



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Инженерная графика
машиностроительного профиля»
Кафедра «Информационно-измерительная техника
и технологии»

ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

*Методическое пособие
по лабораторным работам*

Минск 2009

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Инженерная графика
машиностроительного профиля»
Кафедра «Информационно-измерительная техника
и технологии»

ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Методическое пособие по лабораторным работам
для студентов технических и технологических специальностей

Минск 2009

УДК 621.3.038 (075.8)

ББК 32.965.3я7

В 92

А в т о р ы :

А.Ю. Лешкевич, Т.В. Дорогокупец,

К.Л. Тявловский, А.К. Тявловский

Р е ц е н з е н т ы :

В.С. Колбун, И.Н. Савелов

В 92 Выполнение схем электронных устройств: методическое пособие по лабораторным работам для студентов технических и технологических специальностей / А.Ю. Лешкевич [и др.]. – Минск: БНТУ, 2009. – 94 с.

ISBN 978-985-525-206-2.

В пособии изложены краткие сведения о принципах действия и устройстве типовых узлов элементной базы промышленной электроники, применяемых в автоматике, телемеханике, средствах сигнализации и связи, приведены правила выполнения принципиальных схем, даны варианты и пример выполнения индивидуальных заданий. Пособие содержит необходимый справочный материал.

Выполнение схем электронных устройств производится студентами с использованием ПЭВМ на основе заданий и примеров, выдаваемых преподавателями на электронных носителях.

Пособие может использоваться студентами всех форм обучения по курсу инженерной графики, при курсовом и дипломном проектировании.

УДК 621.3.038 (075.8)

ББК 32.965.3я7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Основные положения	6
2. Общие сведения	13
2.1. Резисторы	14
2.2. Конденсаторы	15
2.3. Выбор номинала резисторов и конденсаторов	17
2.4. Катушки индуктивности	19
2.5. Трансформаторы	19
2.6. Полупроводниковые диоды	20
2.7. Транзисторы	23
2.7.1. Биполярные транзисторы	23
2.7.2. Полевые транзисторы	26
2.8. Тиристоры	27
2.9. Интегральные микросхемы	28
3. Оформление чертежа электрической схемы	31
3.1. Условные графические обозначения основных элементов электронных устройств	36
3.1.1. Проводные соединения	36
3.1.2. Пассивные элементы. Резисторы и конденсаторы ..	38
3.1.3. Пассивные точечные элементы	40
3.1.4. Полупроводниковые элементы	41
3.1.5. Оптоэлектронные приборы	43
3.1.6. Электровакуумные и газоразрядные приборы	44
3.1.7. Коммутационные элементы. Выключатели и переключатели	45
3.1.8. Коммутационные элементы. Разъемные и неразъемные соединители	47
3.1.9. Коммутационные элементы. Электромагнитные реле	48
3.1.10. Приборы электроакустические	49
3.1.11. Преобразователи. Датчики	50
3.1.12. Электротехнические элементы	51
3.1.13. Интегральные микросхемы	52
3.1.14. Элементы функциональных схем	59
3.2. Условные графические обозначения в зарубежных стандартах	62

3.3. Правила оформления блок-схемы алгоритма программы	62
4. Методика выполнения лабораторной работы	72
4.1. Цель работы и ее выполнение	72
4.2. Выполнение работы в электронной форме	73
Литература	76
ПРИЛОЖЕНИЕ. Варианты заданий для выполнения электрических схем	77

ВВЕДЕНИЕ

Завершающим этапом изучения курса инженерной графики во вузе является выполнение чертежа по специальности. Для конструкторских специальностей общемашиностроительного профиля таким чертежом является принципиальная кинематическая, гидравлическая или электрическая схема. Для специальностей, связанных с приборостроением, робототехникой, информационными технологиями, актуальна проблема разработки дидактического материала по выполнению принципиальных схем электронных устройств. Кроме знания соответствующих правил и условных обозначений эта тема требует изучения назначения и принципов действия элементов, составляющих проектируемую систему.

Проблема весьма актуальна еще и потому, что в области промышленной электроники схема несет основную смысловую нагрузку устройства, является стержнем конструкторской разработки и базой проектирования. При решении этого вопроса необходимо учитывать то, что студент должен:

- изучить правила выполнения принципиальных схем и познакомиться с условными обозначениями основных элементов промышленной электроники;
- познакомиться с методикой синтеза электронных схем на базе конструктивных элементов;
- усвоить и применить на практике знания о назначении и принципах работы основных электронных приборов, таких как конденсатор, диод, транзистор и т.д.

На каждой стадии обучения целесообразно использование современных технических средств, таких как компьютер, Интернет.

Применение компьютера наиболее эффективно именно в области САПР электронного оборудования. Постоянное совершенствование графических средств и соответствующего прикладного компьютерного математического обеспечения требует разработки универсальных методик обучения той или иной теме инженерной графики в рамках современных технологий образования.

Данное методическое пособие позволит ознакомить студента с правилами выполнения принципиальных схем, с требованиями соответствующих стандартов к условным графическим обозначениям (УГО) электронных элементов и аппаратов. Здесь также приведены

необходимые сведения о принципе действия и параметрах электронных элементов, применяемых в промышленной электронике. Конкретные системы и схемы того или иного оборудования будут изучаться в специальных курсах, программы которых определяются учебным планом соответствующей специальности.

Цель данного пособия – на основе анализа ряда электронных схем выявить узлы, выполняющие законченную функцию, и на базе этих узлов разработать методику синтеза и выполнения несложных схем. К таким узлам можно отнести усилители аналоговых сигналов, фильтры, генераторы гармонических колебаний, логические схемы и т.д. Пособие содержит примеры выполнения условных графических обозначений основных электронных элементов, примеры выполнения принципиальных электрических схем.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основным видом конструкторских документов в различных областях электротехники, радиоэлектроники, вычислительной техники и связи являются схемы. Схемой называют документ, на котором в виде условных изображений и обозначений показаны составные части изделия и связи между ними [1]. Виды и типы схем, общие требования к их выполнению регламентируются ГОСТ 2.701–84. Принципиальная схема определяет полный состав элементов и их взаимодействия в изделии, дает представление о принципах работы узла.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба и действительного пространственного расположения составных частей изделия. Необходимое количество типов схем, разрабатываемых на проектируемое изделие, а также количество схем каждого типа определяется разработчиком в зависимости от особенностей изделия. Комплект схем должен быть по возможности минимальным, но содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия. Схему разрешается выполнять на нескольких листах.

В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, схемы имеют следующие буквенные коды:

Электрические	Э
Гидравлические	Г
Пневматические	П
Газовые (кроме пневматических)	Х
Кинематические	К
Вакуумные	В
Оптические	Л
Деления	Е
Комбинированные	С

Под комбинированной схемой понимается один конструкторский документ, на котором выполнены схемы двух или более видов, выпущенные на одно изделие. Например, схема электрогидравлическая.

В зависимости от основного назначения типы схем имеют следующие цифровые коды:

Структурные	1
Функциональные	2
Принципиальные (полные)	3
Соединений (монтажные)	4
Подключения	5
Общие	6
Расположения	7
Объединенные	0

Код схемы состоит из буквы, определяющей вид схемы, и цифры, обозначающей тип схемы, например, Э3 – схема электрическая принципиальная, Э4 – схема электрическая соединений.

Структурная схема (рис. 1.1) определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Структурные схемы разрабатывают при проектировании изделий (установок) на стадиях, предшествующих разработке схем других типов. Их используют для общего ознакомления с изделием (установкой).

Функциональная схема (рис. 1.2) служит для разъяснения процессов, протекающих в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом. Такие схемы используют для изучения принципов работы изделий (установок),

а также при их наладке, контроле и ремонте в процессе эксплуатации. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей устройства. На линиях взаимосвязи рекомендуется стрелками указывать направления действия сигналов или потоков энергии. Обычно на структурных и функциональных схемах линия взаимосвязи может обозначать как одну линию электрической связи (два проводника), так и множество линий электрической связи (шина).

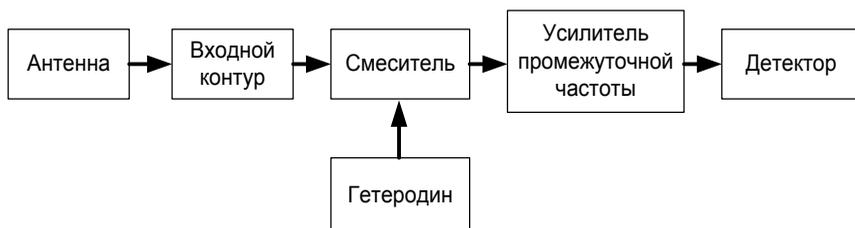


Рис. 1.1. Структурная схема электронного устройства

Если функциональных частей много, вместо наименований можно присваивать им порядковые номера, возрастающие сверху вниз в направлении слева направо. Номера проставляют справа от изображения или над ним. Наименования функциональных частей указывают в таблице, помещаемой на схеме. Система обозначений на схеме должна быть единая (наименования, аббревиатуры или порядковые номера).

Допускается помещать на схеме поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие процессы во времени, а также указывать параметры в характерных точках (величины токов и напряжений, математические зависимости и т.п.).

Структурная и функциональная схемы являются первой моделью электронного устройства (ЭУ). Достоинством структурной схемы является то, что по ней можно быстро получить представление о составе ЭУ, его структуре и выполняемой функции (функциях), не отвлекаясь на схемную реализацию его функциональных частей.

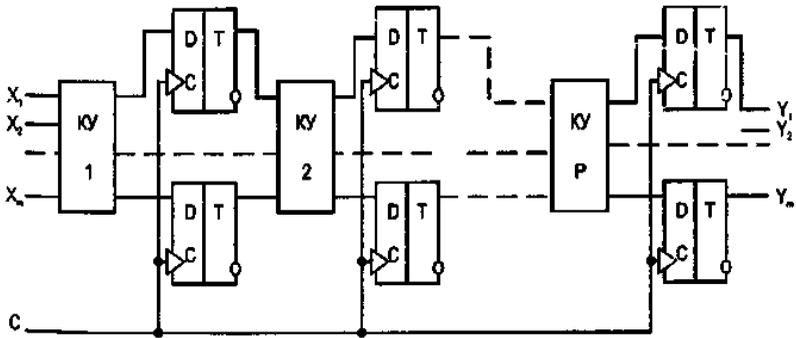


Рис. 1.2. Функциональная схема универсального регистра

Принципиальная схема (рис. 1.3) определяет полный состав элементов и связей между ними, дает детальное представление о принципах работы изделия (установки) и служит для их изучения. Такие схемы необходимы при наладке, контроле и ремонте изделий (установок). Принципиальные схемы используют как основу для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений (монтажных) и чертежей.

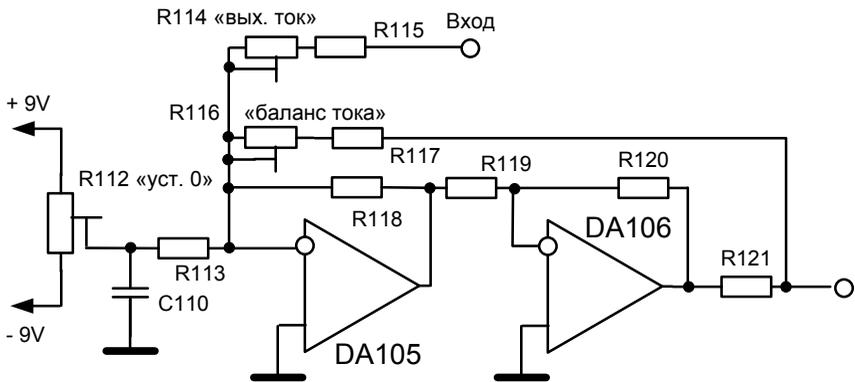


Рис. 1.3. Принципиальная электрическая схема преобразователя «напряжения-тока»

Схема соединений (монтажная) показывает соединения составных частей изделия (установки) и определяет провода, жгуты,

кабели или трубопроводы, которыми они осуществляются, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.). Схематическими соединениями пользуются при разработке других конструкторских документов, в первую очередь чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии. Схемы используют также при контроле, эксплуатации и ремонте изделий (установок) в процессе эксплуатации.

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. Такими схемами пользуются при разработке других конструкторских документов, а также для подключения изделий и при их эксплуатации.

Общая схема определяет составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации. Схематическими схемами пользуются при ознакомлении с комплексами, а также при их контроле и эксплуатации.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей устройства, а при необходимости также проводов, жгутов, кабелей, трубопроводов и т.п. Схематическими схемами расположения пользуются при разработке других конструкторских документов, а также при эксплуатации и ремонте.

Объединенная схема в одном конструкторском документе объединяет схемы двух или нескольких типов, выпущенных на одно устройство, например, схема структурная, принципиальная и соединений.

Допускается разрабатывать совмещенные схемы, когда на схемах одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа, например, на схеме соединений изделия показывают его внешние подключения.

При необходимости допускается разрабатывать схемы прочих типов. В виде самостоятельных документов к схемам выпускают таблицы, содержащие сведения о расположении устройств, соединениях, местах подключения и др. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы **Т** и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической принципиальной схеме – ТЭЗ.

Полное обозначение схемы изделия, например, электрической функциональной, имеет следующий вид: **АБВГ ХХХХХХ.ХХХ Э2**.

Электрические принципиальные схемы выполняют в соответствии с ГОСТ 2.702–75. На схемах используют стандартные услов-

ные графические обозначения. Обозначения в электрических схемах устанавливаются ГОСТ 2.721–84, ГОСТ 2.791–84 [4]. Если необходимо использовать нестандартизованные обозначения некоторых элементов, то на схеме делают соответствующие пояснения.

Схемы вычерчиваются в отключенном состоянии. Условные обозначения на схеме приводятся в положении, в котором они изображены в соответствующем стандарте, или повернутыми на угол, кратный 90° относительно стандартного положения. Схемы выполняются без соблюдения масштаба. Линии связи проводят толщиной 0,3–0,4 мм, стараясь избегать большого числа их пересечений и изломов. Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм [1].

