	0,34	-60 ÷	0,1
Д 815Г	10	800	2,7	0,1	8	-60 ÷ +100	1
Д 815Б	6,8	1150	1,2	0,062	8	-60 ÷ +100	1
Д 815Е	15	550	3,8	0,13	8	-60 ÷ +100	1
Д 816А	22	230	10	0,15	5	-60 ÷ +100	1
Д 816Б	27	180	12	0,15	5	-60 ÷ +100	1
Д 818В	9	33	25	±0,01	0,3	-55 ÷ +100	
Д 818Е	9	33	25	±0,001	0,3	-55 ÷ +100	
2С147А	4,7	58	56	от -0,09 до 0,01	0,3	-55 ÷ +100	-
2С133А	3,3	81	65	-0,11	0,3	-55 ÷ +100	-
2С156А	5,6	55	46	0,05	0,3	-55 ÷ +100	-
2С168А	6,8	45	28	0,06	0,3	-55 ÷ +100	-
2С210Б	9,3 – 10,7	14	22	+0,07	0,15	-55 ÷ +100	-

Для подкласса С:

1 – стабилитроны мощностью < 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации < 10 В.

2 – стабилитроны мощностью < 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В.

8 – стабилитроны мощностью от 5 до 10 Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В.

Четвертый элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа прибора.

Пятый элемент – буква, условно определяет классификацию по параметрам приборов, изготовленных по единой технологии.

Приведем пример обозначения некоторых приборов:
 КД510А -кремневый импульсный диод с временем восстановления обратного сопротивления 4нс, номер разработки 10, группа А.

2С147А –кремневый стабилитрон мощностью $\leq 0,3$ Вт, напряжение стабилизации 4,7 В, группа А.

Вольт – амперные характеристики диода можно строить по точкам, измеряя постоянные напряжения и токи в цепях соответствующих электродов исследуемого элемента. Однако такой метод весьма трудоемкий. Кроме того, длительное протекание тока через элемент может привести к изменению его параметров в процессе измерения. Особенно сильно это проявляется при больших, близких к предельно допустимым для данного элемента тока и напряжениях. Если же воспользоваться осциллографическим методом, описанным ниже, то указанные недостатки можно исключить.

Прибор, позволяющий наблюдать на экране осциллографа ВАХ диода, называется харктериографом. Блок схема харктериографа показана на рис.3.

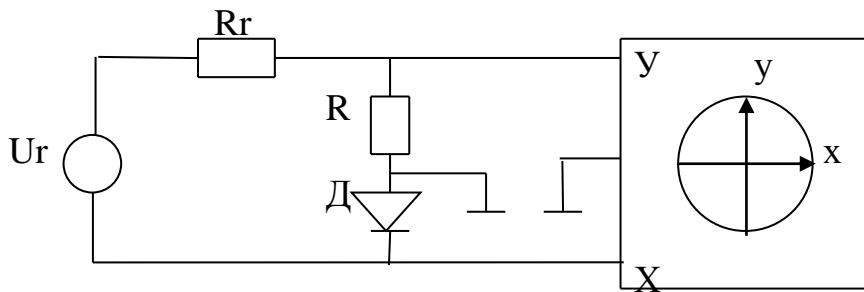


Рис.3. Схема харктериографа

К диоду Д через резистор R подводится переменное напряжение Ur от генератора с внутренним сопротивлением Rr. В качестве генератора может быть использован генератор синусоидального, пилообразного или треугольного напряжения.

Напряжение, снимаемое с диода Д, поступает на X – вход осциллографа, т.е. на горизонтальное отклонение луча осциллографа. Падение напряжения на резисторе R , пропорциональное току через диод Д, поступает на У – вход осциллографа, т.е. на вертикальное отклонение луча осциллографа. Таким образом, отклонение электронного луча по оси X оказывается пропорциональным падению напряжения на диоде, а по оси У – току через него. Поэтому траектория луча на экране осциллографа и есть ВАХ диода.

Искажения этой характеристики обусловлены двумя основными причинами: нелинейной зависимостью величины отклонения луча на экране от напряжения и не идеальностью (и не идентичностью) фазовых характеристик усилителей X и Y каналов. Первая неточность может быть уменьшена путем градуировки шкалы, или калибровки, вторая – путем выбора частоты колебаний генератора напряжений.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему харктериографа (рис.3).

Получите и зарисуйте ВАХ всех диодов, выданных преподавателем, привязав их к осям координат, пересекающимся в точке ($U=0, i=0$).

При использовании генератора его выход не должен быть привязан к “земле”.

2. Собрать схему однопериодного выпрямителя (рис.4).

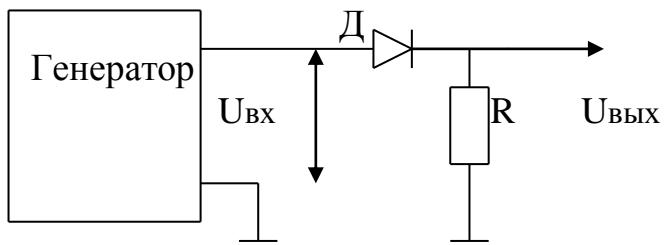


Рис.4.

- 2.1. Выбрать амплитуду сигнала на выходе генератора.
- 2.2. Рассчитать сопротивление резистора R .
- 2.3. С помощью осциллографа наблюдать работу выпрямителя на различных частотах.
- 2.4. Составить таблицу и нарисовать график изменения $U_{вых}/U_{вх}$ от частоты генератора.
3. собрать схему диодного ограничителя (рис.5).

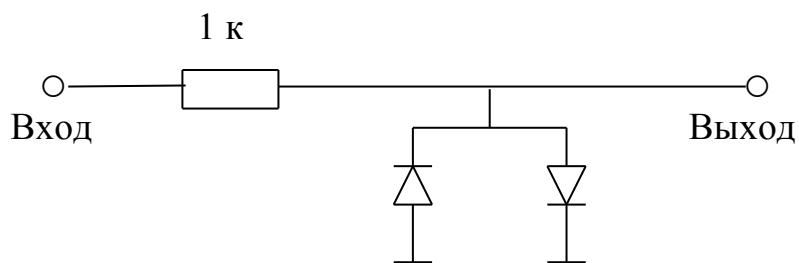


Рис.5.

- 3.1. Подать на вход синусоидальные колебания, треугольные и прямоугольные импульсы различной амплитуды.
Зарисовать форму выходных сигналов.
4. Построить диодный ограничитель по схеме рис.6.

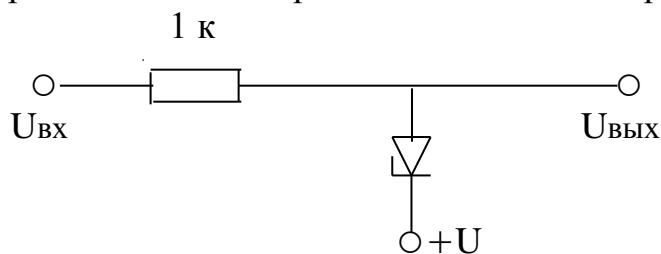


Рис.6

- 4.1. Подать на вход синусоидальный сигнал. Зарисовать форму выходного сигнала при различных амплитудах $U_{вх}$.
5. Собрать и исследовать схему, показанную на рис.7.

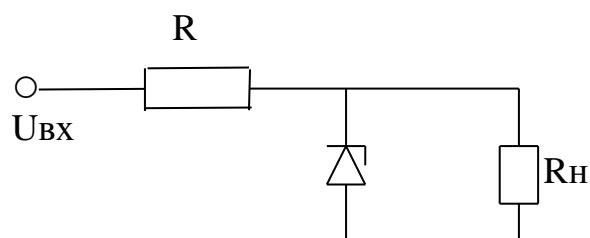


Рис.7.

- 5.1. Для заданного в работе стабилитрона рассчитать сопротивление резистора R .
- 5.2. Собрать схему и проверить ее работу при разных R_h .

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Осциллограф АСК-2034
- 2) Источник питания APS-7315
- 3) Генератор функциональный ADG-1005
- 4) Мультиметр АМ-1152
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальную схему, расчетные формулы, полученные результаты и выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему не идентичность фазовых характеристик горизонтального и вертикального каналов осциллографа искажает вольт – амперную характеристику на экране ЭЛТ?
2. Как влияет сопротивление R (рис.4) на выходной сигнал?
3. Объясните, как и почему работает схема (рис.5).

Библиографический список

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. – Минск: Изд – во БГУ, 1981. – 286 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ.: - М.: Мир, 1983. – Т.1. – 690 с.

Лабораторная работа №4

Биполярные транзисторы.

Цель и задачи работы: целью данной лабораторной работы является изучение осциллографического метода получения статических характеристик транзисторов, а также изучение практических методов построения схем на транзисторах.

Теоретические положения.

Транзистор - это один из основных активных компонентов. Он представляет собой устройство, которое может усиливать входной сигнал внешнего источника питания. Транзисторы n-p-n типа подчиняются следующим правилам (для транзистора p-n-p типа правила сохраняются, но следует учесть, что полярности напряжений должны быть изменены на противоположные):

Коллектор имеет более положительный потенциал, чем эмиттер.

Цепи база- эмиттер и база- коллектор работают как диоды

(рис.1)

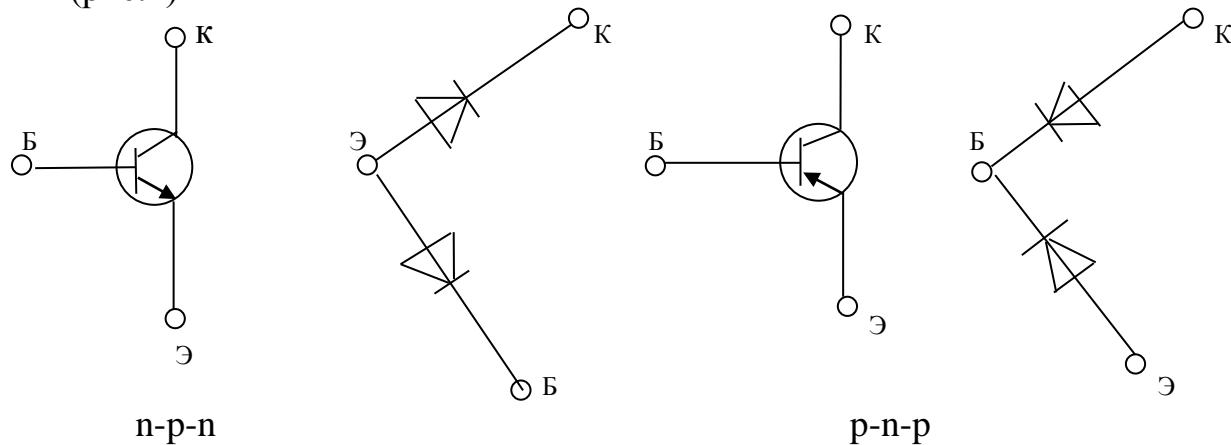


Рис.1

Обычно база- эмиттер открыт, а диод база- коллектор смещен в обратном направлении.

3. Каждый транзистор характеризуется максимальными значениями

$$I_K \max, \quad I_D \max \quad \text{и} \quad U_{KE} \max,$$

которые нельзя превышать. Следует помнить и о предельных значениях других параметров, например, рассеиваемой мощности $P_{R \max}$, температуре, U_{DE} и др.

4. Если правила 1 – 3 соблюdenы, то ток I_K прямо пропорционален току I_D и можно записать следующее выражение:

$$I_K = h_{21E} I_D = \beta I_D,$$

где h_{21E} - коэффициент усиления по току, обозначаемый также β .

Правило 4 определяет основное свойство транзистора: небольшой ток базы управляет большим током коллектора. Для различных транзисторов одного и того же типа β может изменяться в пять раз. Он зависит так же от тока коллектора, напряжения между коллектором и эмиттером и температуры. Схему можно считать плохой, если на ее характеристики влияет величина параметра β . Из правила 2 следует, что напряжение между базой и эмиттером нельзя увеличивать неограниченно, так как если потенциал базы будет превышать потенциал эмиттера более чем на 0,6 – 0,8В (прямое напряжение диода), то возникает очень большой ток. Следовательно, в рабо-

тающем транзисторе напряжение на базе и эмиттере связаны следующим соотношением:

$$U_\delta \approx U_\text{Э} + 0,6V \quad (U_\delta = U_\text{Э} + U_{\delta\text{Э}}).$$

Следует обратить внимание на то, что ток коллектора не связан с проводимостью диода. Дело в том, что обычно к диоду коллектор – база приложено обратное напряжение. Более того, ток коллектора очень мало зависит от напряжения на коллекторе (этот диод подобен небольшому источнику тока), в то время как прямой ток, а следовательно, и проводимость диска резко увеличиваются при увеличении приложенного напряжения.

Условные обозначения транзисторов

В основу системы обозначений транзисторов положен буквенно– цифровой код, первый элемент которого обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен транзистор:

Г или 1 – для германия;

К или 2 – для кремния.

Второй элемент обозначения – буква, определяющая подкласс транзистора:

Т – для биполярных транзисторов;

П – для полевых транзисторов.

Третий элемент – цифра, определяющая его основные функциональные возможности (допустимые значения рассеиваемой мощности и граничную либо максимальную рабочую частоту):

1 – транзисторы маломощные ($P_{\max} \leq 0,3$ Вт) низкочастотные
($f > 30$ МГц):

2 – транзисторы маломощные средней частоты ($3 < f \leq 30$ МГц);

3 – транзисторы маломощные высокочастотные и СВ4 ($f > 30$ МГц):

4 – транзисторы средней мощности ($0,3$ Вт $< P_{\max} \leq 1,5$ Вт) низкочастотные;

5 – транзисторы средней мощности, средней частоты;

6 – транзисторы средней мощности высокочастотные и СВ4;

7 – транзисторы большой мощности ($P_{\max} > 1,5$ Вт) низкочастотные;

8 – транзисторы большой мощности среднечастотные;

9 – транзисторы большой мощности высокочастотные и СВ4.

Четвертый элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа транзисторов. Для этого используются числа от 01 до 999.

Пятый элемент – буква, условно определяющая классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по единой технологии.

Примечание.

Обозначение типов транзисторов, разработанных в 1964 г., состоит из трех элементов: первый – буква П (полупроводниковый триод), второй – цифра, обозначающая порядковый номер разработки (табл.1), третий – буква, соответствующая разновидности транзистора данного типа.

Таблица 1

Частота, мГц	До 5		Более 5	
Мощность рассеяния, Вт	До 0,25	Более 0,25	до 0,25	Более 0,25
Германиевые	1 – 99	201 – 299	401 – 499	601 – 699
Кремниевые	101 – 199	301 - 399	501 – 599	701 - 799

Примеры обозначений:

ГТ101А – германиевый биполярный маломощный низкочастотный, номер разработки 1, группа А.

2Т399А – кремниевый биполярный маломощный СВ4, номер разработки 99, группа А.

2П904Б – кремниевый полевой мощный высокочастотный, номер разработки 4, группа, Б.

Основные параметры используемых в лабораторной работе транзисторов приведены в табл.2.

Для расчета усилителей на транзисторах весьма полезными являются входные и выходные вольт – амперные характеристики транзистора.

Эти характеристики можно строить по точкам, измеряя постоянные напряжения и токи в цепях соответствующих электродов исследуемого элемента.

На рис.2 представлена блок – схема установки для снятия выходных статических ВАХ транзистора.

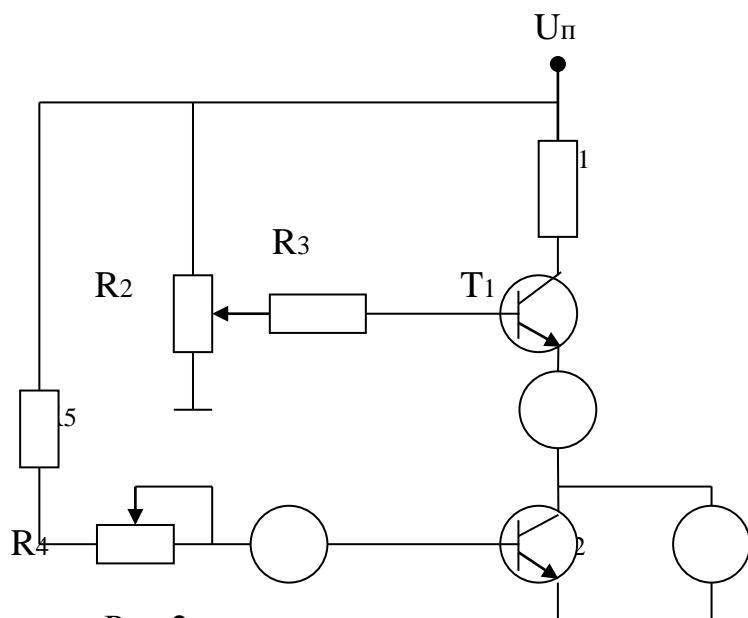


Рис.2

Задавая с помощью R_4 фиксированный ток базы T_2 , можно с помощью резистора R_2 , приборов mA_2 и V снять выходную ВАХ этого транзистора. Данный метод достаточно прост, но весьма трудоемок.

Другой, осциллографический метод позволяет получить на экране осциллографа сразу всю характеристику транзистора.

Прибор, позволяющий наблюдать на экране осциллографа выходные вольт – амперные характеристики транзистора, показан на рис.3.

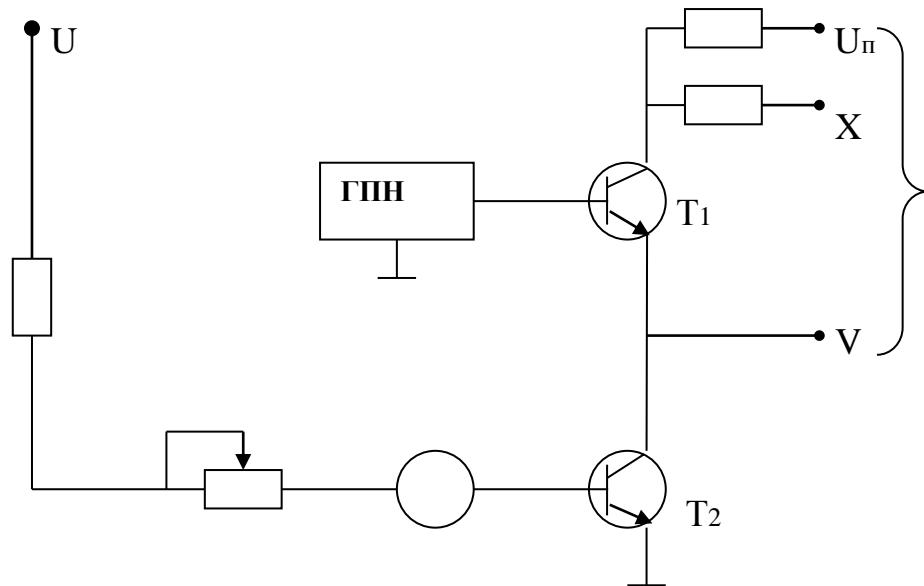


Рис.3

Как известно, характеристики транзисторов определяются тремя величинами (i_δ , i_k , $U_{\delta\varnothing}$). Если одну из величин, например i_δ , поддерживать постоянной, то при помощи харктериографа, представленного на рис.3, можно наблюдать выходные статические вольт – амперные характеристики транзистора.

По оси Х отклонение луча пропорционально напряжению на T_2 , т.е. $U_{k\varnothing}$,
По оси У – пропорционально току коллектора (i_k), так как напряжение источника питания строго постоянно и эквивалентно по переменному току нулевому уровню.
Таким образом, на экране осциллографа наблюдается вольт – амперная характеристика в координатах $U_{k\varnothing}$, i_k при $i_\delta=\text{const}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снимите одним из методов выходные характеристики транзистора.
- 1.1. Собрать схему для снятия характеристик (рис.2 или рис. 3).
- 1.2. Задавая фиксированные значения тока базы (i_δ) в пределах, которые необходимо определить из табл.2 для заданного транзистора, снять зависимость i_k от $U_{k\varnothing}$.
- 1.3. Выделить на построенной ВАХ рабочую область, обеспечивающую линейный режим работы транзистора, и определите параметры транзистора.
2. Используя построенную ВАХ транзистора, выбрать рабочую точку и рассчитать цепи смещения для схем, представленных на рис.4.

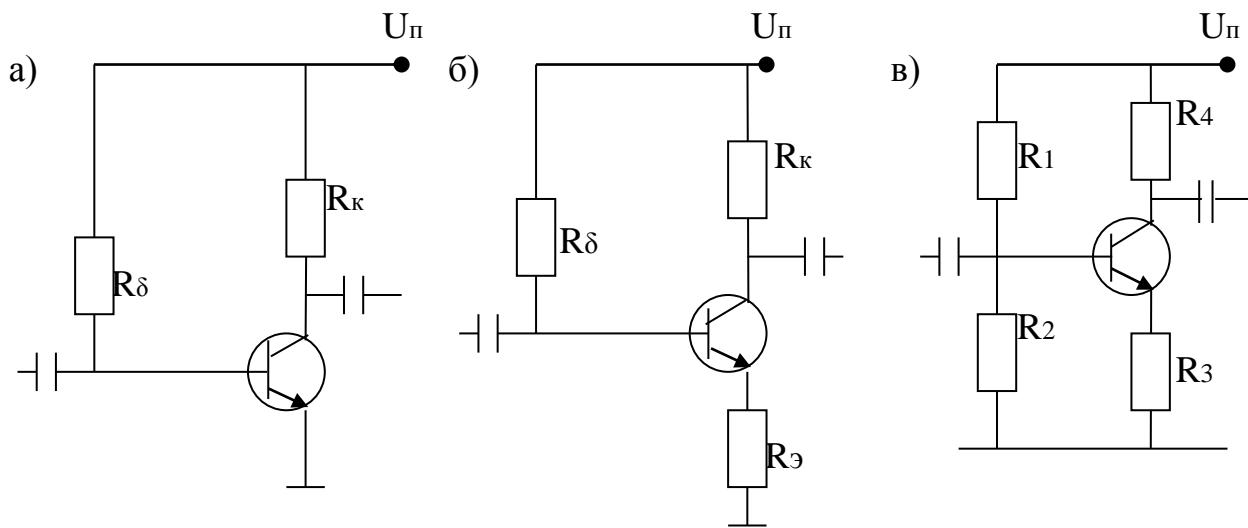


Рис.4

3. Провести анализ рассчитанных схем, построить и рассчитать эквивалентные схемы усилителей, определить K_u , K_i , $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вых}}$.