Составляя схему устройства, следует придерживаться общепринятого правила: вход – слева, выход – справа. Основное направление прохождения сигнала – слева направо и сверху вниз. Возле каждого элемента (желательно сверху или справа) должно быть указано его позиционное обозначение (R1, R2, C1, C2 и т.д.). Нумеровать элементы необходимо слева направо – сверху вниз. Знаки регулирования (наклонная линия со стрелкой у конденсаторов переменной емкости, наклонная линия с засечкой на верхнем конце у подстроечных конденсаторов, подстроечников катушек индуктивности и наклонная линия с изломом внизу у нелинейных резисторов – терморезисторов, варисторов и т.д.), а также знаки фотоэлектрического эффекта (наклонные стрелки, направленные слева сверху – вниз направо в УГО фоторезистора, фотодиода и т.п. приборов) и оптического излучения (наклонные стрелки, направленные слева снизу – вверх направо в УГО светодиодов) не должны изменять своей ориентации при повороте основного символа на любой угол. Иными словами, символ, например, диода в УГО светодиода может быть изображен горизонтально, вертикально, катодом влево, вправо, вверх, вниз (как удобно для построения схемы), но стрелки оптического излучения во всех случаях должны быть направлены от него вверх направо.

Число полуокружностей, составляющих символы катушки индуктивности, входящей в колебательный контур, и дросселя, установлено равным четырем, а в символах обмоток асинхронного электродвигателя – трем. В катушках связи и обмотках трансформаторов их число не нормируется и может быть любым (по необходимости). Жирной точкой у одного из выводов обозначают начало обмотки.

Линии-выводы эмиттера и коллектора в УГО биполярного транзистора (за пределами окружности, символизирующей его корпус) можно располагать как перпендикулярно линии-выводу базы, так и параллельно ей – в некоторых случаях это позволяет сделать схему компактнее. Излом линии электрической связи, идущей к базе такого транзистора, а также к символам затвора, истока и стока полевого транзистора, допускается на расстоянии не менее 5 мм от окружности-корпуса (в масштабе 1 : 1). При начертании УГО транзисторов разрешается не использовать окружность, символизирующую корпус транзистора.

На схемах допускается помещать различные технические данные, характеризующие схему в целом и отдельные ее элементы. Эти сведения, а также перечень элементов принципиальной схемы помещают около графических обозначений или над основной надписью (рис. 1.4) [1].

Зона	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание

Рис. 1.4. Таблица перечня элементов

Все элементы или устройства, изображенные на схеме, должны иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, состоящее из буквы и порядкового номера. Буквенные обозначения: R – резистор; C – конденсатор; L – катушка индуктивности; G – генератор; VD – диод; VT – триод полупроводниковый; T – трансформатор и т.д. Позиционные обозначения наносят рядом с условным знаком справа от него или под ним. Порядковые номера присваиваются в соответствии с последовательностью расположения элементов сверху вниз и слева направо.

Элементы записываются в таблицу (см. рис. 1.4) группами в порядке, определенном ГОСТ 2.702–75: вначале резисторы, потом конденсаторы, катушки индуктивности и т.д.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электроника – это область науки и техники, занимающаяся созданием и практическим использованием различных устройств и приборов, принцип действия которых основан на изменении концентрации и перемещении заряженных частиц в кристаллических телах [2].

Электроника находит широкое применение во всех областях науки и техники, что обусловлено высокой чувствительностью, быстродействием, универсальностью и малыми габаритными размерами электронных устройств. Высокая чувствительность обеспечивается различными усилительными схемами. Быстродействие электронных устройств определяется самой природой электрических колебаний. Универсальность электроники обусловлена возможностью преобразования всех видов энергии (механической, тепловой, световой, звуковой и т.д.) в энергию электрических колебаний. Габаритные размеры электронных устройств постоянно уменьшаются с совершенствованием технологии их изготовления. Особенно нагляден процесс миниатюризации на примере развития электронных вычислительных машин. Поколение ЭВМ уменьшались в размерах с одновременным увеличением мощности и быстродействия по мере революционных преобразований в технике и технологии электроники. Так, лампы были заменены полупроводниковыми приборами, последние в свою очередь интегральными микросхемами и т.д. Сегодня в булавочную головку можно упрятать схему, реализация которой полвека назад требовала нескольких десятков громоздких шкафов.

С развитием электроники и появлением широкого выбора интегральных схем конструирование электронной аппаратуры, по сути, сводится к синтезу разрабатываемой схемы из отдельных каскадов, собранных из типовых микроузлов. При необходимости добавляются отдельные узлы на дискретных компонентах или разрабатываются микросхемы частного применения. Эффективное применение интегральных микросхем невозможно без знания принципов действия наиболее распространенных компонентов электронной аппаратуры: резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и т.п.

2.1. Резисторы

Резистор (сопротивление) – элемент, осуществляющий регулирование и распределение электрической энергии между цепями и каскадами схем.

В зависимости от назначения резисторы подразделяются на две группы: общего назначения (номиналы от 1 Ом до 10 МОм, мощностью до 100 Вт) и специального назначения, которые подразделяются:

- на высокоомные (номиналы более 10 МОм);
- высоковольтные (максимальное рабочее напряжение до 10 кВ);
- высокочастотные, имеющие малые собственные емкости и индуктивности;
- прецизионные ($R = 0,1\text{--}10$ МОм с технологическим допуском $\pm 0,001\text{--}1\%$; мощностью до 2 Вт).

Переменные резисторы подразделяются на подстроечные и регулировочные. Подстроечные резисторы предназначены для одновременной регулировки параметров электронных устройств (ЭУ) на заключительных стадиях производства, после ремонта или проведения регламентных работ и рассчитаны на проведение подстройки электрических режимов (износоустойчивость до 1000 циклов), а регулировочные – для проведения многократных регулировок при оперативной регулировке параметров ЭУ в процессе их эксплуатации (износоустойчивость более 5000 циклов). В зависимости от характера изменения их сопротивлений при перемещении подвижной части они делятся на резисторы с линейной **А**, логарифмической **Б**, обратнологарифмической **В** и другими функциональными характеристиками.

Резисторы общего назначения используются в качестве различных нагрузок, делителей, элементов фильтров, шунтов, в цепях формирования импульсов и т.д. Следует учитывать, что резисторы выпускаются с определенным дискретным набором номинальных значений сопротивления и рассеиваемой мощности. После расчета точного значения сопротивления необходимо выбрать ближайшее номинальное значение сопротивления и большее, чем расчетное, значение рассеиваемой мощности и напряжения.

Прецизионные резисторы (с технологическим допуском менее 1 %) применяются в основном в измерительных приборах и системах автоматики. Высокочастотные резисторы используются в высокочастотных цепях, в кабелях и волноводах в качестве согласующих

нагрузок, направленных ответвителей и т.п. Высоковольтные резисторы применяются в качестве делителей напряжений, поглотителей, в зарядных и разрядных высоковольтных цепях и т.п.

При курсовом проектировании рекомендуется применять резисторы постоянные общего назначения. Резисторы специальные (прецизионные, высокочастотные, высокоомные, высоковольтные и др.) следует применять в тех случаях, когда значения соответствующих параметров резисторов общего назначения оказываются недостаточными, например, малы точности сопротивления и т.д.

Допускаемые отклонения сопротивления от номинального значения следует выбирать с учетом чувствительности к нему выходных параметров, принимая при этом во внимание требование ограничения существующей номенклатуры резисторов.

Переменные резисторы следует применять по назначению. Подстроечные резисторы, подвижная система которых рассчитана на небольшое число перемещений (до 1000 циклов), – только в качестве подстроечных; регулировочные, масса, габариты и стоимость которых выше, – только в качестве регулировочных.

На практике, кроме линейных, также используются термозависимые (терморезисторы) и нелинейные (варисторы) резисторы.

Терморезисторы выполняются или из металла, сопротивление которого линейно меняется при изменении температуры (медь, платина), или на основе полупроводников. Нелинейные резисторы, сопротивление которых зависит от напряженности электрического поля, называются варисторами.

Изменение сопротивления вещества под действием инфракрасного, видимого или ультрафиолетового излучения используется в фоторезисторах.

Основными параметрами резисторов являются номинальное сопротивление, предельное рабочее напряжение, температурный коэффициент сопротивления и номинальная мощность.

2.2. Конденсаторы

Конденсаторы, как и резисторы, являются одними из наиболее массовых элементов электронной цепи и предназначены для накопления электрического заряда. Электрические характеристики, конструкция и область применения зависят от типа диэлектрика между

обкладками конденсатора. По виду диэлектрика конденсаторы постоянной емкости можно подразделить на пять групп: с газообразным диэлектриком (воздушные, газовые); с жидким диэлектриком; с твердым неорганическим диэлектриком (керамические, слюдяные); с твердым органическим диэлектриком (бумажные, фторопластовые, полиэтиленфталатные) и с оксидным диэлектриком (электrolитические, оксидно-металлические).

Способность конденсатора накапливать электрические заряды характеризует его емкость C . К основным параметрам также относятся номинальное напряжение, технологический разброс параметров, температурный коэффициент емкости, тангенс диэлектрических потерь и т.д.

Переменные и подстроечные конденсаторы выполняются с механически или электрически изменяемой емкостью либо посредством изменения взаимного перекрытия пластин, составляющих обкладки конденсатора, либо при введении диэлектриков в зазор между подвижными и неподвижными обкладками. В отличие от переменных подстроечные конденсаторы не рассчитаны на долговременную работу в режиме регулировки.

В электронике кроме линейных некоторое распространение получили нелинейные конденсаторы, у которых емкость зависит от напряженности электрического поля. Нелинейные конденсаторы, выполненные на основе сегнетоэлектриков (керамических диэлектриков со спонтанной поляризацией), получили название варикондов.

При разработке и выполнении электрической схемы тип конденсатора выбирают по совокупности значений его номинальных емкости и рабочего напряжения. Если конденсатор выбирают для работы в цепи переменного и импульсного тока, то принимают во внимание его тангенс угла потерь.

Допускаемое отклонение емкости от номинального значения следует выбирать с учетом чувствительности к нему выходных параметров ЭУ.

Для большинства типов конденсаторов в справочниках указывают номинальное рабочее напряжение постоянного тока. Эффективное значение переменного напряжения на конденсаторе должно быть в полтора-два раза меньше указанного рабочего напряжения для постоянного тока.

При работе конденсаторов в цепи пульсирующего тока сумма постоянного напряжения и амплитудного значения переменного напряжения на нем не должна превышать его номинального рабочего напряжения.

Не следует без необходимости применять конденсатор с номинальным напряжением, значительно превышающим рабочее, так как при этом ухудшаются массогабаритный и стоимостный показатели изделия.

Оксидные (устаревшее обозначение – электролитические) конденсаторы изготавливаются двух типов: полярные и неполярные. Полярные конденсаторы можно устанавливать лишь в тех цепях, в которых постоянная составляющая напряжения на конденсаторе будет больше амплитуды переменной составляющей. На неполярные конденсаторы это ограничение не распространяется. Следует учитывать, что оксидные конденсаторы характеризуются достаточно высоким эквивалентным внутренним сопротивлением (ESR) на высоких частотах. Для устранения этого недостатка их обычно шунтируют безындуктивными конденсаторами – керамическими или стеклокерамическими. Часто достаточно емкости шунтирующего конденсатора 10–68 нФ.

2.3. Выбор номинала резисторов и конденсаторов

Цифровые значения номиналов резисторов выбираются из стандартизированных дискретных рядов E3, E6, E12, E24, E48, E96, E192. Цифра после буквы E соответствует числу номинальных значений в каждом десятичном интервале.

Например, для рядов E3–E48:

E3100, 220, 470
E6100, 150, 220, 330, 470, 680
E12100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 560, 680, 820
E24100, 110, 120, 130, 150, 160, 180, 200, 220, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 430, 470, 510, 560, 620, 680, 750, 820, 910
E48100, 105, 110, 115, 121, 127, 133, 140, 147, 154, 162, 169, 178, 187, 196, 205, 215, 226, 237, 249, 261, 274, 287, 301, 316, 332, 348, 365, 383, 402, 422, 442, 464, 487, 511, 536, 562, 590, 619, 649, 681, 715, 750, 787, 825, 866, 909, 953

Каждый номинальный ряд представляет элементы с одинаковым технологическим допуском, например, элементы с допуском $\pm 30\%$ составляют ряд E3, элементы с допуском $\pm 20\%$ – ряд E6, элементы с допуском $\pm 10\%$ – ряд E12 и т.д. Номинальные значения в ряду присваиваются по принципу равноудаленности с примыканием друг к другу «хвостов» распределений значений сопротивлений резисторов (конденсаторов), обусловленных технологическим разбросом параметров. При этом соблюдается равенство отношений двух соседних номинальных значений в одном ряду.

Номиналы сопротивлений в каждой декаде соответствуют числам в ряду, умноженным на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число или нуль. Номинал в обозначении элемента кодируется двумя или тремя цифрами и буквой. Буква обозначает множитель и указывает положение десятичной запятой. Множители $1, 10^3, 10^6, 10^9, 10^{12}$ обозначаются, соответственно, буквами E (R), K (K), M (M), G (G), T (T). Например, обозначение 1M5 соответствует резистору с номиналом 1,5 МОм. При обозначении сопротивлений до 1000 Ом буква может отсутствовать, т.е. 180 обозначает 180 Ом. Последний символ в обозначении указывает класс точности резистора. Буквы кода допустимых отклонений приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Коды допустимых отклонений от номинального значения

Буква	E	L	R	P	U	X	B	C	D	F	G	J	K	M	N
Допуск, %	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2	5	10	20	30

Таким образом, на резисторе номиналом 1,5 кОм с допуском $\pm 10\%$ будет нанесено обозначение 1K5K.

Если корпус достаточно большой, то на нем может быть нанесена дополнительная информация – тип резистора, максимальная мощность, дата выпуска. Например, C1-4-2 – резистор типа C1-4 мощностью 2 Вт. Дата выпуска на отечественных резисторах обозначается месяцем и годом выпуска, например, 0692 – июнь 1992 года. На зарубежных элементах (не только резисторах) часто использует-

ся другой формат даты – год и неделя, например, 0347 – 47 неделя 2003 года.

При выборе типов элементов необходимо обеспечить коэффициент надежности не менее 20 %, т.е. номинальная мощность резистора должна не менее, чем на 20 % превышать максимальную мощность, рассеиваемую данным резистором в схеме, а номинальное напряжение конденсатора должно не менее, чем на 20 % превышать максимальное напряжение на конденсаторе.

2.4. Катушки индуктивности

Катушка индуктивности предназначена для создания индуктивного сопротивления переменному току. Способность катушки создавать магнитное поле характеризуется индуктивностью, основной единицей измерения которой является генри (Гн).

Катушки индуктивности имеют, как правило, цилиндрическую или прямоугольную форму витков, от количества которых зависит индуктивность катушки. Регулирование параметров магнитопровода осуществляется с помощью подвижного сердечника, введение которого может увеличивать (ферромагнетик – сталь) или уменьшать (диамагнетик – латунь, медь) индуктивность катушки. К основным параметрам катушки относятся индуктивность L , добротность Q и температурный коэффициент индуктивности TK_L .

2.5. Трансформаторы

Трансформаторами называются статические устройства, обеспечивающие преобразования параметров переменных напряжений и токов. Трансформаторы позволяют:

- изменять уровни и фазу напряжений (токов);
- согласовывать сопротивления источника сигнала и нагрузки;
- разделять цепи по постоянному току;
- изменять форму переменного напряжения (тока).

В настоящее время преимущественно применяются электромагнитные трансформаторы, принцип работы которых основан на прямом и обратном преобразовании энергии электрического поля в энергию магнитного поля. Другими словами, осуществляется передача электрической энергии из одной цепи в другую. Такой трансформа-

тор состоит из ферромагнитного магнитопровода и расположенных на нем первичных W_1 и вторичных W_2 обмоток (W – число витков).

Различают трансформаторы: питания электронной аппаратуры; малой мощности; преобразования напряжения электрической сети в напряжения, необходимые для питания электронных устройств; сигнальные, предназначенные для точной передачи, преобразования и запоминания электрических сигналов; импульсные.

Свойства трансформатора во многом определяются магнитными свойствами материала магнитопровода, который должен иметь минимальное магнитное сопротивление. Материал магнитопровода характеризуется следующими основными параметрами: индукцией насыщения B_s , остаточной индукцией B_r , магнитной проницаемостью $\mu = B / H$ и площадью петли гистерезиса.

Основными параметрами трансформаторов являются:

- номинальное напряжение U_1 и ток I_1 в первичной обмотке;
- номинальное напряжение U_2 и ток I_2 во вторичной обмотке;
- номинальная мощность (сумма мощностей вторичных обмоток);
- коэффициент трансформации ($n = W_1 / W_2$);
- частота питания.

2.5. Полупроводниковые диоды

Диоды, транзисторы, тиристоры и другие электронные компоненты, которые будут рассматриваться далее, относятся к полупроводниковым приборам. Характерное отличие полупроводников от проводников – металлов – в том, что в полупроводниках носители тока возникают лишь вследствие поглощения полупроводником энергии внешнего источника (тепловой, электрической и т.д.). При этом увеличение интенсивности энергии приводит к увеличению проводимости полупроводников уменьшению производительности и металлов. В металлах дополнительная энергия не увеличивает число свободных носителей заряда, но приводит к увеличению интенсивности процессов их рассеяния.

В электрических схемах применяются несколько типов диодов: выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы и т.д. Необходимо применять диоды по указанному в справочнике назначению, например, в выпрямителях следует применять выпрямительные диоды, в импульсных устройствах – импульсные диоды и т.д.

Обратное напряжение на диоде и прямой ток через него (в том числе импульсный) не должны превышать 70–80 % от максимально допустимых значений. Рабочая частота не должна превышать указанного в справочнике предельного значения.

Отметим, что масштабы напряжений и токов для прямой и обратной ветвей вольт-амперной характеристики (ВАХ) могут отличаться на несколько десятичных порядков. Так, прямое падение напряжения на диоде зависит от материала, из которого изготовлен диод, и составляет для Si – около 0,75 В, для Ge – 0,3 В, для GaAs – 1,2 В, для GaP, InP диодов (светодиоды видимого спектра излучения) – от 2 до 3 В. Допустимый прямой ток для диодов может составлять величину от мили- до килоампер. Обратное пробивное напряжение может находиться в диапазоне от нескольких десятков вольт до десятков киловольт. При этом величина обратного тока через диод существенно меньше допустимой величины прямого тока. Так, для маломощных диодов с допустимой величиной прямого тока около нескольких десятков миллиампер обратный ток может составлять единицы или доли наноампер.

У полупроводниковых диодов существует сильная зависимость характеристик от температуры (энергия внешнего источника). При поддержании постоянной величины прямого тока через диод прямое падение напряжения на диоде линейно изменяется с коэффициентом около 2 мВ/°С. При увеличении температуры прямое падение напряжения на $p-n$ -переходе диода (транзистора) уменьшается. Это свойство не только мешает в работе, в некоторых случаях оно используется при создании чувствительных элементов температурных датчиков. При увеличении температуры на каждые 10 градусов обратный ток через $p-n$ -переход увеличивается в два раза.

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока в постоянный; к ним не предъявляются специальные требования к быстродействию и стабильности. К основным параметрам выпрямительных диодов относятся средний выпрямительный ток $I_{вп.ср}$; средний обратный ток $I_{обр.ср}$; максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.мах}$; среднее прямое напряжение $U_{пр.ср}$.

Высокочастотные диоды используются для выпрямления токов в широком диапазоне частот (до сотен мегагерц), модуляции, детектирования и других нелинейных преобразований электрических

сигналов. Они характеризуются следующими параметрами: падением напряжения на диоде, обратным током и сопротивлением переменному току, максимальной рабочей частотой, паразитной емкостью.

Импульсные диоды используются в качестве ключевых элементов и обеспечивают переходные процессы в доли микросекунд. Они имеют малое значение барьерной емкости. Дополнительным параметром является время рассасывания при выходе диода из включенного состояния в закрытое.

Стабилитроны используются для стабилизации напряжения в схеме при изменении тока, протекающего через нагрузку и стабилитрон. Их работа основана на использовании явления обратимого электрического пробоя p - n -перехода при включении диода в обратном направлении. Механизм пробоя может быть туннельным, лавинным или смешанным. Основные параметры стабилитронов: напряжение стабилизации $U_{ст}$ в рабочей точке, для которой задается дифференциальное сопротивление стабилитрона, минимальный $I_{ст, min}$ и максимальный $I_{ст, max}$ токи стабилизации. При использовании в конкретной схеме необходимо учитывать температурный коэффициент напряжения стабилизации, а так же значения минимального и максимального тока стабилизации и максимальной рассеиваемой мощности.

Варикапы – это полупроводниковые приборы, предназначенные для использования в качестве емкости, управляемой электрическим напряжением. Варикап работает при обратном напряжении, приложенном к p - n -переходу.

Туннельные и обращенные диоды – это полупроводниковые приборы, на вольт-амперной характеристике которых имеются характерные участки, отличающие их от обычных диодов. Так, у туннельных диодов на ВАХ имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, а у обращенного диода – горизонтальный участок.

Светодиоды представляют собой излучающий p - n -переход, в котором вследствие рекомбинации электронов и дырок происходит выделение кванта света – фотона. Излучение возможно только в определенном диапазоне длин волн оптического излучения с яркостью свечения, пропорциональной числу зарядов, инжектированных p - n -переходом. Существуют светодиоды инфракрасного и видимого оптического излучения (красные, желтые, зеленые, голубые, белые).

Фотодиоды имеют структуру обычного $p-n$ -перехода, в котором вследствие оптического возбуждения создается неравновесная концентрация носителей заряда и возникает фототок. Глубина залегания $p-n$ -перехода должна обеспечивать прохождение света к нему без существенного поглощения в теле полупроводника, а корпус фотодиода имеет оптическое окно.

Диоды Шоттки имеют структуру «металл–полупроводник». Так как при их работе исключаются процессы рекомбинации носителей заряда разных знаков, то они имеют большее быстродействие, чем диоды на основе $p-n$ -перехода, но характеризуются меньшими предельными значениями допустимого обратного напряжения.

2.7. Транзисторы

Полупроводниковые транзисторы предназначены для усиления или коммутации электрических сигналов. При этом энергия источника питания преобразуется в энергию выходного сигнала, параметры которого пропорциональны параметрам входного сигнала. В зависимости от принципа действия и конструктивных признаков транзисторы подразделяются на два больших класса: биполярные и полевые.

2.7.1. Биполярные транзисторы

Биполярными транзисторами называют полупроводниковые приборы с двумя или несколькими взаимодействующими $p-n$ -переходами и тремя или более выводами, усилительные свойства которых обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. В зависимости от типа электропроводности наружных слоев различают транзисторы $p-n-p$ - и $n-p-n$ -типов. Наружные слои транзистора называют эмиттером (Э) и коллектором (К), а внутренний – базой (Б).

В результате снижения потенциального барьера дырки из области эмиттера диффундируют через $p-n$ -переход в область базы (инжекция дырок), а электроны – из области базы в область эмиттера. Дырки, инжектируемые в базу, создают вблизи $p-n$ -перехода электрический заряд, который компенсируется электротоками, входящими из внешней цепи от источника $U_{ЭБ}$ и создающими электрический ток $I'_Б$, направленный из базы.

Вследствие малой толщины базы (менее длины свободного пробега носителей заряда – условие взаимодействующих p - n -переходов), дырки, инжектированные в нее, не успевают рекомбинировать с электронами и, попав вблизи коллекторного p - n -перехода в уско-ряющее поле, втягиваются (экстрагируют) в коллектор. Электроны, по количеству равные числу дырок, ушедших через коллекторный переход, уходят через базовый вывод, создавая ток I'_B , направленный в базу транзистора.

Ток коллектора I_K , вызванный инжекцией неосновных носителей заряда через эмиттерный переход:

$$I_K = \alpha \cdot I_E,$$

где α – коэффициент передачи эмиттерного тока.

Транзисторы характеризуются эксплуатационными параметрами, предельные значения которых указывают на возможности их практического применения. Основными эксплуатационными параметрами являются максимально допустимые ток I_{Kmax} (I_{Cmax}), напряжение $U_{кэmax}$ ($U_{сumax}$) и рассеиваемая выходным электродом мощность $P_{кmax}$ ($P_{сmax}$). Не допускается превышение эксплуатационных параметров, указанных в справочнике.

Транзисторы имеют буквенно-цифровое обозначение, например: 2П904Б – кремниевый полевой мощный высокочастотный транзистор, порядковый номер разработки 4, группа Б.

По мощности транзисторы подразделяются на маломощные ($P_{max} \leq 0,3$ Вт), средней мощности ($0,3$ Вт $< P_{max} < 1,5$ Вт) и большой мощности ($P_{max} \geq 1,5$ Вт).

По частоте транзисторы бывают низкочастотные ($f \leq 3$ МГц), средней частоты (3 МГц $< f \leq 30$ МГц) и высокочастотные ($f > 30$ МГц).

В справочнике приводятся значения параметров транзисторов для соответствующих оптимальных или предельных режимов эксплуатации. Рабочий режим транзистора в проектируемом ЭУ часто отличается от указанного в справочнике. В таком случае необходимо по имеющимся в справочнике характеристикам и формулам, а также методом интерполяции определить значения параметров транзистора, соответствующие выбранному режиму.

Применение высокочастотных транзисторов в низкочастотных электронных устройствах нежелательно, так как они дороги, склонны к самовозбуждению и развитию вторичного пробоя, а также обладают меньшими эксплуатационными запасами.

Не следует применять мощные транзисторы там, где можно применить маломощные, так как при использовании мощных транзисторов в режиме малых токов их коэффициент передачи по току мал и сильно зависит как от тока, так и от температуры окружающей среды. Кроме того, ухудшаются массогабаритные и стоимостные показатели ЭУ.

Необходимо применять транзистор минимально возможный для данных конкретных условий мощности, но так, чтобы он при этом не перегревался. Лучше применить транзистор малой мощности с небольшим теплоотводом, чем большой мощности без теплоотвода. Недопустимо также одновременное достижение двух и более предельных значений режимов работы.

Если нет особых причин для применения германиевого транзистора, лучше использовать кремниевый. Кремниевые транзисторы лучше работают при высоких температурах, имеют более высокие пробивные напряжения и меньшие обратные токи.

Коэффициент передачи тока зависит от тока коллектора и при некотором его значении обычно достигает максимума. Для хорошего усиления на низких частотах желательно выбирать это максимальное значение или близкое к нему по приводимым в справочнике графикам. В других случаях коэффициент передачи тока следует принимать равным указанному в справочнике типового значения или среднему арифметическому от минимального и максимального значения параметра. В ряде случаев необходимо использовать минимальное значение параметра.

В любом случае следует учитывать, что параметры как транзисторов, так и других полупроводниковых элементов, в том числе интегральных схем, характеризуются большим технологическим разбросом и сильной зависимостью от температуры (включая саморазогрев), напряжения питания и токов через электроды прибора, величины сигнала (малосигнальный и сильносигнальный режимы).

В зависимости от того, какой электрод транзистора является общим для входного и выходного сигналов (входного сигнала и нагрузки), различают три схемы включения транзистора: с общей базой (**ОБ**), общим эмиттером (**ОЭ**) и общим коллектором (**ОК**).

Схема с **ОЭ** характеризуется большими коэффициентами усиления тока и напряжения, имеет средние величины входного и выходного сопротивлений. Используется наиболее часто.

Схема с **ОБ** обеспечивает высокую стабильность в работе, характеризуется малой емкостью обратной связи, низким входным и высоким выходным сопротивлениями, имеет высокий коэффициент усиления по напряжению и близкий к единице коэффициент передачи по току. Используется для построения усилителей высокой частоты и схем генераторов тока.

Схема с **ОК** обладает наиболее высоким входным и низким выходным сопротивлением. Имеет высокий коэффициент усиления по току и близкий к единице коэффициент передачи напряжения. Поэтому схема получила название «повторитель напряжения». Используется во входных и выходных каскадах усилителей для согласования сопротивлений, в схемах стабилизаторов напряжения и источниках опорных напряжений.

Фототранзисторы, применяемые в качестве фотоприемников, можно рассматривать как комбинацию фотодиода и транзистора. Характеристика фототранзистора аналогична фотодиоду, но соответствующие токи усилены.