4. Собрать схемы усилителей.

4.1. Практически замерить $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вых}}$, K_u и K_i усилителя.

4.2. Снять частотную характеристику усилителей.

4.3. Провести сравнительный анализ результатов по схемам и сделать выводы.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Осциллограф АСК-2034
- 2) Источник питания APS-7315
- 3) Генератор функциональный ADG-1005
- 4) Мультиметр АМ-1152
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальные схемы, расчетные формулы, полученные результаты и выводы.

Контрольные вопросы

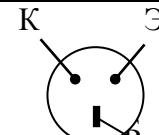
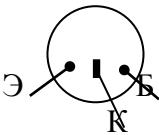
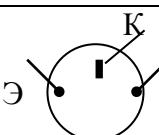
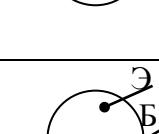
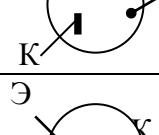
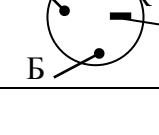
1. Как вы объясните наличие отрицательной полуволны переменного сигнала на выходе усилителя, если область усиления транзистора ограничена неравенством $U_{\text{кэ}} > U_{\text{кэ нас}}$?
2. Почему относительно малый ток базы биполярного транзистора может служить управляющей величиной? Почему условие $i_\delta=0$ требует, чтобы i_k и i_α также равнялись нулю?
3. За счет чего происходит дополнительное увеличение мощности сигнала в усилителе? Поясните ваш ответ на примере усилителя с общим эмиттером.

4. В какой из схем рассеивается меньшая мощность – в транзисторном усилителе, работающем в режиме усиления, или в транзисторном переключателе? Поясните ваш ответ.

Библиографический список

1. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. – Минск: Изд – во БГУ, 1981. – 286 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ.: - М.: Мир, 1983. – Т.1. – 590 с.

Таблица 2

Тип транзистора	Коэффициент передачи тока базы β	Емкость коллектора C_{dK} , пФ	Границная частота f_T , мГц	Напряжение насыщения коллектор-эммитер $U_{ce(sat)}$, В	Предельные параметры			Расположение выводов
					$U_{ce(max)}$	I_{cmax} мА	P_{cmax} мВт	
МП42Б	45 – 100	-	2	0,2	15	150	200	
МП41	30 – 60	60	1		15	40	130	
П416Б	90 – 250	8	80	1,7	12	25	120	
ГТ404Г	60 – 150	-	0,015		40	500	600	
П213Б	40	-	0,15	0,75	30	5000	-	
2T803A	10 – 70	-	7	1,75	60	10000	5000	

Лабораторная работа №5

Операционные усилители

Целью данной лабораторной работы являются ознакомление с операционными усилителями и изучение практических методов построения устройств на операционных усилителях.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Операционный усилитель (ОУ) – это универсальное усилительное устройство, первоначально предназначавшееся для выполнения линейных математических операций в аналоговых вычислительных машинах.

ОУ можно характеризовать многими различными способами. На рис. 1 представлены существующие типы СУ. Каждая ветвь этого рисунка представляет один из принципов классификации: технологию производства, схемную конфигурацию, тип сигнального входа, возможность программирования, выходную мощность и предполагаемое использование.

Если провести анализ существующих типов ОУ с учетом тенденции их развития, то можно сделать следующие выводы.

Наиболее распространенной технологией в настоящее время является монолитная, а дискретная применяется все реже.

Преобладающий тип ОУ - биполярные с гальванически связанными каскадами. Область применения усилителей с прерыванием и варикапно - мостового типа ограничена.

Частотная коррекция и токовое программирование позволяют изменять параметры ОУ (полосу единичного усиления, максимальную скорость нарастания, потребляемую в режиме покоя мощность) в соответствии с конкретным применением. Для усиления малых напряжений предназначен измерительный ОУ; электрометрический ОУ служит для усиления слабых токов и измерения сигналов от источников, имеющих высокое сопротивление. Широкополосный ОУ рассчитан на обработку быстро изменяющихся непрерывных сигналов, ОУ с быстрым установлением – на обработку быстро изменяющихся импульсных сигналов.

Рассмотрим основные параметры ОУ. Стандартный набор технических характеристик ОУ включает большое число параметров. Некоторыми из них следует руководствоваться при выборе типа ОУ, в наибольшей степени подходящего для конкретного применения, а другие предназначены для использования в качестве исходных данных при проектировании.

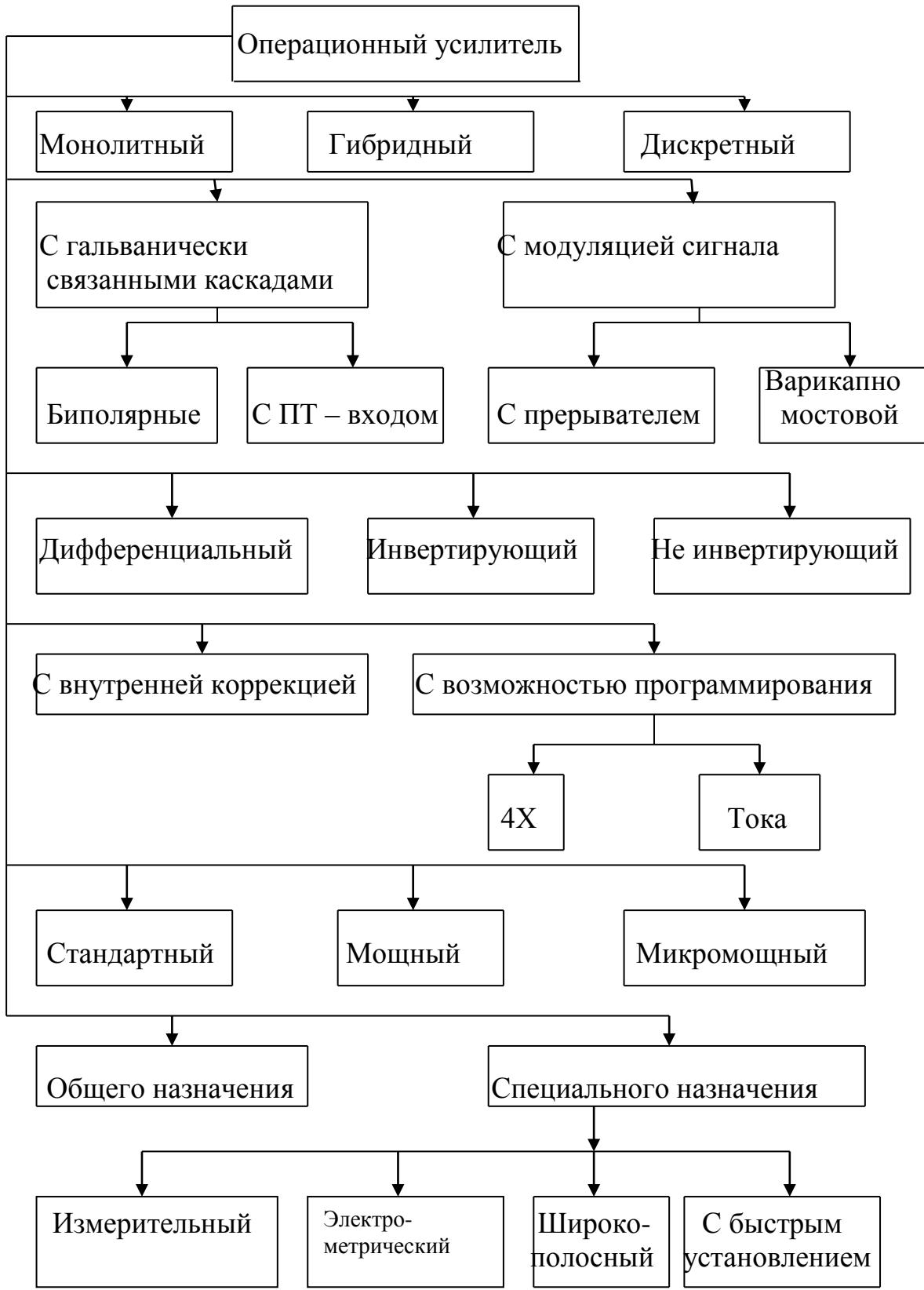


Рис.1. Типы ОУ

1. Входной ток покоя $I_{вх}$ равен среднеарифметическому значению двух токов покоя баз (или затворов) дифференциального входного каскада при отсутствии внешнего сигнала, т.е.

$$I_{\text{вх}} = (I_{\text{вх1}} + I_{\text{вх2}}) / 2.$$

Для ОУ токи покоя баз (или затворов) представляет собой входные токи, необходимые для обеспечения $U_{\text{вых}} = 0$ (рис.2).

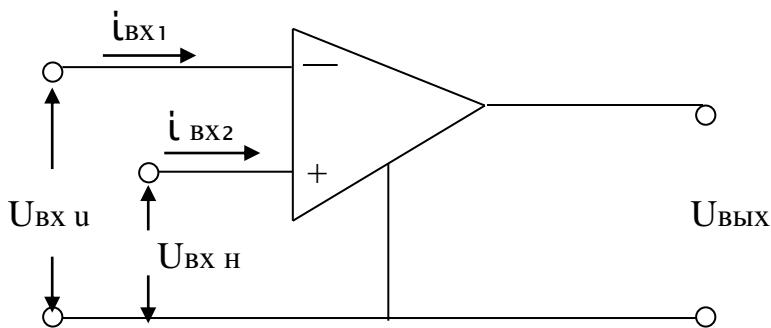


Рис.2.

2. Входной ток смещения $I_{\text{вх см}}$ определяется как разность двух входных токов, при которой выходное напряжение становится равным нулю, т.е.

$$I_{\text{вх см}} = (I_{\text{вх1}} - I_{\text{вх2}}) \mid U_{\text{вых}} = 0.$$

Поскольку ток смещения является разностью входных токов, то чем меньше входные токи покоя ОУ, тем меньше его ток смещения.

3. Входное напряжение смещения $U_{\text{вх см}}$ – это то напряжение, которое необходимо приложить между входными зажимами для установления нулевого напряжения на выходе, т.е.

$$U_{\text{вх см}} = (U_{\text{вх и}} - U_{\text{вх н}}) \mid U_{\text{вых}} = 0.$$

4. Дрейф входного тока смещения $I_{\text{вх см}}$ определяется как отношение изменения входного тока смещения к изменению окружающей температуры:

$$I_{\text{вх см}} = \Delta I_{\text{вх см}} / \Delta T.$$

5. Дрейф входного напряжения смещения $U_{\text{вх см}}$ определяется как отношение изменения входного напряжения смещения к изменению окружающей температуры:

$$U_{\text{вх см}}^g = \Delta U_{\text{вх см}} / \Delta T.$$

6. Коэффициент усиления по напряжению при разомкнутой обратной связи A определяется как отношение выходного напряжения к дифференциальной составляющей входного сигнала низкой частоты при отсутствии ОС и нагрузки на выходе:

$$A = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вхд}}}.$$

7. Входное сопротивление. Это дифференциальное сопротивление по переменному току:

$$R_{\text{вхд}} = \frac{U_{\text{вхд}}}{I_{\text{вхд}}}.$$

8. Выходное сопротивление

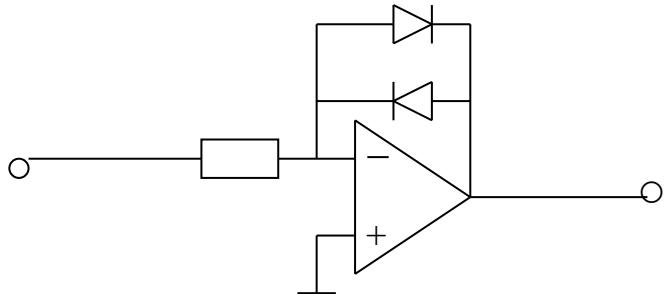


Рис.8. Ограничитель

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Осциллограф АСК-2034
- 2) Источник питания APS-7315
- 3) Источник питания APS-5333
- 4) Генератор функциональный АНР-1105
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

УКАЗАНИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать принципиальные схемы, расчетные формулы, полученные результаты и выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чему равна минимальная частота входного сигнала, которую пропускает инвертирующий и не инвертирующий усилители ?
2. Что можно сказать о способности повторителя повторять высокочастотный сигнал ?
3. Как избавиться от переходных искажений в схеме рис.8 ?
4. За счет чего расширяется динамический диапазон работы активного выпрямителя ?