2.7.2. Полевые транзисторы

Полупроводниковые приборы, работа которых основана на модуляции сопротивления полупроводникового материала поперечным электрическим полем, называют полевыми транзисторами. Полевые транзисторы бывают двух видов: с управляющим $p-n$ -переходом и МДП-транзисторы, со структурой металл–диэлектрик–полупроводник. Частным случаем МДП-транзистора, когда в качестве диэлектрика используется оксид кремния, является транзистор со структурой металл–оксид–полупроводник (МОП-транзистор). В свою очередь, МДП-транзисторы бывают со встроенным и индуцированным каналом [5].

Транзистор с управляющим $p-n$ -переходом представляет собой пластину из полупроводникового материала, имеющего электропроводность p - или n -типа, от концов которой сделаны два вывода – электроды стока (**С**) и истока (**И**). Вдоль пластины выполнен электрический переход с третьим выводом – затвором (**З**). Область под

электрическим переходом носит название канала, сопротивление которого зависит от напряжения на затворе. Таким образом, работа полевого транзистора с управляющим p - n -переходом основана на изменении сопротивления этого канала под действием приложенного к затвору обратного напряжения.

МДП-транзисторы могут быть двух типов: транзисторы со встроенными каналами, создаваемыми при изготовлении, и транзисторы с индуцированными каналами, возникающими под действием напряжения, приложенного к управляющим электродам.

У МДП-транзисторов, в отличие от транзисторов с управляющим p - n -переходом, металлический затвор изолирован от полупроводника слоем диэлектрика. Существенным преимуществом МДП-транзистора является его высокое входное сопротивление (до 10^{14} Ом) по сравнению с транзистором с управляющим p - n -переходом (около 10^8 Ом).

Основными параметрами полевых транзисторов являются: пороговое напряжение (напряжение отсечки), сопротивление сток–исток в открытом состоянии, начальный ток стока, крутизна сток–затворной характеристики, выходное сопротивление, сопротивление в закрытом состоянии и т.д.

2.8. Тиристоры

Тиристорами называются полупроводниковые приборы с тремя и более p - n -переходами, предназначенные для использования в качестве электронных ключей в схемах переключения электрических токов [5]. В зависимости от конструктивных особенностей и свойств тиристоры делят на диодные и триодные. Среди диодных тиристоров различают тиристоры, запираемые в обратном направлении, проводящие в обратном направлении и симметричные. В отличие от диодных триодные тиристоры позволяют осуществлять управление по аноду или катоду запирающим или проводимостью в обратном направлении.

В отличие от транзисторов в тиристорах отсутствует пропорциональная связь между входным и выходным сигналами. Тиристоры относят к приборам с внутренней положительной обратной связью, а их ВАХ имеет S-образный вид.

Фототиристоры используются для коммутации световым сигналом электрических сигналов большой мощности.

К основным параметрам тиристоров относятся напряжение переключения, максимальный ток во включенном состоянии, запирающее напряжение, время включения и выключения и т.д.

Существует большое число разновидностей рассмотренных приборов и множество типов полупроводниковых приборов, имеющих ограниченное или специальное применение, например, однопереходные транзисторы или транзисторы с металлической сеткой на основе GaAs и др.

Структуры на основе полупроводниковых материалов широко используются для создания чувствительных элементов датчиков. В этом случае привлекательной является возможность совмещения чувствительного элемента со схемой предварительного усиления и обработки сигнала.

2.9. Интегральные микросхемы

Интегральная микросхема (ИМС) – функционально законченное миниатюрное электронное устройство, все компоненты которого выполнены в едином технологическом процессе и едином физическом объеме. Интегральные микросхемы – это микроэлектронные устройства, состоящие из множества элементов (резисторов, транзисторов, конденсаторов, диодов и т.д.), которые объединены конструктивно и электрически с помощью общей технологии в общий корпус и представляют собой единое целое. В настоящее время в больших интегральных схемах на одном кристалле может размещаться до нескольких сотен миллионов элементов, а технологический допуск при их изготовлении достигает величины 60 нм.

В зависимости от характера обрабатываемых сигналов ИМС бывают: цифровыми (триггеры, логические схемы, счетчики) и аналоговыми (усилители, преобразователи).

В зависимости от производственной технологии ИМС бывают:

- полупроводниковыми (биполярными или униполярными);
- многослойными (толсто- или тонкопленочными);
- гибридными (сочетание дискретных элементов с тонкопленочными), которые их называют чипами.

По степени интеграции (число элементов в кристалле) ИМС бывают:

- малой интеграции (до 100 элементов);
- средней интеграции (до 1000 элементов);

- большой интеграции (до 10 000 элементов);
- сверхбольшой интеграции (свыше 10 000 элементов).

В зависимости от рассеивания мощности ИМС бывают:

- маломощными (до 0,3 Вт);
- средней мощности (от 0,3 до 3 Вт);
- мощными (свыше 3 Вт).

По значению предельной частоты ИМС делятся на:

- низкочастотные (до 3 МГц);
- среднечастотные (от 3 до 30 МГц);
- высокочастотные (от 30 до 300 МГц);
- сверхвысокочастотные (свыше 300 МГц).

В настоящее время широко применяют ИМС большой и сверхбольшой степени интеграции. Самыми перспективными и сложными устройствами являются **микропроцессоры**. Микропроцессоры применяют при автоматическом управлении технологическими процессами, в контрольно-измерительной аппаратуре, в регулирующей и диагностической аппаратуре, бытовой аппаратуре и даже игрушках.

При использовании микросхем главным является строгое соблюдение режимов работы, рекомендованных в технических условиях для выбранной микросхемы. В первую очередь это относится к величине напряжения питания, допустимому сопротивлению нагрузки и диапазону температуры.

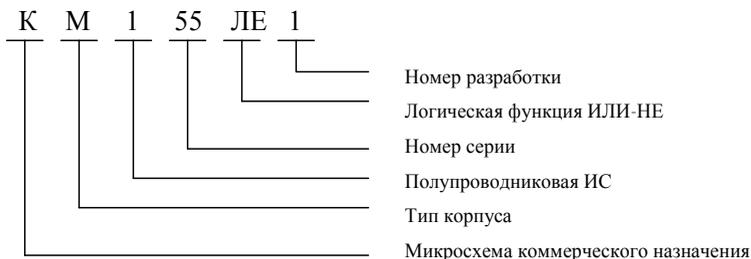
В большинстве реальных случаев при выполнении учебных проектов и разработке узлов общего назначения достаточно использования интегральных схем (ИС) общего применения.

В настоящее время используются цифровые ИМС, изготавливаемые по ТТЛ- или КМОП-технологии. Остальные типы цифровых ИС в курсовых проектах могут применяться только при специфических требованиях к параметрам устройства. Например, при тактовых частотах более 100 МГц рекомендуется использовать ИС типа ЭСЛ, для построения интерфейсных модулей целесообразно использование схем типа БиКМОП.

По ТТЛ-технологиям изготавливаются ИМС серии SN74 (отечественный аналог серия 155) и SN74L/54L (L – маломощная). Аналогами этих серий ИС являются отечественные ИМС серии 1533 и 136. ИМС по КМОП-технологии выпускаются сериями СД4000 (отечественный аналог – серии 164 и 176), СД4000А, СД4000В (отечественный аналог – серии 564, 561, 1561, 1W40XX), МС14000А и МС14000В, 54МС (аналог – серия 1564).

Отечественные ИМС имеют следующие обозначения:

Обозначения отечественных ИМС



Основные характеристики ИМС отечественного производства различных типов логик приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Обобщенные характеристики цифровых ИС различных типов

Параметры	ЭСЛ	ТТЛ	И ² Л	МДП	КМОП
U_n , В	-5	5	≈ 1	5-9	2-15
U^l , В	-0,7-0,9	$> 2,8$	$\approx U_n$	≥ 7	$\approx U_n$
U^p , В	-1,5-2	$\leq 0,5$	≈ 0	< 1	$\leq 0,2$
$t_{3, \text{cp}}$, нс	3-7	10-20	10-100	20-200	15
$P_{\text{пот. ср.}}$, мВт	10-20	10-15	0,01	0,4-5	≈ 0
$K_{\text{разв}}$	< 10	10	3-5	30-50	100

При выборе микросхем необходимо избегать использования ИС разных серий. Если это неизбежно, то лучше применять микросхемы с одинаковым напряжением питания. При использовании ИС различных типов в одном устройстве необходимо учитывать также нагрузочную способность различных элементов.

Основным элементом при конструировании электронных узлов обработки аналоговых сигналов являются операционные усилители (ОУ). В большинстве случаев возможно использование ОУ широкого применения. В табл. 2.3 приведены основные параметры следующих

характерных представителей типов ОУ: широкого применения (КР140УД6), прецизионный (КР140УД17), со сверхвысоким входным сопротивлением (КР544УД2), с усиленным выходом (К157УД1). Иногда могут понадобиться и другие типы ОУ, но в 80 % случаев при курсовом проектировании достаточен выбор одного из приведенных.

Таблица 2.3

Основные параметры операционных усилителей

Тип ОУ	Кэф. усиления, не менее	Напряжение смещения, не более, мВ	Входной ток, не более, нА	Граничная частота усиления, МГц	Минимальное сопротивление нагрузки, кОм	Максимальный выходной ток, мА	Примечание
К140УД6	50000	5	50	0,8	2	10	Общего применения
К544УД2	20000	30	0,5	0,8	2	10	Высокоомный
КР140УД17	200000	0,1	5	15	2	10	Прецизионный
К157УД1	50000	2	20	1,0	–	300	Средней мощности

3. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Графическая часть проекта – это совокупность конструкторской, технологической, ремонтной и другой документации, выполненной в виде чертежей, эскизов, схем, диаграмм, таблиц и форм, обеспечивающих наглядность проектного решения и необходимую иллюстративность. Чертежи объекта проектирования выполняются на отдельных листах, другие графические формы могут располагаться по ходу изложения в пояснительной записке. Графическая часть может быть выполнена в электронной форме.

Правила построения и выполнения принципиальных электрических схем установлены стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.701–76, ГОСТ 2.705–75). Чтобы правильно и быстро начертить принципиальную электрическую схему, необходимо знать некоторые основные правила. Все элементы ЭУ (электронные радиоэлементы (ЭРЭ) и ИМС) на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах ЕСКД. Условные графические обозначения изображают в размерах, установленных стандартами на условные графические обозначения. Допускается все обозначения пропорционально уменьшать или увеличивать, при этом расстояние (просвет) между двумя соседними линиями условного графического обозначения должно быть не менее 1 мм.

Для курсовых и других учебных проектов обычны масштабы: уменьшения – 1 : 2, увеличения – 2 : 1.

Линии связи должны иметь наименьшее количество изломов и пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями связи должно быть не менее 3 мм. Графические обозначения элементов следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи. Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1 мм в зависимости от формата схем и графических обозначений. Рекомендуемая толщина линии от 0,3 до 0,4 мм. В соответствии с ГОСТ 2.751–73 в узлах электрической связи необходимо показать точки в виде зачерненных кружков. При изготовлении схем, имеющих входы и выходы, как правило, входы располагают слева, а выходы – справа. Вычерчивая схему, около условных обозначений элементов следует предусматривать место для записи их позиционных обозначений. Для быстрого нахождения упоминаемых в тексте элементов на схеме принята позиционная система их нумерации (ГОСТ 2.702–75). По этой системе порядковые номера элементам схем следует присваивать, начиная с единицы в пределах каждого вида элементов (резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы и т.д.), которым на схеме дано одинаковое буквенное обозначение, например, R1, R2, R3, C1, C2, C3 и т.д. Порядковые номера присваивают в соответствии с последовательностью расположения элементов на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условными графическими обозначениями элементов с правой стороны или над ними. Около условных графических обозначений элементов

допускается указывать номиналы резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, а также маркировку электровакуумных, ионных, полупроводниковых приборов и микросхем.

Данные об элементах принципиальной схемы, полученные в результате электрического расчета и выбора типономиналов элементов, записывают в перечень элементов. Перечень выполняют в виде таблицы либо на листе ватмана с изображением полной принципиальной схемы, либо на листах формата А4 самостоятельным документом, который помещают в пояснительную записку.

Графическая часть проекта выполняется карандашом, тушью или с помощью компьютера (выводом через плоттер) на листах чертежной бумаги (с плотностью более 150 г/м²) формата А1 или А2 по ГОСТ 2.301–68 в масштабах 1 : 1; 1 : 2,5; 1 : 5; 2 : 1; 2,5 : 1; 4 : 1.

Каждый формат в чертежах оформляется рамкой, которая проводится сплошной толстой основной линией на расстоянии 5 мм от правой, нижней и верхней сторон края листа и на расстоянии 20 мм от левой стороны. Последнее поле используется для подшивки чертежей. В правом нижнем углу формата помещают основную надпись (угловой штамп), форма и состав которой определяются ГОСТ 2.104–68. Примеры оформления основной надписи в учебном проекте приведены на рис. 3.1. При этом устанавливается следующее соответствие полей основной надписи:

Разраб.....	студент
Пров.....	консультант проекта
Т. контр.....	руководитель проекта
Н. контр.....	консультант по нормоконтролю
Утв.....	заведующий кафедрой

Чертежи, содержащие упрощенные изображения (теоретические зависимости, временные диаграммы, программные алгоритмы, фотографии и т.д.), могут содержать упрощенную основную надпись (штамп) (рис. 3.2).

Примеры заполнения перечня элементов схемы и спецификации устройства приведены на рис. 3.3 и рис. 3.4 соответственно.

Код классификационной характеристики Номер конструктивного узла в изделии Код документа

БНТУ 416007.06.ЭЗ				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Иванов</i>			12.05.09
<i>Прое.</i>	<i>Воробей</i>			22.05.09
<i>Т. контр.</i>	<i>Антошин</i>			23.05.09
<i>Н. контр.</i>	<i>Ризноокая</i>			29.05.09
<i>Утв.</i>	<i>Зуйков</i>			11.06.09

Детектор объемный радиоволновой Схема электрическая принципиальная	<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
И			1:1
	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	
БНТУ 113015			

Номер группы

Рис. 3.1. Основная надпись. Форма 1. Пример заполнения

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Иванов</i>			12.05.09
<i>Прое.</i>	<i>Воробей</i>			22.05.09
<i>Т. контр.</i>	<i>Антошин</i>			23.05.09
<i>Н. контр.</i>	<i>Ризноокая</i>			29.05.09
<i>Утв.</i>	<i>Зуйков</i>			11.06.09

Рис. 3.2. Упрощенная основная надпись

185			
20	110	10	
15			
8			
<i>Поз. обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
	<i>Резисторы</i>		
R1 – R3	C2-23 – 0,125 - 100 кОм ± 5 % ГОСТ ...	3	
R4	C2-23 – 0,5 - 100 кОм ± 20 % ГОСТ ...	1	
	<i>Полупроводниковые приборы</i>		
VD1, VD2	KC 210 А ТУ ...	2	
	<i>Интегральные микросхемы</i>		
DA1, DA2	KP 140 УД 26 ТУ ...	2	

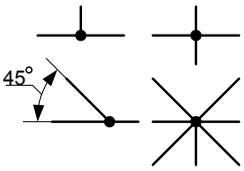
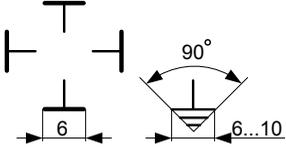
Рис. 3.3. Перечень элементов схемы

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
			<i>Схемы электрические</i>			
A3			ЦМОП 414618.003 ЭЗ	Блок измерительный	1	
A4			ЦМОП 414529.003 ЭЗ	Преобразователь	1	
A4			ЦМОП 414529.004 ЭЗ	Блок термокомпенсации	1	
A4			ЦМОП 414529.004 ЭЗ	Блок управления	1	
			<i>Перечень элементов</i>			
A4			ЦМОП 414618.003	Блок измерительный	1	
A4			ЦМОП 414618.005	Блок контроля	1	3 листа
A4			ЦМОП 414529.004	Блок управления	1	2 листа
A3			ЦМОП 414529.004.01	Плата коммутационная	1	Сторона А
A3			ЦМОП 414529.004.02	Плата коммутационная	1	Сторона Б
			ЦМОП 414311.012			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		
Разраб.	Иванов				<i>Лит</i>	<i>Лист</i>
Пров.	Петров				И	2
						3
Н. контр.	Ризнооквая				БНТУ 113019	
Утв.	Зуйков					
				ИКР - М		

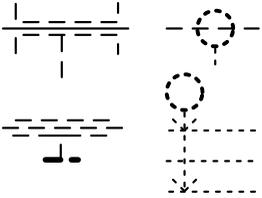
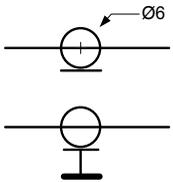
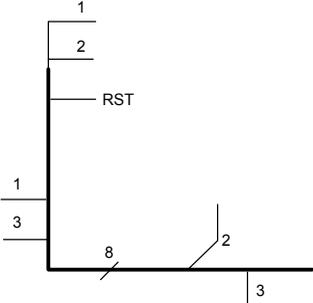
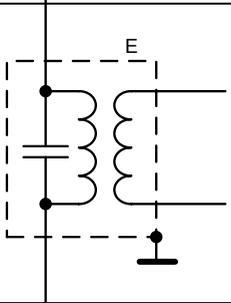
Рис. 3.4. Спецификация устройства

3.1. Условные графические обозначения основных элементов электронных устройств¹

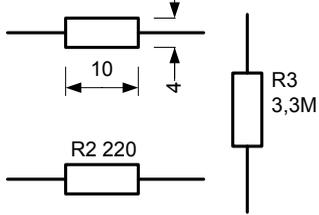
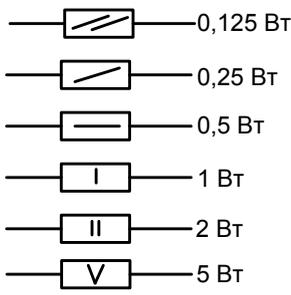
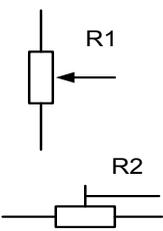
3.1.1. Проводные соединения

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Ответвления линий электрической связи. Практически все линии за небольшим исключением (поперечная линия УГО заземления, линия групповой связи и др.) выполняются на электрических схемах одной толщины. Точное значение толщины линий и размера точек соединения не оговаривается. Толщина линий должна быть соразмерна масштабу изображения, а точки соединения надежно различаться на фоне возможных колебаний толщины линий и случайных точек при выбранной технике выполнения чертежа</p>
	<p>Соединение с общим проводом (заземление). Для обозначения сигнального и защитного заземления используют различные УГО. Кроме того, есть и другие способы заземления (см. ГОСТ 2.721–74).</p>
<p>R 2,5...4</p>  <p>Линии электрической связи, выполненные скрученными проводами</p>	<p>Линия электрической связи, выполненная гибким проводом</p> <p>Линия электрической связи, выполненная скрученными проводами (свивкой)</p>

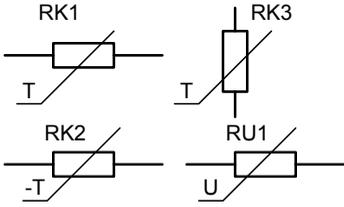
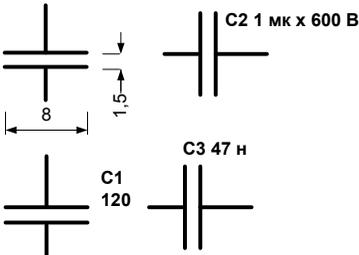
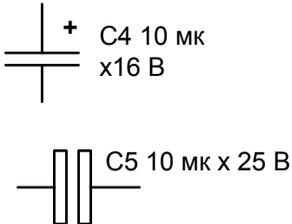
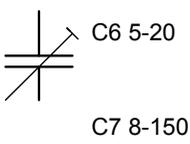
¹ В разделе приведены обозначения только основных базовых элементов. Изображения остальных элементов, например, подстроечного резистора с выключателем, могут быть получены из базовых. Обозначения остальных элементов см. в ГОСТ [13].

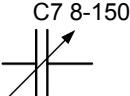
1	2
	<p>Экранированные линии связи</p>
	<p>Кабель коаксиальный. В качестве номинального значения элемента рядом с УГО коаксиального кабеля может быть использовано значение волнового сопротивления и/или задержки распространения сигнала</p>
	<p>Линия групповой связи (шина). Отводы линий могут быть выполнены не только под прямым углом, но и с наклоном кратным 45°. В этом случае, направление примыкания указывает на направление прохождения данной линии в линии групповой связи. Если на групповой линии имеется короткая косая засечка, то цифра рядом с ней отображает число линий в групповой линии, или разрядность цифровой шины.</p> <p>Вместо цифр могут использоваться буквы или функциональное назначение линии.</p> <p>Минимальное расстояние между соседними линиями, отходящими от групповой в разные стороны, должно быть не менее 2 мм (в масштабе 1 : 1). Линии, выходящие из конца линии групповой связи, изображают линиями нормальной толщины</p>
	<p>Экран группы элементов. При уточнении характера экранирования рядом с изображением линии экранирования проставляют букву Е (электростатическое) или М (электромагнитное)</p>

3.1.2. Пассивные элементы. Резисторы и конденсаторы²

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Резистор постоянный. УГО резисторов с указанием позиционного обозначения и номинала резистора (R2 – 220 Ом, R3 – 3,3 МОм)</p>
	<p>Резистор постоянный с указанием мощности. УГО резисторов с указанием максимально допустимой мощности (численное значение мощности на схеме не приводится). Допускается не указывать мощность резисторов в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – если этот параметр не существует; – если все резисторы в схеме имеют одну мощность; – если схема дополнена спецификацией элементов
	<p>УГО переменного (R1) и подстроечного (R2) резисторов. Переменные резисторы предназначены для оперативной регулировки параметров электронных устройств в процессе их эксплуатации. Подстроечные резисторы предназначены для единовременной регулировки параметров ЭУ на заключительных стадиях производства, после ремонта или проведения регламентных работ.</p> <p>Переменные и подстроечные резисторы могут быть подключены к схеме только двумя выводами. При этом третий вывод на УГО может не изображаться.</p>

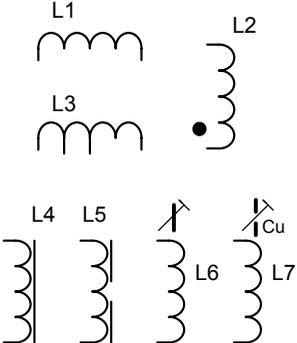
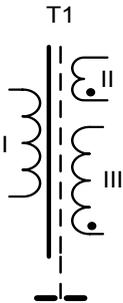
² Подробнее о резисторах и конденсаторах см. в ГОСТ 2.728–74.

1	2
	<p>Рядом с УГО переменного или подстроечного элемента может быть приведено функциональное назначение регулировки, например, «баланс»</p>
	<p>УГО нелинейных резисторов. RK1 – терморезистор с положительным температурным коэффициентом, RK2 – терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом; RU1 – варистор</p>
	<p>Конденсатор постоянной емкости. УГО конденсаторов с указанием позиционного обозначения и номинала конденсатора (C1 – 120 пФ, C2 – 1 мкФ, 600В, C3 – 0,047 мкФ = 47 нФ). Дополнительно может быть указана величина максимально допустимого напряжения (C2)</p>
	<p>УГО оксидных конденсаторов с указанием позиционного обозначения, полярности включения и номинала. C5 – неполярный оксидный конденсатор</p>
	<p>УГО подстроечных конденсаторов (C6) с указанием позиционного обозначения и номинала. Подстроечные конденсаторы предназначены для одновременной регулировки параметров ЭУ на заключительных стадиях производства, после ремонта или проведения регламентных работ.</p>

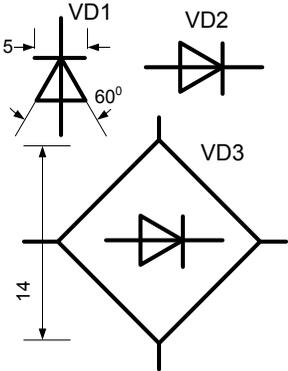
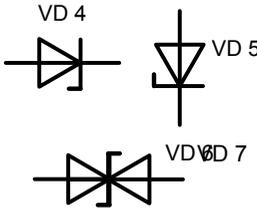
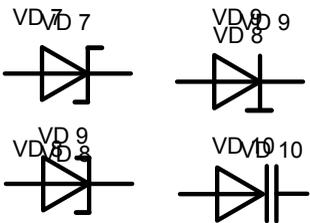
1	2
	<p>УГО переменных конденсаторов (С7). Переменные конденсаторы предназначены для оперативной регулировки параметров ЭУ в процессе эксплуатации ЭУ</p>

3.1.3. Пассивные моточные элементы

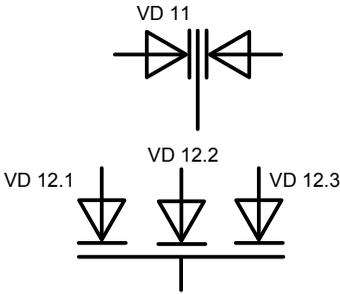
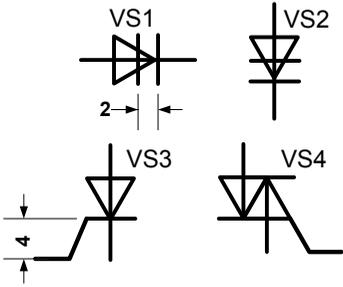
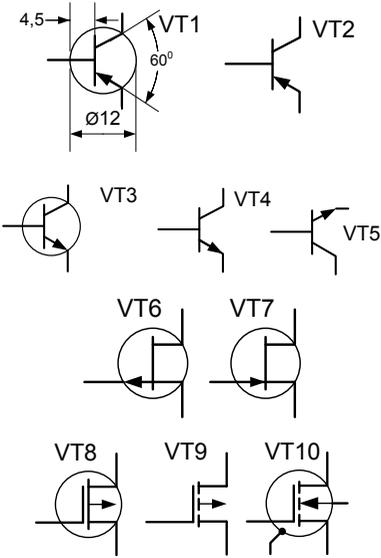
Число полуокружностей, составляющих символы катушки индуктивности, входящей в колебательный контур, и дросселя, установлено равным четырем, а в символах обмоток асинхронного электродвигателя – трем. В катушках связи и обмотках трансформаторов их число не нормируется и может быть любым (по необходимости). Жирной точкой у одного из выводов обозначают начало обмотки.

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>УГО катушек индуктивности. Вид линии сердечника указывает на его тип: ферромагнетик или диамагнетик.</p> <ul style="list-style-type: none"> L1 – без сердечника; L2 – с указанием начала обмотки; L3 – катушка с отводами; L4 – катушка с ферромагнитным сердечником; L5 – катушка с ферритовым сердечником; L6 – катушка с подстроечным сердечником; L7 – подстроечная катушка индуктивности с сердечником из меди
	<p>УГО трансформатора. Рядом с изображением обмоток могут быть указаны значения номинальных напряжений. Т1 – трансформатор с тремя обмотками и электростатическим экраном. Точками обозначены начала обмоток</p>

3.1.4. Полупроводниковые элементы³

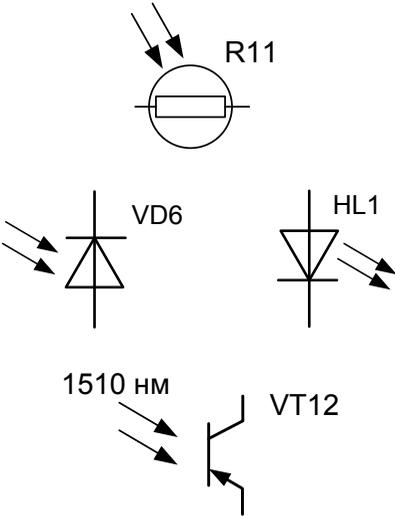
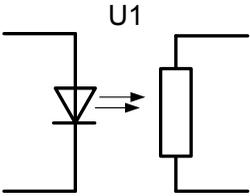
Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>УГО универсальных диодов и диодных мостов</p>
	<p>УГО полупроводниковых стабилитронов. VD6 – двуханодный стабилитрон VD9</p>
	<p>УГО диодов Шоттки, туннельного диода и варикапов. VD7 – диод Шоттки; VD8 – ограничительный диод; VD9 – туннельный диод; VD10 – варикап; VD11, VD12 – варикапные матрицы. Применяются в цепях с высокочастотными сигналами</p>

³ Разнообразие существующих приборов далеко не исчерпывается приведенными примерами, но все остальные УГО могут быть сконструированы с использованием общих принципов построения УГО и особенностей конструкции и принципов работы полупроводниковых приборов.