Библиографический список

1. Ефимчик М. К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. Минск: Изд – во БГУ, 1981. – 286 с.
2. Хоровиц Н., Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. – Т.1 – 590 с.

Лабораторная работа №6

Цифровая системотехника. Комбинационная логика

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью данной лабораторной работы является изучение работы комбинационных схем, методов преобразования и упрощения цифровых схем при их реализации.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цифровая электроника оперирует электрическими эквивалентами цифр. При этом числа чаще всего представляются в двоичной системе, в которой существуют только два знака: единица и нуль, им соответствуют сигналы “логическая единица” и “логический нуль”.

Теоретической основой цифровой схемотехники является булева алгебра или алгебра логики.

Основное понятие булевой алгебры – переключательная (булева) функция. Ее аргументы и она сама могут принимать только два значения: 0 и 1. С помощью булевых функций можно описать действие целого класса схем цифровой электроники, а также функционирование сочетаний этих схем. Такого рода схемы называются комбинационными, так как сигналы на выходе (1 или 0) определяются комбинацией сигналов на их входах (1 или 0).

Простейшими булевыми функциями являются функции одной переменной. Их может быть только 4:

$$\begin{aligned} Y_0 &= f_0(X) = 0 & ; \\ Y_1 &= f_1(X) = 1 & ; \\ Y_2 &= f_2(X) = X & ; \\ Y_3 &= f_3(X) = \bar{X} & . \end{aligned}$$

Эти функции описывают работу одновходовых цифровых схем, а именно функции $f_0(X)$ и $f_1(X)$ описывают схемы, выходы которых постоянно присоединены к уровням логического нуля и логической единицы соответственно; функция $f_2(X)$ - схему, выход которой постоянно соединен с выходом. Функция $f_3(X)$ описывает инвертор, или схему отрицания (схема “НЕ”).

Если булева функция имеет две переменные, то в этом случае получается 16 видов функций. Запишем основные из них

$$\begin{aligned} Y_4 &= f_4(X_1, X_2) = X_1 \wedge X_2 & - \text{ конъюнкция} ; \\ Y_5 &= f_5(X_1, X_2) = \overline{X_1 \wedge X_2} & - \text{ отрицательные конъюнкции} ; \\ Y_6 &= f_6(X_1, X_2) = X_1 \vee X_2 & - \text{ дизъюнкция} ; \\ Y_7 &= f_7(X_1, X_2) = \overline{X_1 \vee X_2} & - \text{ отрицательные дизъюнкции} ; \end{aligned}$$

Теорема. Булева функция любого количества переменных может быть получена методом суперпозиции из функций двух переменных.

Метод суперпозиции состоит в подстановке на место переменных других булевых функций или пере нумерации переменных, т.е. в перестановке их местами.

Теорема позволяет ограничиться рассмотрением булевых функций только двух переменных и строить многовходовые комбинации схемы только из двухвходовых схем.

В булевой алгебре установлено, что любая булева функция двух переменных может быть получена из некоторого количества функций двух переменных. Набор функций двух переменных, из которого методом суперпозиции можно получить все остальные булевые функции двух переменных, а значит и все булевые функции любого числа переменных, называется функционально полным набором.

Примерами таких наборов являются Y_4 и Y_3 , Y_6 и Y_3 . Функционально полный набор представляет даже одна отрицательно взятая функция f_5 или f_7 .

Таким образом, на базе электронных схем одного типа, работа которых описывается, например, булевой функцией f_5 или f_7 можно построить любую цифровую комбинационную схему при условии, что выходы таких схем можно подключать ко входам других таких же схем.

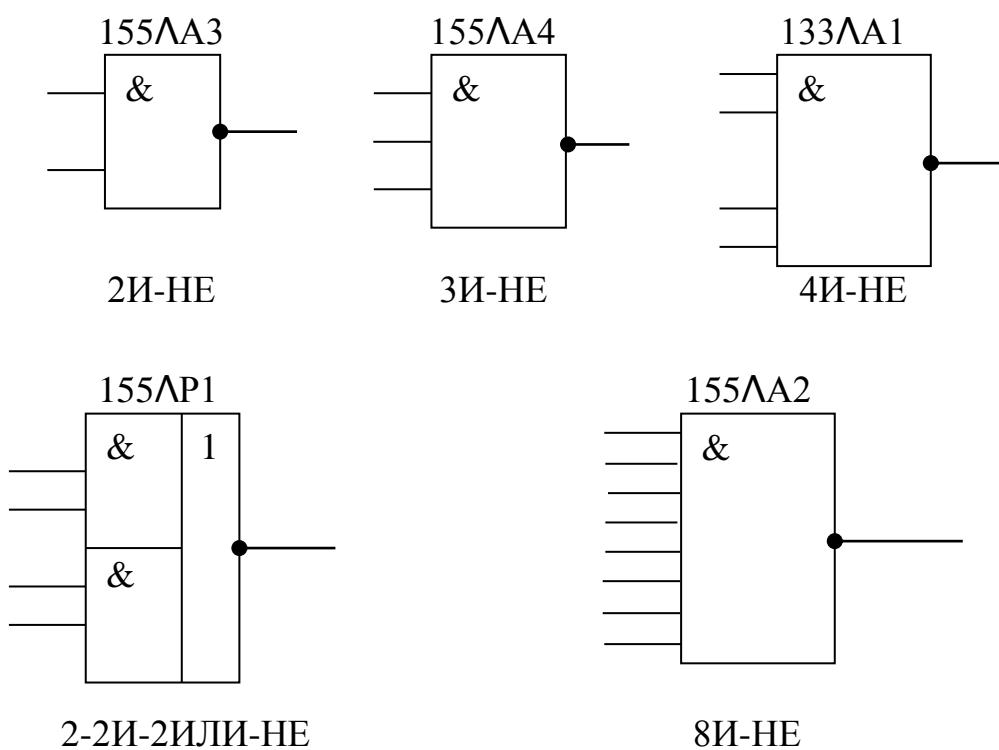
Набор логических элементов, реально используемых в цифровой электронике, соответствует избыточно полному функциональному набору булевых функций. Избыточность набора позволяет получить несколько вариантов одинаково функционирующих схем и выбирать те из них, которые лучше подходят для решения конкретных задач.

Так, например, наиболее распространенное семейство цифровых интегральных микросхем 155 серии содержит 2 И-НЕ, НЕ, 2И, 2ИЛИ, 2ИЛИ-НЕ, 2И-НЕ, 8И-НЕ, 2-2И-2ИЛИ-НЕ.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Объектами исследования в данной лабораторной работе являются логические элементы транзисторно-транзисторной логики:

2И-НЕ, 3И-НЕ, 4И-НЕ (рисунок).



основные параметры этих элементов приведены в табл.1.

	Рном МВт	U ^{вых} В	U ^{вых} В	t $\frac{1.0}{3\delta}$ нс	t $\frac{0.1}{3\delta}$ нс	Краз
155ЛА1	52	2,4	0,4	15	29	10
155ЛА2	26	2,4	0,4	18	33	10
155ЛА3	110	2,4	0,4	15	29	10
155ЛА4	80	2,4	0,4	15	29	10

При выполнении работы используются лабораторный стенд типа УМ11 и осциллограф.

ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Используя лабораторный стенд и осциллограф, рассмотреть работу основных логических элементов стенда и исследовать их основные параметры.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Персональный компьютер
- 2) Осциллограф ACK-2034
- 3) Источник питания APS-7315
- 4) Генератор функциональный ADG-1005
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подавая на входы элементов все возможные комбинации всех логических нулей и единиц, составьте таблицу истинности для каждого элемента.
2. Используя полученные таблицы, дать алгебраическое описание рассмотренных элементов.
3. Для логических функций, записанных в табл.2
 - а) записать алгебраическое выражение логической функции;
 - б) преобразовать это выражение к логическому базису, включающему элемент И-НЕ;
 - в) реализовать логическую функцию на стенде и проверить результат.

Таблица 1

X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	1	1	0	0	1	1

4. Для логических функций, заданных алгебраически,

- 1) $Y = (\bar{X}_1 \Lambda \bar{X}_2) V (\bar{X}_1 \Lambda X_2);$
- 2) $Y = (\bar{X}_1 V \bar{X}_2) \Lambda (\bar{X}_1 V X_2);$
- 3) $Y = (\bar{X}_1 \Lambda X_2 \Lambda X_3 \Lambda X_4) V (X_1 \Lambda X_2 \Lambda X_2 \Lambda X_3) V (X_2 \Lambda \bar{X}_3 \Lambda X_4);$
- 4) $Y = (\bar{X}_1 \Lambda \bar{X}_2 \Lambda \bar{X}_3) V (\bar{X}_1 \Lambda \bar{X}_2 \Lambda X_3) V (\bar{X}_1 \Lambda X_2 \Lambda \bar{X}_3);$

- a) составить таблицу;
- б) упростить, используя основные аксиомы и теоремы;
- в) составить схему;
- г) реализовать схему на стенде и проверить результат.

5. Для логической функции, заданной табл.3.

Таблица 3

Входы		Выходы	
X ₁	X ₂	S	P
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Проделать то же, что и по п.3.

УКАЗАНИЕ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет оформляется каждым студентом и должен содержать подробное описание всех этапов выполнения работы с соответствующими схемами и таблицами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие режимы работы транзисторов используется в элементах ТТЛ ?
2. Можно ли на дискретных элементах реализовать, например, ТТЛ схему 2И-НЕ ?
3. Какой вывод можно сделать, если сигнал на выходе ТТЛ схемы равен 1,5 В ?

Лабораторная работа №7

Цифровая схемотехника. последовательная логика.

ВВЕДЕНИЕ

После того, как на предыдущих лабораторных работах изучены комбинационные схемы, т.е. схемы, в которых выходные сигналы в любой момент времени определяются только теми сигналами, которые поступают на вход системы в тот же момент времени, перейдем к изучению схем последовательной логики. Схема последовательной логики – это такая схема, в которой текущие значения выходов зависят не только от текущих значений входов, но и от работы схемы до текущего момента. Базовым элементом в последовательной логике является триггер. Триггер является основным компонентом более сложных последовательных устройств, таких, как счетчики, сдвиговые регистры и регистры памяти.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Триггер, или бистабильный мультивибратор, - одноразрядный элемент памяти, предназначенный для хранения логической переменной.

В общем случае структуры триггера можно представить следующей схемой:

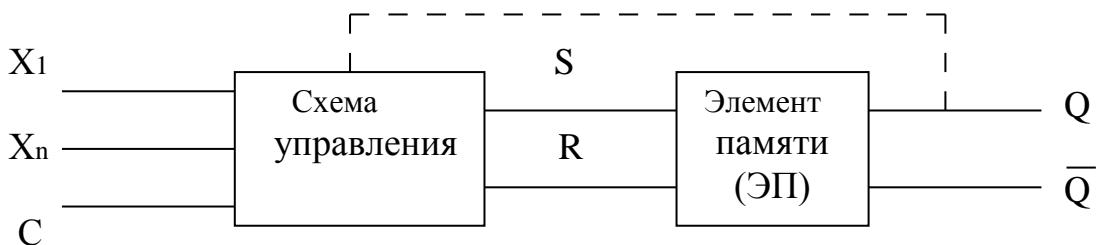


Рис.1. Структура триггера

Переключение элемента памяти в то или иное состояние осуществляется сигналами S (set – установка), R (reset – сброс), поступающими с выходов схемы управления. Логическое значение сигналов S, R зависит от комбинации сигналов на внешних управляющих входах X триггера и от состояния выхода элемента памяти, которое определяется значением сигнала Q, поступающего с выхода ЭП по цепи обратной связи.

Состояние триггера определяется значением выходного сигнала Q. Если изменение Q, т.е. переключение триггера, происходит только при поступлении синхроимпульса на специальный вход синхронизации C, то триггер называется синхронным. Триггеры могут синхронизироваться уровнем или фронтом синхроимпульсов (рис.2).

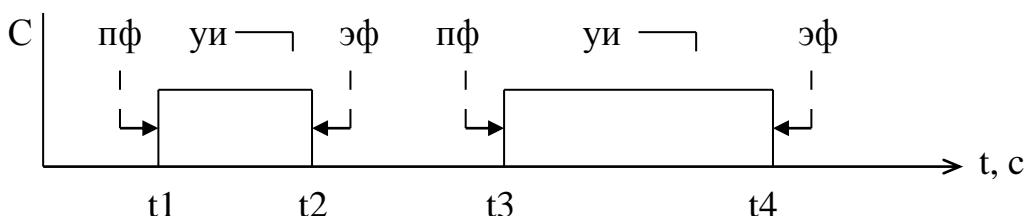


Рис.2. Пример синхронизирующих сигналов

На рис.2 приняты следующие обозначения: ПФ – передний фронт импульса;

ЭФ – задний фронт импульса; УИ – уровень импульса; t_1 и t_3 – моменты появления импульса; t_2 и t_4 – моменты отсечки импульса.

Триггеры, синхронизируемые уровнем, могут изменять свое состояние в течении длительности синхроимпульса (например от момента t_1 до момента t_2 или от $-t_3$ до t_4) при поступлении соответствующих управляющих сигналов X, т.е. могут переключаться несколько раз за время действия одного импульса. В течении паузы между синхроимпульсами состояние такого триггера сохраняется при любых изменениях управляющих сигналов. Триггеры, синхронизируемые фронтом, изменяют свое состояние при поступлении на синхронизирующий вход соответствующего фронта (переднего или заднего) синхроимпульса, т.е. в моменты времени t_1 , t_2 или t_3 , t_4 , а при последующем действии уровня синхроимпульса это состояние сохраняется при любых изменениях управляющих сигналов X. За время действия одного импульса такой триггер может переключаться только один раз.

Если триггер не имеет синхровхода, а имеет только управляющие входы, то такой триггер называется асинхронным. Переключение асинхронных триггеров происходит как только на управляющие входы поступает соответствующая комбинация управляющих сигналов X.

В цифровой схемотехнике наиболее часто используются триггеры RS-, JK-, T- и D- типов. Буквами R и S, J и K, T и D принято обозначать управляющие входы X триггеров соответствующих типов. Рассмотрим каждый из этих триггеров.

RS – триггеры

RS – триггер имеет два управляющих входа R и S, с помощью которых выполняются функции установки в состояние $Q=1$ (при $S=1$, $R=0$) и сброса в состояние $Q=0$ (при $S=0$, $R=1$). При $S=R=0$ триггер работает в режиме хранения, т.е. сохраняет ранее установленное состояние: либо $Q=1$, либо $Q=0$. Комбинация входных сигналов $R=S=1$ (установка и сброс одновременно) является запрещенной, так как может привести к неопределенному состоянию Q. Во избежание возникновения сбоев в цифровых системах комбинацию $S=R=1$ исключают. Таблицу состояний RS – триггера можно представить в следующем виде:

R	S	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	1
1	0	0
1	1	X

X – неопределенное состояние.

Условное обозначение RS – триггеров – TP (например, 555TP2).

RS – триггеры могут быть синхронными и асинхронными. Схемное изображение асинхронного RS – триггера показано на рис.3.

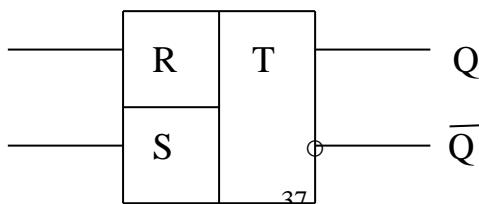


Рис.3. асинхронный RS – триггер.

Работу асинхронного триггера можно пояснить временной диаграммой (рис.4).

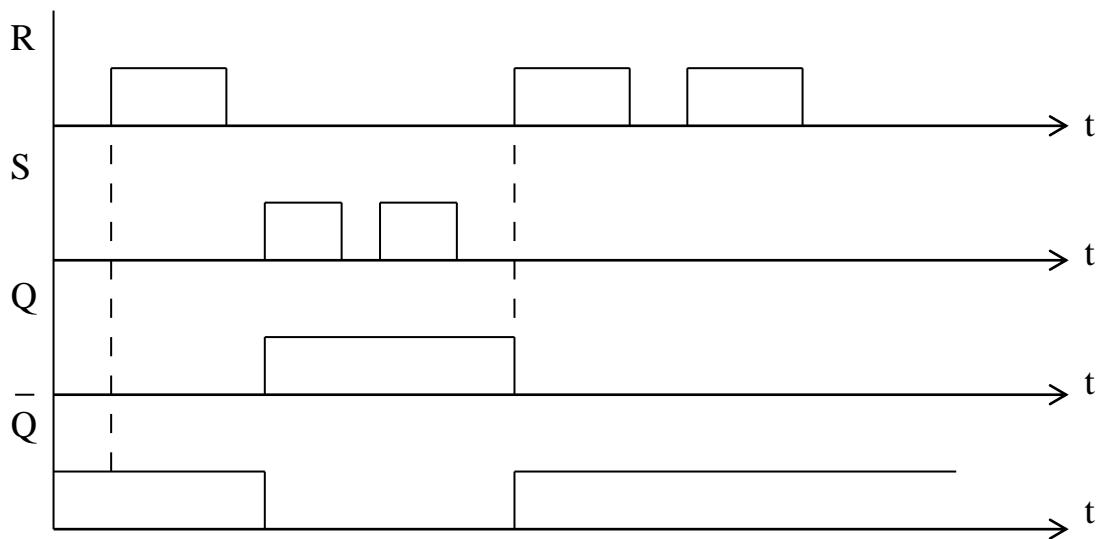


Рис.4 Временная диаграмма работы асинхронного RS – триггера

Синхронные триггеры могут быть синхронизируемыми уровнем или фронтом синхросигнала. Схемное изображение их показано на рис.5.

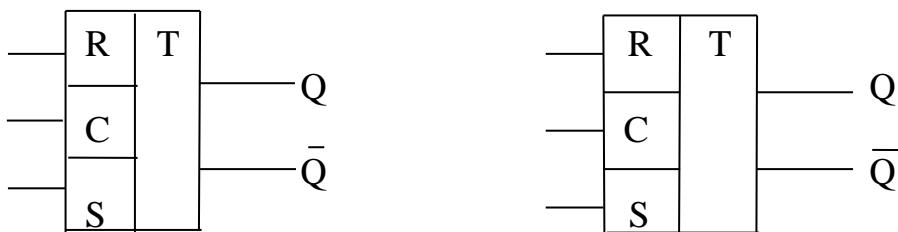


Рис.5. Условные обозначения синхронных RS – триггера, синхронизируемого уровнем.

Работу триггера, синхронизируемого уровнем, можно проиллюстрировать временной диаграммой (рис.6).

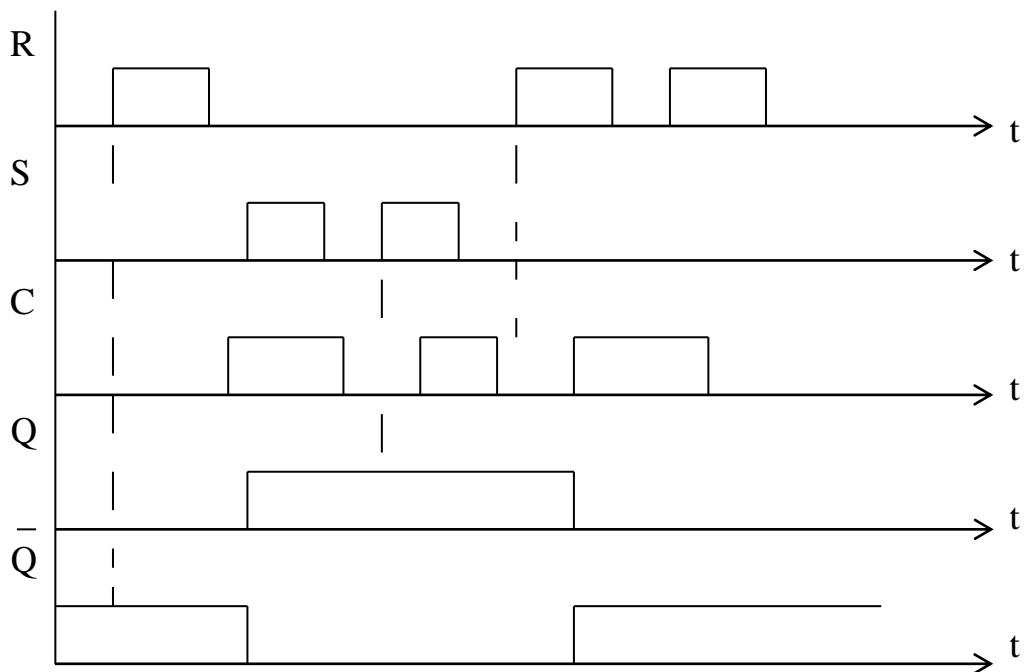


Рис.6. Временная диаграмма работы синхронного RS – триггера, синхронизируемого уровнем.

По аналогии, работу триггера, синхронизируемого, например, передним фронтом синхроимпульса, можно представить в виде рис.7.