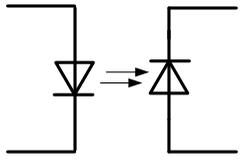
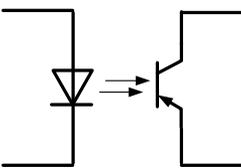
1	2
 <p>VD 11</p> <p>VD 12.1 VD 12.2 VD 12.3</p>	
 <p>VS1 VS2</p> <p>VS3 VS4</p>	<p>УГО переключательных полупроводниковых элементов.</p> <p>VS1, VS2 – диностор; VS3 – тринистор (тиристор); VS4 – симметричный тиристор (симистор)</p>
 <p>VT1 VT2</p> <p>VT3 VT4 VT5</p> <p>VT6 VT7</p> <p>VT8 VT9 VT10</p>	<p>Биполярные транзисторы.</p> <p>Расстояние на линии базы между выводами эмиттера и коллектора в УГО биполярных транзисторов – 4 мм. Допускается изображать без символа корпуса – окружности.</p> <p>VT1, VT2 – транзисторы $p-n-p$; VT3–VT5 – транзисторы $n-p-n$; VT6 – транзистор полевой с управляющим $p-n$-переходом и каналом p-типа, VT7 – с каналом n-типа;</p> <p>Транзисторы полевые с изолированным затвором.</p> <p>VT8 – со встроенным каналом p-типа; VT9 – с индуцированным каналом p-типа; VT10 – с индуцированным каналом n-типа и выводом от корпуса транзистора</p>

3.1.5. Оптоэлектронные приборы⁴

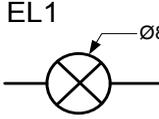
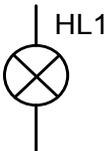
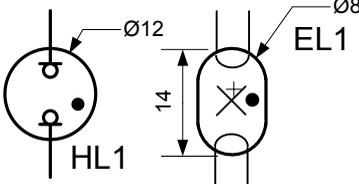
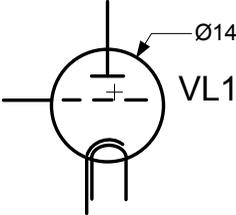
УГО оптоэлектронных приборов допускается изображать без символа корпуса

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Фоторезистор</p> <p>Фото- и светодиод</p> <p>Фототранзистор</p>
	<p>Оптрон резисторный</p>

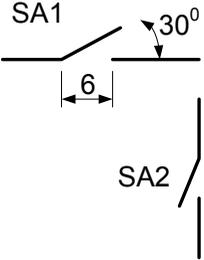
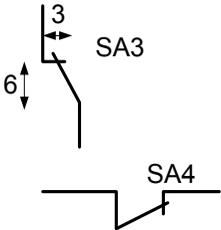
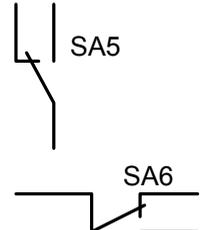
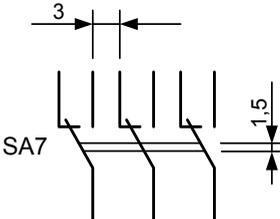
⁴ Кроме приведенных в качестве примера фотоприемников могут использоваться и другие приборы. В этом случае используется комбинированное УГО оптического воздействия и соответствующего прибора. Рядом со стрелкой оптического воздействия может стоять значение его параметра, например, длина волны.

1	2
<p style="text-align: center;">U2</p> 	<p>Оптрон диодный</p>
<p style="text-align: center;">U3</p> 	

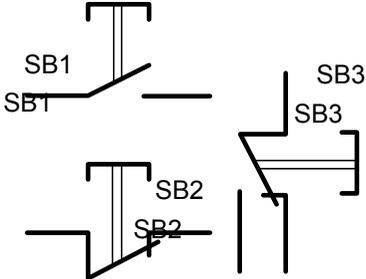
3.1.6. Электривакуумные и газоразрядные приборы

Обозначение	Наименование и функция	
1	2	
<p style="text-align: center;">EL1</p>  <p style="text-align: center;">HL1</p> 	<p>Лампы накаливания: осветительная (EL1) и сигнальная (HL1)</p>	
		<p>Вакуумный триод</p>
		<p>Лампы тлеющего разряда (HL1) и газоразрядная осветительная (EL1)</p>

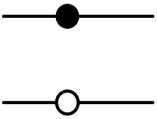
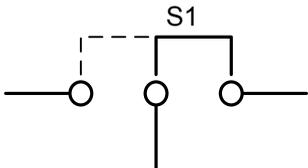
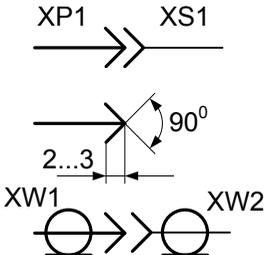
3.1.7. Коммутационные элементы.
Выключатели и переключатели

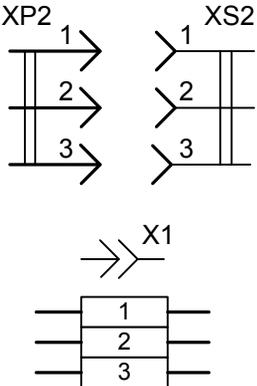
Обозначение 1	Наименование и функция 2
 <p>SA1</p> <p>30°</p> <p>6</p> <p>SA2</p>	<p>Контакт замыкающий</p>
 <p>3</p> <p>6</p> <p>SA3</p> <p>SA4</p>	<p>Контакт размыкающий</p>
 <p>SA5</p> <p>SA6</p>	<p>Контакт переключающий</p>
 <p>3</p> <p>1.5</p> <p>SA7</p>	<p>Переключатель типа 2ПЗН (2 положения, 3 направления)</p>

1	2
<p>3min</p> <p>2</p> <p>6</p> <p>2</p> <p>SA8</p> <p>6</p> <p>SA9</p>	<p>Переключатель 6ПН</p> <p>Переключатель 3ПН (среднее положение – нейтральное)</p>
<p>SB1 SB1</p> <p>SB2 SB2</p> <p>SB3</p> <p>SB2</p>	<p>SB3 SB3</p> <p>Выключатели SB1, SB2 и переключатель SB3 с возвратом в исходное положение повторным нажатием</p>

1	2
	<p>Выключатели и переключатель кнопочные с самовозвратом.</p> <p>Свойства переключателя (работа с фиксацией или без, с самовозвратом, с переключением повторным нажатием) определяются изображением линии, соединяющей кнопку и контакты</p>

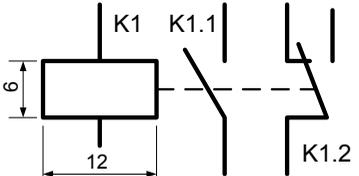
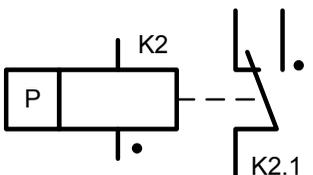
*3.1.8. Коммутационные элементы.
Разъемные и неразъемные соединители*

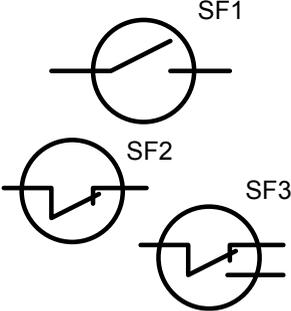
Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Неразборное соединение (точка с заливкой).</p> <p>Разборное соединение (заливка отсутствует)</p>
	<p>Перемычка контактная («джампер»)</p>
	<p>Штырь XP1 и гнездо XS1 соединителя разъемного;</p> <p>XW1, XW2 – коаксиального</p>

1	2
	<p>Вилка и розетка разъёмного соединителя. Цифрами обозначены номера контактов разъема</p>

3.1.9. Коммутационные элементы. Электромагнитные реле

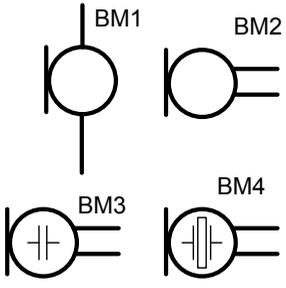
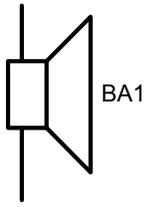
Контакты и обмотка реле могут быть изображены в разных частях схемы. При этом линия механической связи не изображается. Рядом с УГО геркона может быть нанесено изображение магнита или магнитного экрана.

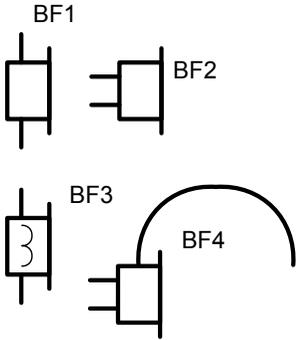
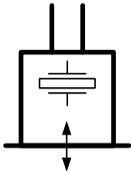
Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Реле электромагнитное (с одной группой контактов на замыкание и с одной группой – на переключение)</p>
	<p>Реле поляризованное</p>

1	2
	<p style="text-align: center;">Геркон</p>

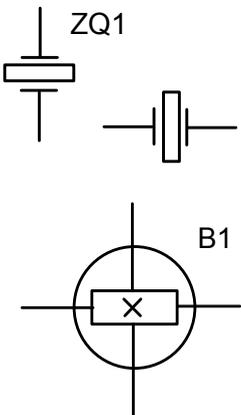
3.1.10. Приборы электроакустические

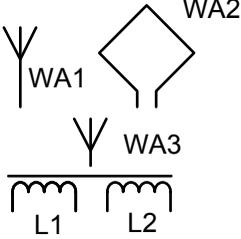
Знаки, характеризующие принцип действия звукового преобразователя, могут быть внесены не только в УГО микрофонов, но и в УГО телефона и головки громкоговорителя. В этом случае их размеры соответственно увеличивают.

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p style="text-align: center;">Микрофон. Внутри окружности может быть приведен знак, характеризующий принцип его действия. Например, BM3 – конденсаторный микрофон</p>
	<p style="text-align: center;">Головка громкоговорителя</p>

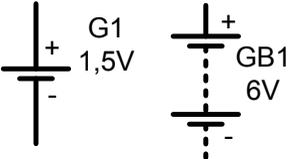
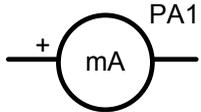
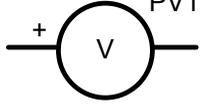
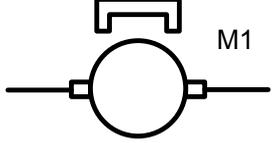
1	2
	<p>Телефон. BF1–BF2 – варианты выполнения выводов; BF3 – электродинамический; BF4 – головной телефон</p>
	<p>Гидрофон (ультразвуковой, передатчик–приемник)</p>

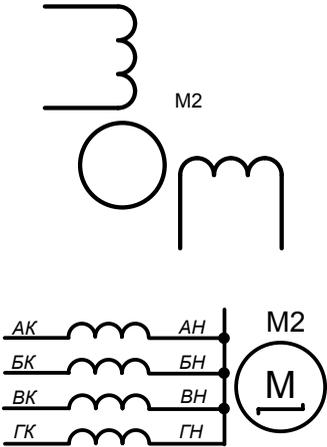
3.1.11. Преобразователи. Датчики

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Резонатор кварцевый (пьезокерамический)</p> <p>Датчик Холла. Токовые выводы вдоль длинной стороны прямоугольника</p>

1	2
	<p>Антенны электрическая (WA1) и магнитные (WA2 – рамочная и WA3 – с сердечником)</p>

3.1.12. Электротехнические элементы

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Элемент гальванический, аккумуляторная батарея</p>
	<p>Приборы электроизмерительные</p>
	
	<p>Коллекторный электродвигатель постоянного тока</p>

1	2
	<p>Электродвигатель асинхронный</p> <p>Двигатель шаговый (АН обозначает начало обмотки А, АК – конец обмотки А)</p>

3.1.13. Интегральные микросхемы

УГО микросхем цифровой и аналоговой техники построены на основе прямоугольников, называемых полями. УГО простейших устройств (например, логических элементов) состоят только из основного поля, в более сложных устройствах к нему добавляют одно или два дополнительных, располагаемых слева и справа. В основном поле помещают надписи и знаки, указывающие на функциональное назначение элемента или микросхемы⁵; в дополнительных – метки, поясняющие назначение выводов. Обозначения функций элементов и выводов приведены в табл. 3.1 и табл. 3.2 соответственно.

Ширина полей определяется числом знаков (с учетом пробелов). Минимальная ширина основного поля – 10 мм, дополнительных – 5 мм. Расстояние между выводами, а также между выводом и горизонтальной стороной УГО или границей зоны, отделяющей одни выводы от других, – 5 мм (все размеры в масштабе 1 : 1). В местах присоединения линий-выводов изображают специальные знаки (указатели), характеризующие их особые свойства: небольшой

⁵ Полный перечень см. в ГОСТ ЕСКД.

кружок (инверсия), наклонную черточку («/» – прямой, «\» – инверсный динамический вход), крестик (вывод, не несущий логической информации, например, вывод питания). При подведении линий выводов к контуру УГО не допускается проводить их на уровне сторон прямоугольника.