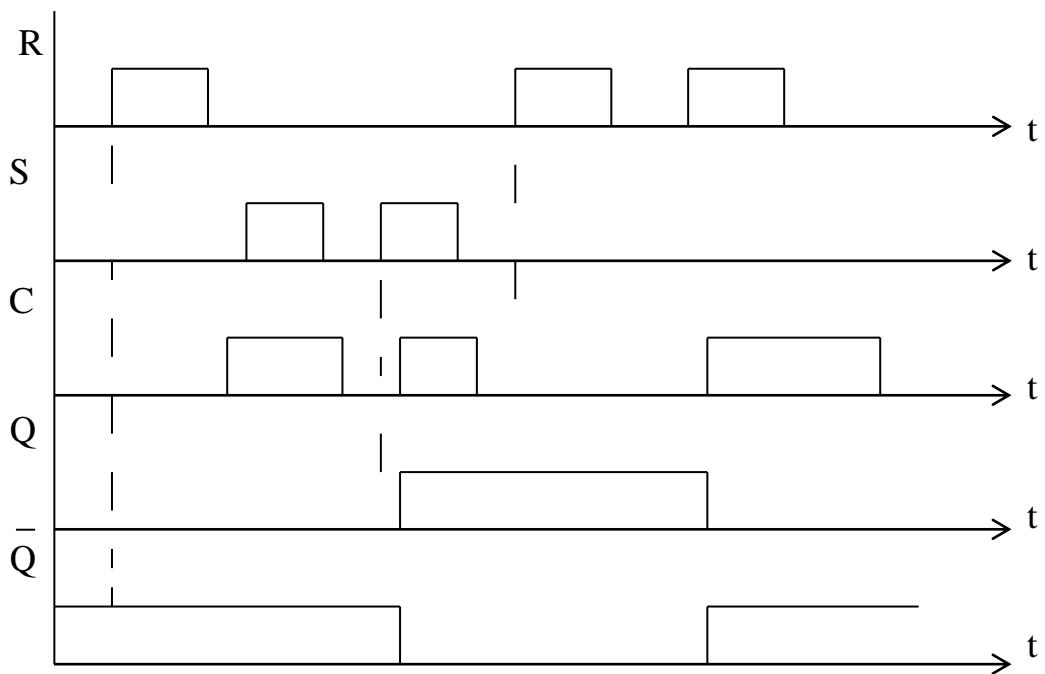


Рис.7. Временная диаграмма работы синхронного RS – триггера, Синхронизируемого передним фронтом синхроимпульса.

JK – ТРИГГЕР

JK – триггер характеризуется следующей таблицей состояний:

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}_n

Он отличается от RS – триггера тем, что при поступлении на входы комбинации J=K=1 меняет состояние входа на противоположное

$$Q_{n+1} = \bar{Q}_n .$$

Таким образом, JK – триггер не имеет запрещенных комбинаций входных сигналов. Так же как и RS – триггер, JK- триггер может быть как асинхронным, так и синхронизируемым уровнем или фронтом. Однако на практике обычно используются JK – триггеры, синхронизируемые фронтом. Условное обозначение JK – триггеров – ТВ (например, 155TB2), и условное графическое изображение дано на рис.8.

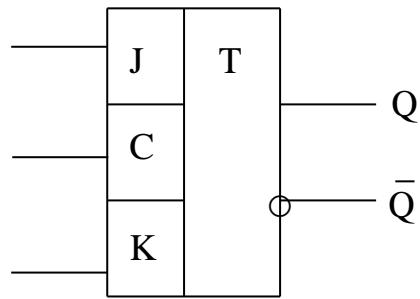


Рис.8. Графическое изображение JK – триггеров

T- ТРИГГЕР

T – триггер называют часто счетным триггером, и он характеризуется следующей таблицей состояний:

T	Q_{n+1}
0	Q_n
1	\bar{Q}_n

Состояние его выхода меняется на противоположное при поступлении на вход счетного сигнала $T=1$ и сохраняется неизменным при $T=0$. Из таблицы состояний для JK – триггера видно что при $J=K=1$ состояние JK – триггера, синхронизируемого фронтом, будет изменяться на противоположное

$$Q_{n+1} = \bar{Q}_n$$

При поступлении каждого синхроимпульса. Таким образом, JK – триггер в этом случае функционирует как T- триггер при подаче счетного сигнала T на вход синхронизации C (рис.9).

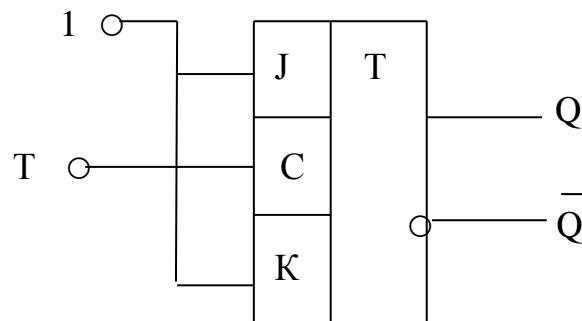


Рис.9. JK – триггер в режиме T – триггера

D – ТРИГГЕР

D – триггер имеет таблицу состояний, в которой отсутствует состояние, соответствующее режиму хранения:

D	Q_{n+1}
0	0
1	1

D – триггеры бывают только асинхронными, и в соответствии с таблицей состояний, они после поступления синхросигнала устанавливаются в состояние $Q_{n+1}=D$.

Таким образом, D – триггер выполняет функцию задержки информации, поступающей на управляющий вход D на один период синхросигнала.

В микроэлектронной аппаратуре широко используются как D – триггеры, синхронизируемые фронтом, так и синхронизируемые уровнем. Условное обозначение D – триггеров – ТМ (155ТМ2), а условное графическое изображение приведено на рис.10.

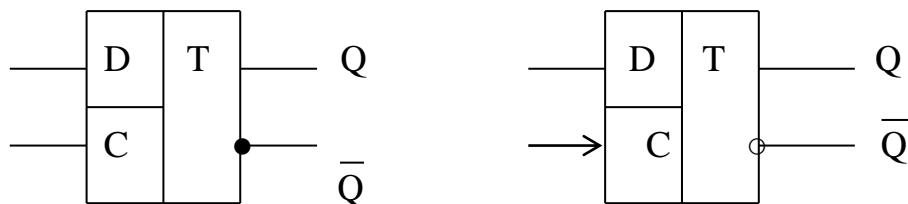


Рис.10. Графическое изображение D – триггеров

Согласно таблицам состояний, синхронный JK – триггер будет выполнять функции D – триггера, если исключить комбинации переменных, при которых J=K.

Это получается соединением входов J и K через инвертор (рис.11).

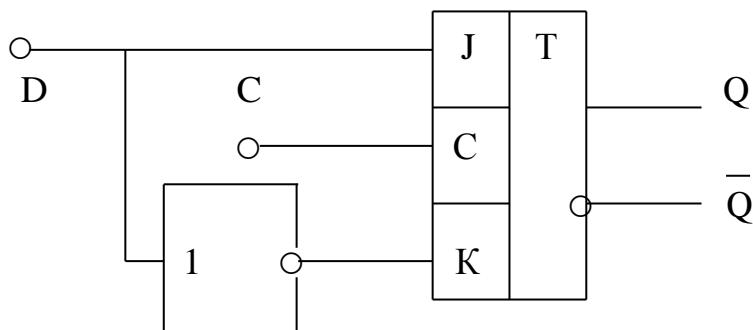


Рис.11. JK – триггер в режиме D – триггера

В свою очередь, D – триггер, синхронизируемый фронтом, выполняет функции T – триггера, если соединить вход D с инверсным выходом (рис.12).

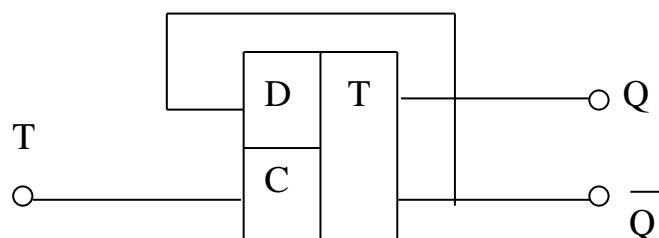


Рис.12. D – триггер в режиме T – триггера

Рассмотренные выше триггеры являются основным элементом, используемом при построении более сложных последовательных устройств, таких, как счетчики, регистры памяти, сдвиговые регистры и т.д.

Рассмотрим эти устройства.

СЧЕТЧИКИ

Счетчиком называется функциональный узел, на выводах которого образуется число, соответствующее количеству поступивших на вход импульсов. Основным параметром счетчика является модуль счета K_s . Модуль счета равен максимальному числу импульсов, которое может быть просчитано счетчиком. Счетчики строятся на основе JK-, T- триггеров. Пример счетчика на D – триггерах показан на рис.13.

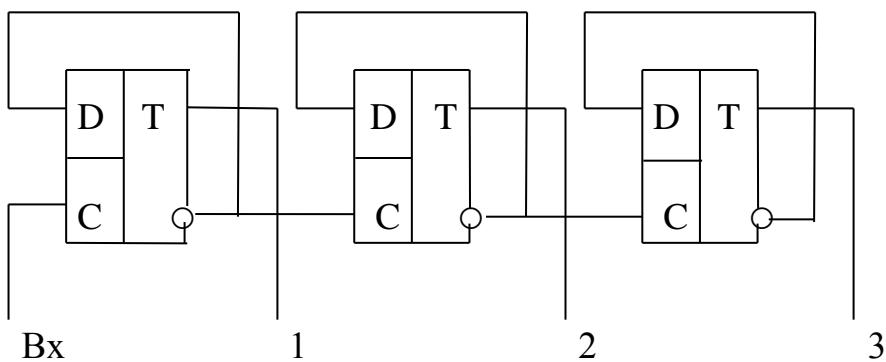


Рис.13. Счетчик на D – триггерах

Счетчик, содержащий m триггеров, называется m – разрядным.

Он может иметь 2 устойчивых состояния, поэтому его модуль счета $K_s < 2^m$. Количество поступивших на счетный вход импульсов представляется на выходе счетчика в виде двоичного числа. Так, например, представленного выше трехразрядного счетчика можно проиллюстрировать временной диаграммой (рис.14).

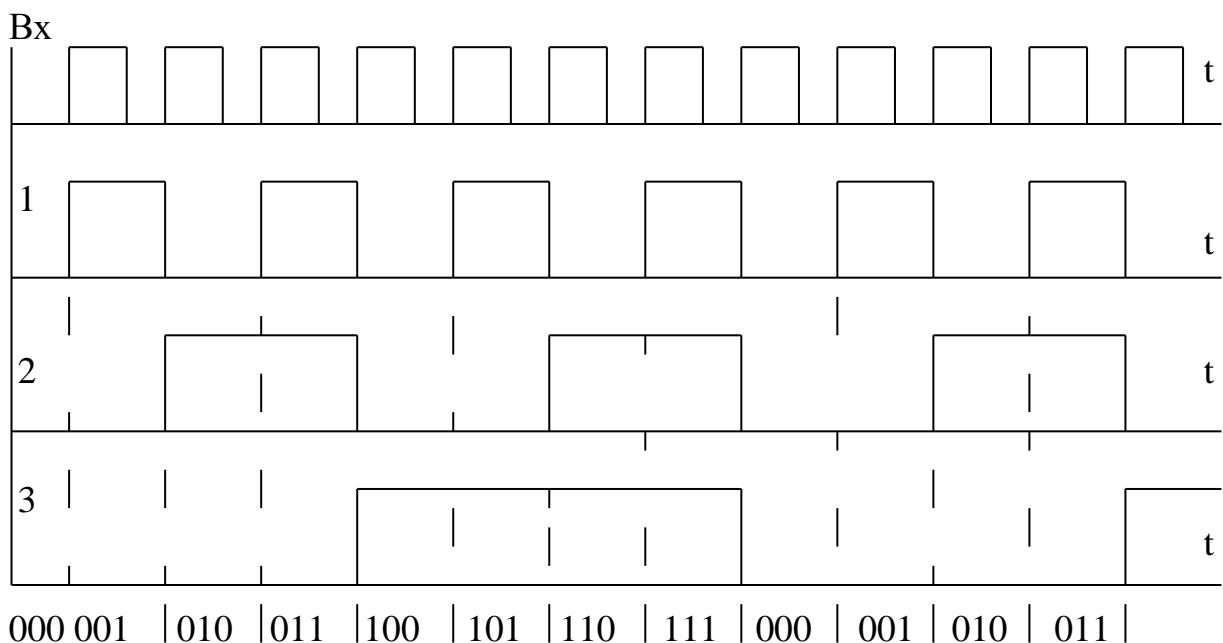


Рис.14. Временная диаграмма работы счетчика

Частота импульсов на выходе последнего разряда счетчика в Кс раз меньше, чем частота импульсов, поступающих на вход. Поэтому счетчики используются в качестве делителей частоты, обеспечивающих на выходе в Кс раз меньшую частоту сигнала, чем на входе.

По типу функционирования различают счетчики суммирующие, вычитающие и реверсивные. Суммирующий счетчик выполняет прямой счет, т.е. при поступлении на вход очередного импульса число на выходе счетчика увеличивается на единицу. Вычитающий счетчик производит обратный счет, т.е. при поступлении счетного импульса число на выходе уменьшается на единицу. Реверсивный счетчик может работать в режиме прямого и обратного счета.

Если счетные импульсы в счетчике подаются только на вход триггера первого разряда, как в счетчике, представленном выше на рисунке, то такой счетчик называется последовательным.

Для каждого из последующих разрядов сигналы переключения поступают с выхода предыдущих разрядов. В результате происходит последовательное переключение разрядов счетчика.

Если период счетных импульсов соизмерим с временем задержки переключения одного разряда счетчика, то число на выходах последовательного счетчика может не всегда соответствовать количеству поступивших на вход импульсов. В этом случае наиболее подходящими являются параллельные счетчики. В счетчиках этого типа счетные импульсы одновременно (параллельно) поступают на синхровходы С триггеров во всех разрядах.

Условное обозначение счетчиков – ИЕ (например, 555 ИЕ 5), а условное графическое изображение дано на рис.15.

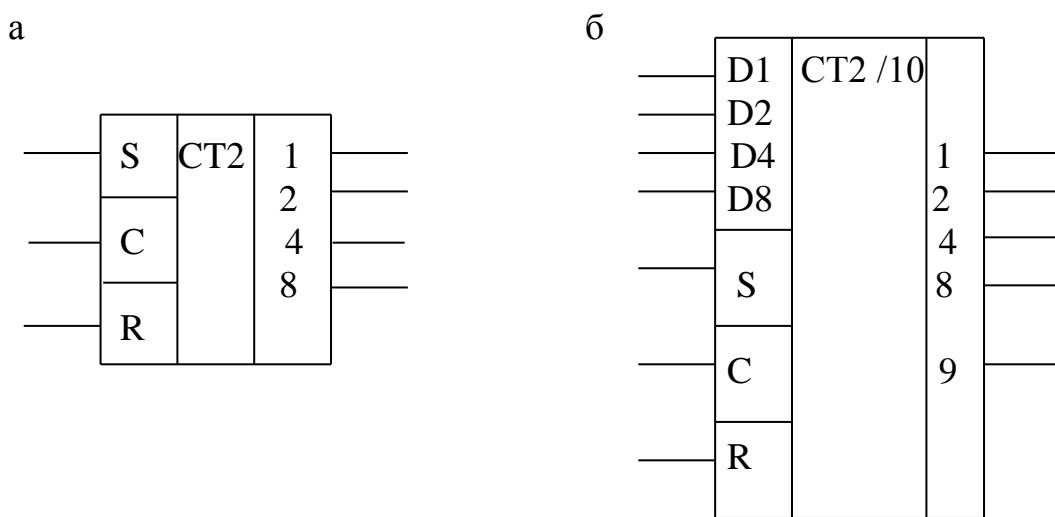


Рис.15. Графическое изображение счетчиков

На рис.15,а показан двоичный счетчик, а на рис.15,б двоично – десятичный с возможностью предварительной установки с помощью параллельного входа D1 – D8. Последний счетчик считается до 10, и далее цикл счета повторяется.

РЕГИСТРЫ

Регистром называется функциональный узел, выполняющий хранение двоичных чисел, их сдвиг на определенное число разрядов. Они строятся на основе рассмотренных выше триггеров. По способу приема и выдачи информации регистры делятся на следующие группы: с параллельным приемом и выдачей (рис.16,а), с последовательным приемом и выдачей (рис.16,б), с последовательным приемом и параллельной выдачей (рис.16,в), с параллельным приемом и последовательной выдачей (рис.16,г), а также комбинированные с различными способами приема и выдачи.

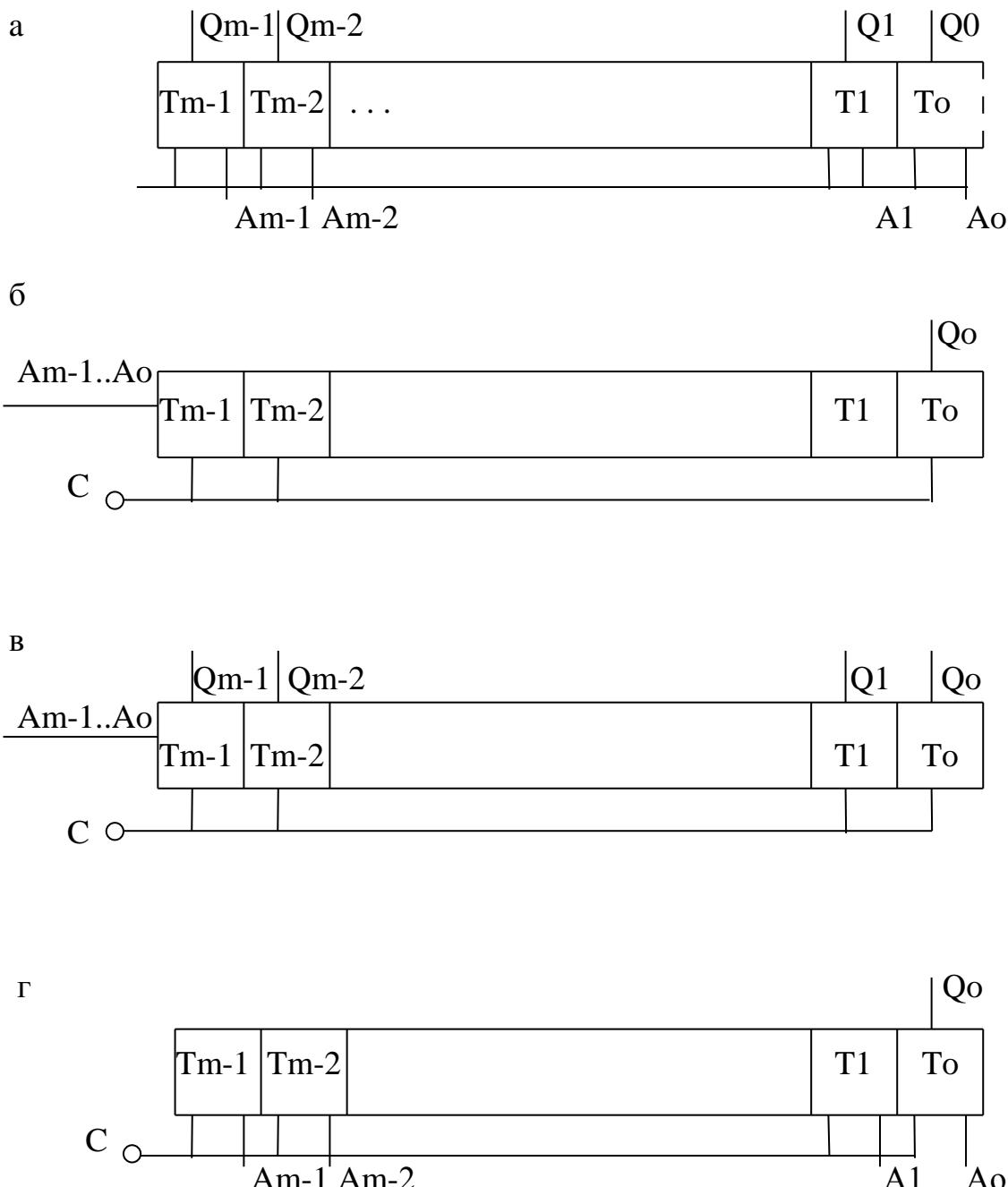


Рис.16. Структурные схемы регистров

Регистры с параллельным приемом и выдачей информации используются для хранения информации и называются регистрами памяти. Изменение хранящейся информации, т.е. ввод иной информации происходит после соответствующего изменения сигналов на входах А при поступлении определенного уровня (0 или 1) или фронта синхросигналов С. для построения регистров памяти могут использоваться синхронизируемые уровнем или фронтом D – триггеры или RS – триггеры. В первом случае информация должна поступать в виде однофазных сигналов, а во втором виде парофазных сигналов. Примеры регистров памяти показаны на рис.17.