Таблица 3.1

Обозначения функций элементов

Наименование	Обозначение
1	2
Буфер	BUF
Вычислитель	CP
Вычислительное устройство	CPU
Вычитатель	SUB
Делитель	DIV
Демультимплексор	DX
Дешифратор	DC
Дисплей	DPY
Инвертор или повторитель	1
Компаратор	COMP
Микропроцессор	MPU
Память	M
Быстродействующая память	FM
Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)	ROM
Программируемое ПЗУ (ППЗУ)	PROM
ППЗУ с возможностью многократного перепрограммирования (РППЗУ)	RPROМ
РППЗУ с ультрафиолетовым стиранием	UVPROМ
Оперативное запоминающее устройство	RAM
Программируемая логическая матрица	PLM
Преобразователь	
Буквы X и Y могут быть заменены обозначениями вида информации на входах и выходах:	X/Y
аналоговый	Π или A
цифровой	# или D
двоичный	BIN
десятичный	DEC
двоично-десятичный	BCD
код Грея	GRAY

Окончание табл. 3.1

1	2
семисегментный код	7SEG
Цифроаналоговый преобразователь	DAC
Аналого-цифровой преобразователь	ADC
Регистр	RG
Сумматор	SM
Устройство арифметическо-логическое	ALU
Устройство коммутирующее, ключ	SW
Шина	BUS или B
Шифратор	CD
Элемент нелогический:	*
стабилизатор напряжения	*STU
стабилизатор тока	*STI
набор резисторов	*R
набор конденсаторов	*C
набор диодов	*D
набор транзисторов	*T
набор диодно-резисторных элементов	*DR

Таблица 3.2

Обозначения выводов ИС

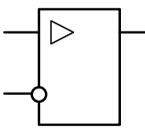
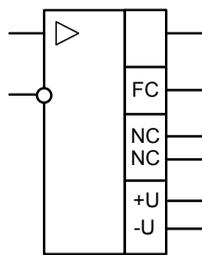
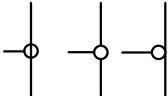
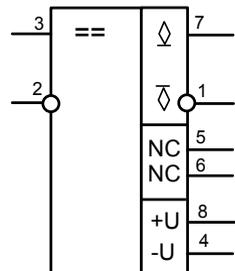
Наименование	Обозначение
1	2
Адрес	ADR или A
Бит младший	LSB
Бит старший	MSB
Блокировка	INH
Выбор адреса столбца	CAS
Выбор адреса строки	RAS
Выход с тремя состояниями	Z
Генерирование	GEN
Готовность	RDY
Данные входные	DIN
Данные выходные	DOUT
Загрузка (разрешение параллельной записи)	LD
Занято	BUSY
Запись	WR

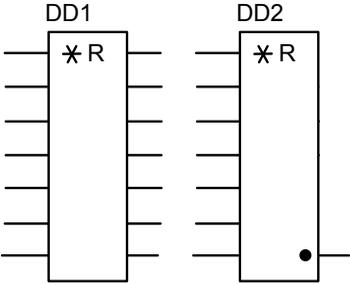
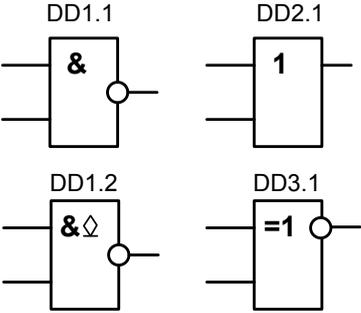
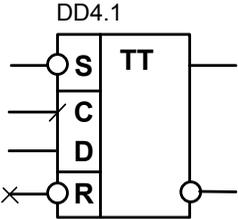
Окончание табл. 3.2

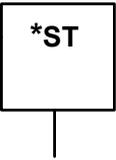
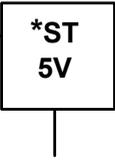
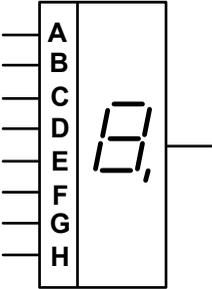
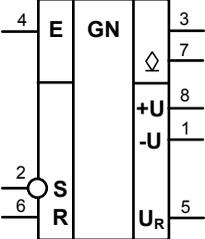
1	2
Запрос	RO
Инструкция, команда	INS
Конец	END
Коррекция	CORR
Мультиплексирование	MPX
Ожидание	WAIT или WT
Очистка	CLR
Прерывание	INT
Пуск	ST
Работа	RUN
Разрешение прохождения импульсов, работы цепи	CE
Разрешение третьего состояния	EZ
Режим	M
Сброс	R
Синхронизация	SYN
Строб, сигнал выборки	STR
Счет	CT
Считывание (чтение)	RD
Такт	CLK
Установка в «1»	S
Вывод питания	V _{CC}
Номинал напряжения питания	+5V
Общий вывод, земля, корпус	GND
Общий вывод цифровой части схемы	#0V
Общий вывод аналоговой части схемы	0V
Вывод для подключения резистора	CR
Вывод для подключения конденсатора	CX
Вывод для подключения кварцевого резонатора	BO

В правом поле УГО цифровых микросхем иногда помещают знаки, построенные на основе ромбика. Если он снабжен черточкой сверху, это означает, что данный вывод соединен с коллектором $p-n-p$ -транзистора, эмиттером $n-p-n$ -транзистора, стоком полевого p -канала или истоком транзистора с n -каналом. Если электроды принадлежат транзисторам противоположной структуры или приборам с каналом противоположного типа, черточку помещают снизу. Ромбиком с черточкой внутри обозначают вывод с так называемым «состоянием высокого выходного сопротивления» (Z -состоянием).

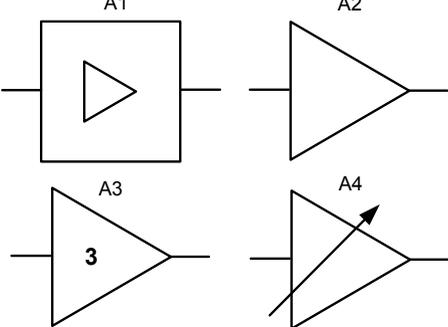
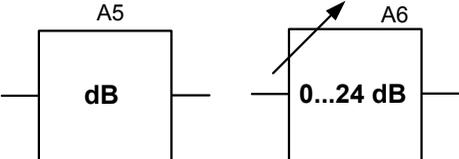
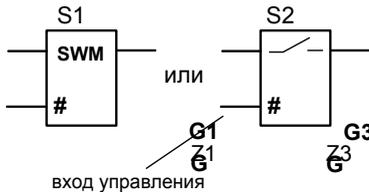
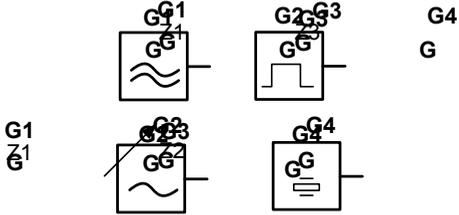
Чтобы не загромождать схему цепями питания микросхем, соответствующие выводы в их УГО обычно не изображают. Чтобы было ясно, к каким выводам подводится питание, в местах, откуда оно поступает (выход источника питания – цепь, к которой подключается внешний источник), помещают стрелки с адресами, например, «к выв. 14 DD1, DD2, выв 10 DD3, DD4, выв. 16 DD5, DD6».

Обозначение	Наименование и функция
<p style="text-align: center;">1</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>DA1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>DA2</p>  </div> </div>	<p style="text-align: center;">2</p> <p>Операционный усилитель.</p> <p>Знак треугольника может быть заменен знаками «∞», «M» или абсолютной величиной коэффициента усиления, например, «10⁵».</p> <p>Знак инверсии может быть помещен непосредственно на линии УГО (может пересекаться линией или быть на переднем плане) или примыкать к ней снаружи.</p> <p>В некоторых случаях допускается для изображения УГО операционных усилителей и компараторов вместо прямоугольника использовать равносторонний треугольник (см. рис. 1.3)</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<div style="text-align: center;"> <p>DA3</p>  </div>	<p>Компаратор.</p> <p>Числа возле соответствующих выводов указывают номер вывода корпуса ИС. Знак на основе ромбика с черточкой снизу означает, что данный вывод соединен с коллектором <i>n-p-n</i>-транзистора (открытый коллектор); знак на основе ромбика с черточкой сверху – вывод соединен с эмиттером <i>n-p-n</i>-транзистора (открытый эмиттер)</p>

1	2
	<p>Набор резисторов. DD1 – набор электрически не связанных резисторов; DD2 – набор резисторов с общим выводом</p>
	<p>Элементы логические*: DD1.1 – логический элемент 2И–НЕ; DD1.2 – логический элемент 2И–НЕ, выход с открытым коллектором; DD2.1 – логический элемент 2ИЛИ; DD3.1 – логический элемент исключения равнозначности. В масштабе 1 : 1 размеры прямоугольника одно- и двух-входовых логических элементов 10 × 15 * Выводы питания на УГО логических элементов и цифровых схем обычно не указываются</p>
	<p>Триггер (D – триггер). Показано обозначение неиспользуемого вывода – вывода R</p>

1	2
<p>DA 4</p>  <p>DA 5</p> 	<p>Стабилизатор напряжения микросхемный. DA5 – стабилизатор напряжения с выходным напряжением 5 В</p>
<p>HG1</p> 	<p>Индикатор цифровой</p>
<p>DA 6</p> 	<p>Таймер интегральный (КР1006ВИ1)</p>

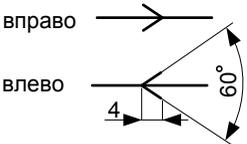
3.1.14. Элементы функциональных схем

Обозначение	Наименование и функция
1	2
	<p>Усилитель A1 и A2 – альтернативные символы. Цифра внутри УГО A3 означает число каскадов, иногда внутри УГО усилителя приводят численное значение коэффициента усиления, например, 10^5; A4 – регулируемый усилитель</p>
	<p>Аттенюаторы с постоянным и регулируемым ослаблением</p>
	<p>Коммутатор электронный</p>
	<p>Генераторы: G1 – генератор сигналов низкой частоты; G2 – генератор импульсов прямоугольной формы; G3 – перестраиваемый генератор; G4 – генератор с кварцевой стабилизацией частоты</p>

полосовой (Z3) и режек-
торный (Z4) фильтры

<p>ФНЧ (Z1), ФВЧ (Z2), полосовой (Z3) и режек- торный (Z4) фильтры</p> <p>ФНЧ (Z1), ФВЧ (Z2), полосовой (Z3) и режек- торный (Z4) фильтры</p> <p>Z1 Z2 Z3 Z4</p> <p>Преобразователь U1</p> <p>Z4</p> <p>U3</p>	<p>2</p> <p>Частотные фильтры: ФНЧ (Z1); ФВЧ (Z2); полосовой (Z3); режекторный (Z4)</p>
<p>Z2 Z4</p> <p>Преобразователь U1 Преобразователь U2</p> <p>Преобразователь U1</p> <p>U1 U2 U3 U4</p> <p>f nf I U</p>	<p>Преобразователи: U1 – преобразователь пе- ременного напряжения в сиг- нал постоянного тока; U2 – преобразователь ча- стоты с коэффициентом пре- образования η; U3 – преобразователь им- пульсного напряжения с изме- нением полярности импуль- сов; U4 – преобразователь ток – напряжение</p>
<p>Датчики неэлектрических величин</p> <p>BK1 T δ BR1 n</p> <p>BP1 Pa BR2 n U</p> <p>Линии задержки общее обозначение (DT1), с сосредоточенными (DT2) и распределенными (DT3) параметрами</p>	<p>Датчики неэлектрических величин: BK1 – датчик температуры; BR1 – датчик числа собы- тий (например, числа оборотов двигателя); BP1 – датчик давления; BR2 – датчик числа собы- тий с выходным сигналом в виде напряжения.</p>
<p>Линии задержки общее обозначение (DT1), с сосредоточенными (DT2) и распределенными (DT3) параметрами</p> <p>DT1 Δt DT2 DT3</p>	<p>Линии задержки УГО линии задержки вме- сто символов сосредоточенных и распределенных параметров могут содержать численное значение времени задержки, а также знаки, характеризующие способ преобразования: пьезо- электрический (в виде символа</p>

Продолжение таблицы

1	2
	<p>кварцевого резонатора), магнитострикционный (две горизонтально расположенные полуокружности).</p> <p>Линии задержки: общее обозначение (DT1), с сосредоточенными (DT2) и распределенными (DT3) параметрами</p>
<p>Поток цифровых данных</p>  <p>Линий механической связи элементов</p> <p>1,5</p> <p>Направление передачи сигнала</p>	<p>Поток цифровых данных</p> <p>Линий механической связи элементов</p>
<p>вправо →</p> <p>влево ←</p> <p>в обоих направлениях ↔</p>  <p>2,14 В</p> <p>24 мА</p> <p>5 мА</p>	<p>Направление передачи сигнала</p> <p>Обозначение уровней напряжения и токов в линии</p>

3.2. Условные графические обозначения в зарубежных стандартах

Единого для всех стран стандарта обозначения электронных элементов не существует. Тем не менее, вопрос унификации изображений или хотя бы использования наиболее близких стандартов становится все более актуальным в связи с расширяющимся использованием программ компьютерного моделирования, проектирования или разработки конструкторской документации электрических схем. При этом наиболее близкими к стандарту ЕСКД являются стандарты DIN и IEC, применяющиеся в Европе, и сильно отличаются УГО стандартов ANSI и IEEE, использующихся в США. Поэтому рекомендуется при инсталляции различных программ проектирования зарубежного производителя (т.е. не белорусского или российского) выбирать режим установки «Custom» (по выбору пользователя) и затем стандарт DIN. В некоторых программах при выборе символа элемента из библиотеки и «щелчке» по нему правой кнопкой мыши в меню появляется пункт «альтернативный символ» (например, программный пакет VISIO). Если выбрать этот пункт, УГО элемента стандарта ANSI сменится на УГО стандарта DIN, близкого или тождественного УГО ЕСКД.

Кроме того, в различных стандартах отличаются не только УГО элементов, но и их буквенные обозначения и обозначения номинальных значений элементов. При этом, если исполнитель проекта не имеет возможности привести все УГО к единому стандарту, ему следует дать пояснения к отличиям в изображении УГО одинаковых элементов на разных рисунках проекта.

3.3. Правила оформления блок-схемы алгоритма программы

Правила выполнения схем алгоритмов, программ, данных и систем регламентируются ГОСТ 19.701–90 «Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения».

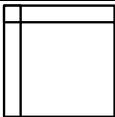
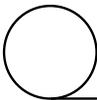
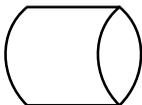
Схемы программ (алгоритмов программ) отображают последовательность операций в программе.