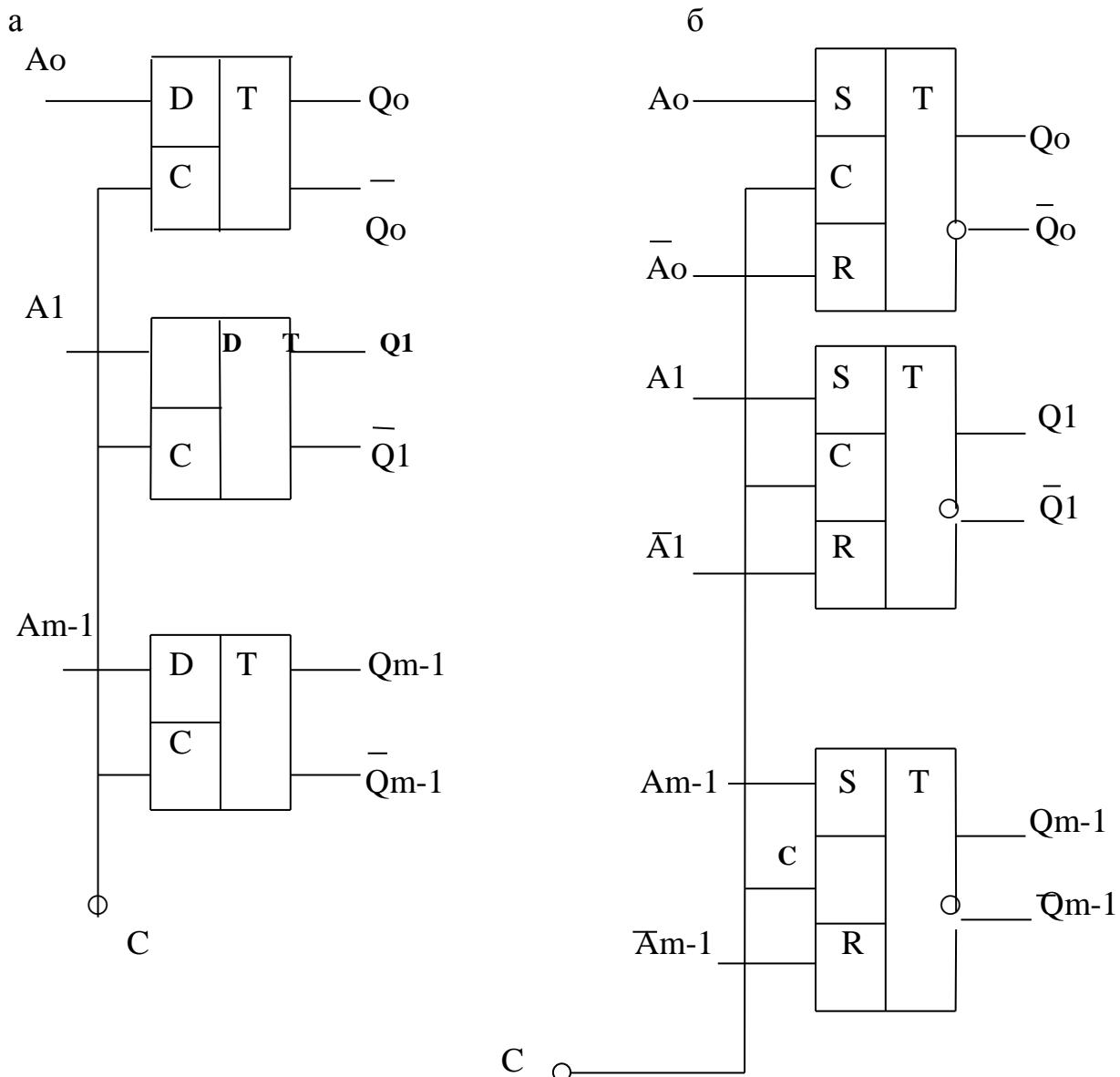


Рис.17. Регистры памяти на D- и RS- триггерах

Регистры с последовательным приемом или последовательной выдачей информации называют часто сдвиговыми регистрами. В регистре с последовательным приемом и выдачей первый разряд вводимого числа A_o подается на вход одного старшего разряда регистра $T_m - 1$ и вводится в него при поступлении первого синхроимпульса, т.е. $Q_{m-1}=A_o$. При поступлении следующего синхроимпульса значение A_o , поступающее с выхода разряда P_{m-1} вводится в разряд T_{m-2} , т.е. устанавливается $Q_{m-2}=A_o$, а в разряд

P_{m-1} поступает следующий разряд числа, т.е. $Q_{m-1}=A_1$ и т.д. Таким образом, производится последовательный сдвиг поступающей на вход информации на один разряд вправо в каждом такте синхросигналов. После поступления m синхроимпульсов весь регистр оказывается заполненным разрядами числа A, и первый разряд A_0 появляется на выходе Q_0 регистра. В течение последующих m синхроимпульсов производится последовательный разрядный вывод из регистра записанного числа, после чего регистр оказывается полностью очищенным. Сдвиговые регистры обычно реализуются на D – триггерах (рис.18,а) или RS – триггерах (рис.18,б), где для ввода информации в первый разряд включается инвертор.

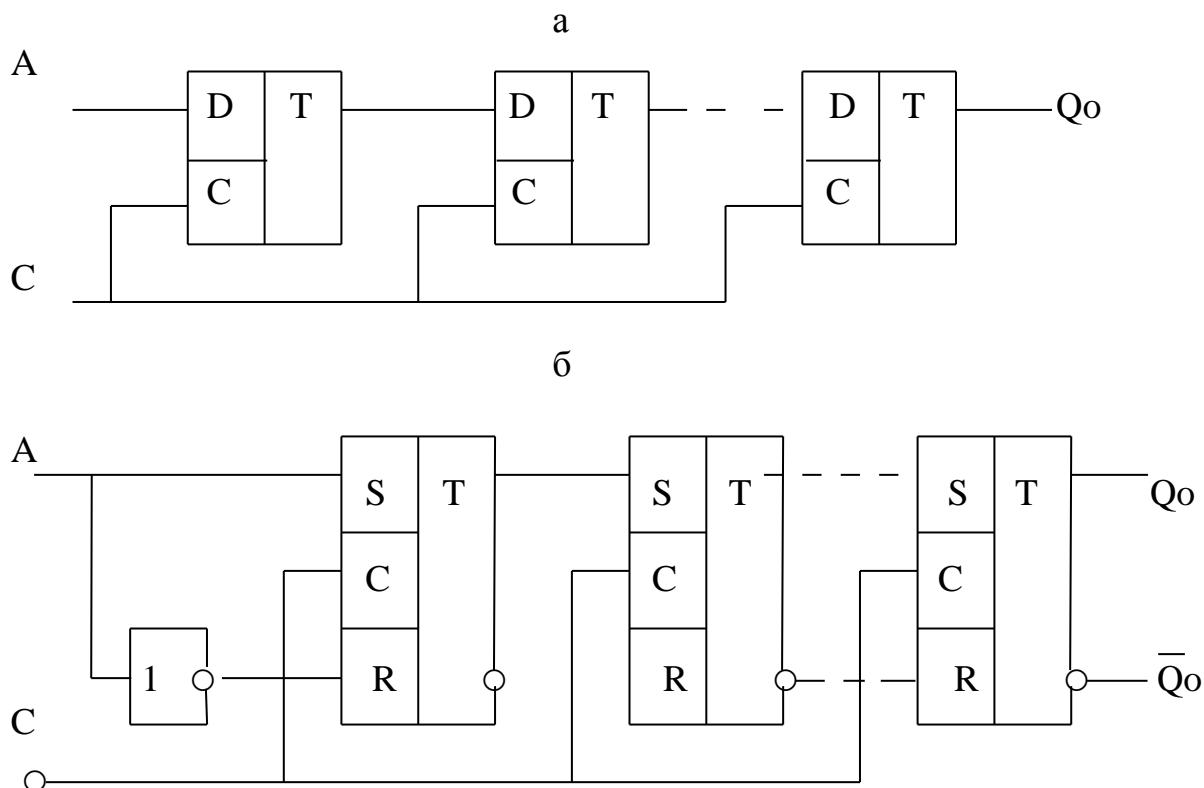
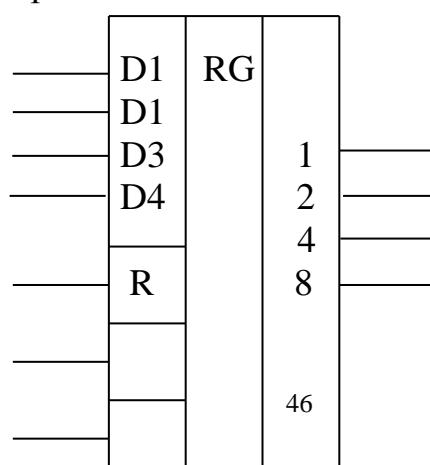


Рис.18. Сдвиговые регистры на D- и RS- триггерах

Для сдвиговых регистров обязательным является применение триггеров, синхронизуемых фронтом.

Сдвиговые регистры могут быть реверсивными, т.е. выполняющими сдвиг в любом направлении: слева направо или наоборот. Направление сдвига определяется значением управляющего сигнала на специальном входе регистра.

Условное обозначение регистров ИР (например, 155 ИР 1), и условное графическое изображение дано на рис.19.



C

S

Рис.19. Графическое изображение четырехразрядного регистра

ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ

Изучить работу триггеров, счетчиков и регистров.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- 1) Персональный компьютер
- 2) Осциллограф АСК-2034
- 3) Источник питания APS-7315
- 4) Генератор функциональный АНР-1105
- 5) Макетная плата и исследуемые электронные компоненты

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучение работы триггеров

а) Изучить работу RS – триггеров.

Для выполнения этой части работы необходимо, во – первых, собрать RS – триггер на элементах 2И – НЕ и снять для него таблицу истинности. Во – вторых, включая JK- и D- в режиме RS- триггера также снять таблицу истинности. Затем сравнить полученные результаты и сделать соответствующие выводы.

б) Изучить работу JK – триггера.

Собрать на макетной плате схему для исследования работы триггера и снять его таблицу истинности.

в) Изучить работу D – триггера.

Собрать на стенде схему для исследования работы триггера и снять его таблицу истинности.

2. Изучение работы счетчиков

Собрать на макетной плате трехразрядный суммирующий счетчик сначала на JK - , а затем на D- триггерах и зарисовать временные диаграммы его работы.

Затем собрать трехразрядный вычитающий счетчик на JK- и на D- триггерах и зарисовать временные диаграммы его работы.

Используя дополнительные логические элементы собрать схему трехразрядного реверсивного счетчика.

3. Изучить работы регистров

Собрать схему регистра с параллельным вводом и параллельным выводом информации сначала на JK- , а затем на D- триггерах и показать его работоспособность.

Собрать схему регистра с последовательным вводом и последовательным выводом информации сначала на JK- , а затем на D- триггерах и показать его работоспособность.

Собрать схему кольцевого регистра.

УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет оформляется каждым студентом и должен содержать подробное описание всех этапов выполнения работы с соответствующими схемами и таблицами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубовик Б.И. Основы электроники (аналоговая и цифровая схемотехника). Тула. Изд-во ТулГУ, 2011, 163с (5 экз.)
2. Новиков Ю.В. Введение в цифровую схемотехнику : учеб.пособие / Новиков Ю.В. — М. : Интернет-ун-т информ.технологий: Бином, 2007 . — 343с. : ил. — (Основы информационных технологий).— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-94774-600-X /в пер./ : 204.00.(7 экз)
3. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В.Г.Гусев,Ю.М.Гусев .— 4-е изд.,доп. — М. : Высш.шк., 2006 .— 799с. : ил. — Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-06-005680-5 /в пер./ : 257.49.(10 экз.)
4. Лачин, В. И. Электроника : учеб.пособие для вузов / В.И.Лачин,Н.С.Савелов .— 6-е изд.,перераб.и доп. — Ростов-н/Д : Феникс, 2007 . — 703с. : ил. — (Высшее образование) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 978-5-22-11812-2 ((В пер.)) : 315.00.(3 экз)
5. Джонс, М.Х. Электроника-практический курс : учеб.пособие / М.Х.Джонс;пер.с англ.:Е.В.Воронова,А.Л.Ларина .— 2-е изд.,испр. — М. : Техносфера, 2006 .— 512с. : ил. — (Мир электроники) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-94836-086-5 /в пер./ : 375.00. (3 экз)
6. Прянишников, В.А. Электроника : полный курс лекций / В.А.Прянишников .— 5-е изд. — СПб. : Бином пресс, 2006 .— 416с. : ил. — (Учебник для высших и сред.учеб.заведений) .— Библиогр.в конце кн. — ISBN 5-7931-0018-0 : 210.00.(14 экз)
7. Дубовик, Б.И. Основы электроники;Аналоговая схемотехника : учеб. пособие / Б. И. Дубовик ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТГУ, 1996 .— 160 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — 16000,00. (66 экз.)
8. Дубовик, Б.И. Основы электроники. Цифровая схемотехника : учеб. пособие / Б. И. Дубовик ; ТулГУ .— Тула, 1999 .— 64 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — 29,00. (66 экз.)