Схема программы состоит из:

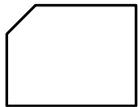
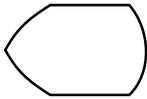
- 1) символов процесса, указывающих фактически операции обработки данных (включая символы, определяющие путь, которого следует придерживаться с учетом логических условий);
- 2) линейных символов, указывающих поток управления;
- 3) специальных символов, используемых для облегчения написания и чтения схемы (табл. 3.3).

Таблица 3.3

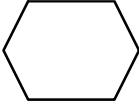
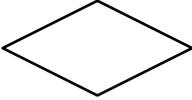
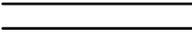
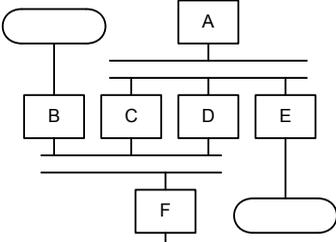
Оформление элементов блок-схемы

Обозначение	Наименование	Функция
1	2	3
Символы данных		
	Данные	Отображает данные, носитель данных не определен
	Запоминаемые данные	Отображает хранимые данные в виде, пригодном для обработки, носитель данных не определен
	Оперативное запоминающее устройство	Отображает данные, хранящиеся в оперативном запоминающем устройстве
	Запоминающее устройство с последовательным доступом	Отображает данные, хранящиеся в запоминающем устройстве с последовательным доступом (магнитная лента, кассета с магнитной лентой, магнитофонная кассета)
	Запоминающее устройство с прямым доступом	Отображает данные, хранящиеся в запоминающем устройстве с прямым доступом (магнитный диск, магнитный барабан, гибкий магнитный диск)
	Документ	Отображает данные, представленные на носителе в удобочитаемой форме (машинограмма, документ для оптического или магнитного считывания, микрофильм, рулон ленты с итоговыми данными, бланки ввода данных)

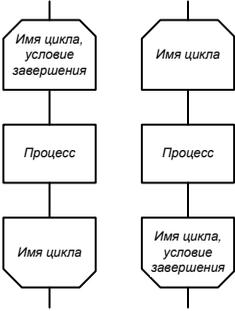
Продолжение табл. 3.3

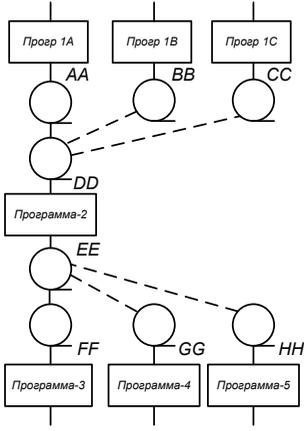
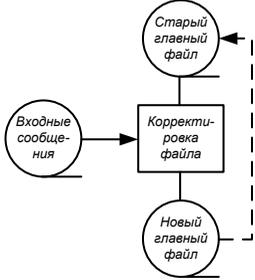
1	2	3
	<p>Ручной ввод</p>	<p>Отображает данные, вводимые вручную во время обработки с устройств любого типа (клавиатура, переключатели, кнопки, световое перо, полоски со штриховым кодом)</p>
	<p>Карта</p>	<p>Отображает данные, представленные на носителе в виде карты (перфокарты, магнитные карты, карты со считываемыми метками, карты с отрывным ярлыком, карты со сканируемыми метками)</p>
	<p>Бумажная лента</p>	<p>Отображает данные, представленные на носителе в виде бумажной ленты</p>
	<p>Дисплей</p>	<p>Отображает данные, представленные в человекочитаемой форме на носителе в виде отображающего устройства (экран для визуального наблюдения, индикаторы ввода информации)</p>
<p>Символы процесса</p>		
	<p>Процесс</p>	<p>Отображает функцию обработки данных любого вида (выполнение определенной операции или группы операций, приводящее к изменению значения, формы или размещения информации или к определению того, по какому из нескольких направлений потока следует двигаться)</p>
	<p>Предопределенный процесс</p>	<p>Отображает предопределенный процесс, состоящий из одной или нескольких операций или шагов программы, которые определены в другом месте (в подпрограмме, модуле)</p>
	<p>Ручная операция</p>	<p>Отображает любой процесс, выполняемый человеком</p>

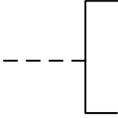
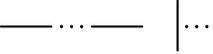
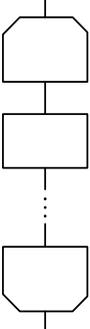
Продолжение табл. 3.3

1	2	3
	<p>Подготовка</p>	<p>Отображает модификацию команды или группы команд с целью воздействия на некоторую последующую функцию (установка переключателя, модификация индексного регистра или инициализация программы)</p>
	<p>Решение</p>	<p>Отображает решение или функцию переключательного типа, имеющую один вход и ряд альтернативных выходов, один и только один из которых может быть активизирован после вычисления условий, определенных внутри этого символа. Соответствующие результаты вычисления могут быть записаны по соседству с линиями, отображающими эти пути</p>
	<p>Параллельные действия</p>	<p>Отображает синхронизацию двух или более параллельных операций</p> <p><i>Пример:</i></p> 
	<p>Граница цикла</p>	<p>Состоит из двух частей. Отображает начало и конец цикла. Обе части символа имеют один и тот же идентификатор. Условия для инициализации, приращения, завершения и т.д. помещаются внутри символа в начале или в конце в зависимости от расположения операции, проверяющей условие</p>

Продолжение табл. 3.3

1	2	3
		<p><i>Пример 1:</i> <i>Пример 2:</i></p> 
Символы линий		
	Линия	<p>Отображает поток данных или управления.</p> <p>При необходимости или для повышения удобочитаемости могут быть добавлены стрелки-указатели</p>
	Передача управления	<p>Отображает непосредственную передачу управления от одного процесса к другому, иногда с возможностью прямого возвращения к инициирующему процессу после того, как инициированный процесс завершит свои функции. Тип передачи управления должен быть назван внутри символа (например, запрос, вызов, событие)</p>
	Канал связи	<p>Отображает передачу данных по каналу связи</p>
	Пунктирная линия	<p>Отображает альтернативную связь между двумя или более символами. Кроме того, символ используют для обведения аннотированного участка.</p> <p><i>Пример 1.</i> Если один из ряда альтернативных выходов используют в качестве входа в процесс, либо когда выход используется в качестве входа в альтернативные процессы, эти символы соединяют пунктирными линиями.</p>

1	2	3
		 <p><i>Пример 2.</i> Выход, используемый в качестве входа в следующий процесс, может быть соединен с этим входом с помощью пунктирной линии</p> 
Специальные символы		
	<p>Соединитель</p>	<p>Отображает выход в часть схемы и вход из другой части этой схемы и используется для обрыва линии и продолжения ее в другом месте. Соответствующие символы-соединители должны содержать одно и то же уникальное обозначение</p>

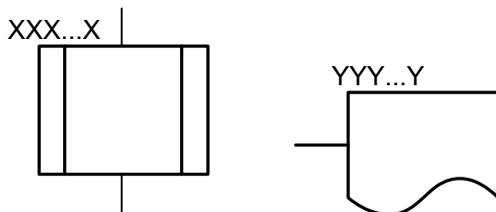
1	2	3
	<p>Терминатор</p>	<p>Отображает выход во внешнюю среду и вход из внешней среды (начало или конец схемы программы, внешнее использование и источник или пункт назначения данных)</p>
	<p>Комментарий</p>	<p>Используется для добавления описательных комментариев или пояснительных записей в целях объяснения или примечаний. Пунктирные линии в символе комментария связаны с соответствующим символом или могут обходить группу символов. Текст комментариев или примечаний должен быть помещен около ограничивающей фигуры</p>
	<p>Пропуск</p>	<p>Используется в схемах для отображения пропуска символа или группы символов, в которых не определены ни тип, ни число символов. Применяется только в символах линии или между ними. Он используется главным образом в схемах, изображающих общие решения с неизвестным числом повторений</p> <p><i>Пример:</i></p> 

Правила применения символов

Символы могут быть вычерчены в любой ориентации, но предпочтительной является горизонтальная. Зеркальное изображение формы символа обозначает одну и ту же функцию, но не является предпочтительным. Минимальное количество текста, необходимого для понимания функции символа, следует помещать внутри этого символа. Текст для чтения должен записываться слева направо и сверху вниз независимо от направления потока. Если объем текста, помещаемого внутри символа, превышает его размеры, следует использовать символ комментария.

В схемах может использоваться идентификатор символов. Это связанный с данным символом идентификатор, который определяет символ для использования в справочных целях в других элементах документации (например, в листинге программы). Идентификатор символа должен располагаться слева над символом.

Пример:



В схемах может использоваться подробное представление, которое обозначается с помощью символа с полосой для процесса или данных. Символ с полосой указывает, что в этом же комплекте документации в другом месте имеется более подробное представление.

Символ с полосой представляет собой любой символ, внутри которого в верхней части проведена горизонтальная линия. Между этой линией и верхней линией символа помещен идентификатор, указывающий на подробное представление данного символа.

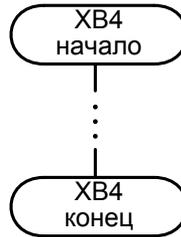
В качестве первого и последнего символа подробного представления должен быть использован символ указателя конца. Первый символ указателя конца должен содержать ссылку, которая имеется также в символе с полосой.

Пример:

Символ с полосой



Подробное представление



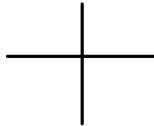
Правила выполнения соединений

Потоки данных или потоки управления в схемах показываются линиями. Направление потока слева направо и сверху вниз считается стандартным.

В случаях, когда необходимо внести большую ясность в схему (например, при соединениях), на линиях используются стрелки. Если поток имеет направление, отличное от стандартного, стрелки должны указывать это направление.

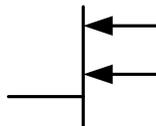
В схемах следует избегать пересечения линий. Пересекающиеся линии не имеют логической связи между собой, поэтому изменения направления в точках пересечения не допускаются.

Пример:



Две или более входящие линии могут объединяться в одну исходящую линию. Если две или более линии объединяются в одну линию, место объединения должно быть смещено.

Пример:



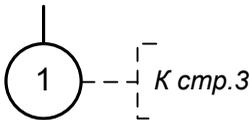
Линии в схемах должны подходить к символу либо слева, либо сверху, либо сверху, а исходить либо справа, либо снизу. Линии должны быть направлены к центру символа.

При необходимости линии в схемах следует разрывать для избежания излишних пересечений или слишком длинных линий, а также если схема состоит из нескольких страниц. Соединитель в начале разрыва называется внешним соединителем, а соединитель в конце разрыва – внутренним соединителем.

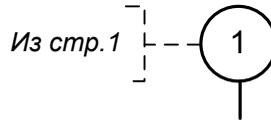
Ссылки к страницам могут быть приведены совместно с символом комментария для их соединителей.

Пример:

Внешний соединитель



Внутренний соединитель

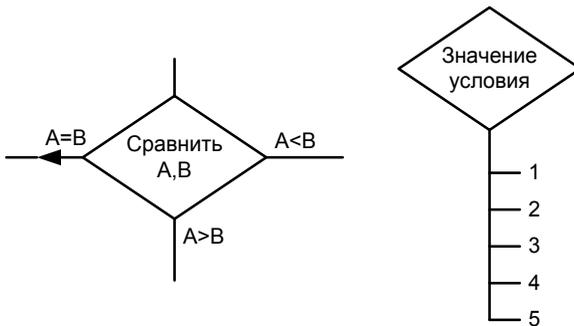


Несколько выходов из символа следует показывать:

- 1) несколькими линиями от данного символа к другим символам;
- 2) одной линией от данного символа, которая затем разветвляется в соответствующее число линий.

Каждый выход из символа должен сопровождаться соответствующими значениями условий, чтобы показать логический путь, который он представляет, с тем, чтобы эти условия и соответствующие ссылки были идентифицированы.

Примеры:



4. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Цель работы и ее выполнение

Цели лабораторной работы «Выполнение принципиальных электронных схем на ПЭВМ» следующие:

- 1) закрепление знаний, полученных при изучении правил выполнения принципиальных схем;
- 2) получение и развитие элементарных навыков синтеза схем из графического меню распознаванием, выбором и подключением нужного элемента;
- 3) обучение пользованию вспомогательными пакетами прикладных программ оформления сборочных чертежей.

Реализация методики выполнения чертежей на принципах САПР привела к необходимости создания базы данных конструктивных элементов принципиальных электронных схем.

Синтез изображения элемента может выполняться вручную при вычерчивании соответствующего варианта индивидуального задания или расчетно-графической работы, которые представлены в приложении.

Лабораторная работа на ПЭВМ выполняется с использованием графического меню, пунктами которого являются элементы таблицы. Для облегчения синтеза схемы на экране устанавливаются сетка и шаг.

Студент получает у преподавателя индивидуальное задание – электрическую схему функционального узла, содержащего 10–50 элементов нескольких типов. Некоторые примеры заданий приведены в Приложении. При этом, в ряде вариантов заданий часть элементов преднамеренно выполнена не в строгом соответствии с ГОСТ. Например, в варианте задания 3 неверно изображен диод VD2; в варианте 4 отсутствуют точки соединения выводов резисторов R1, R3, R9 к линии питания; в варианте 26 УГО операционного усилителя должно быть приведено в виде прямоугольника и др. Перед выполнением работы студенту необходимо сверить изображение УГО элементов схемы задания с УГО в ЕСКД (ГОСТ) или данном пособии. В соответствии с заданием лабораторной работы студент дополнительно к выполнению электрической принципиальной схемы осуществляет синтез структурной или функциональной схемы

устройства. Перед выполнением работы студент должен изучить представленный в пособии материал, найти в таблице УГО или в графическом меню соответствующий элемент и затем приступать к выполнению схемы. Толщина линий и размеры элементов выбираются произвольно. Однако масштаб изменения должен быть единым для всего листа.

Рекомендуется электрическую схему каждого задания выполнять в двух вариантах:

– собственно задание с отметками ошибок, замеченных студентом; перечень исправлений ошибок (неточностей) задания с указанием характера ошибок и ссылок на соответствующие документы ЕСКД, ГОСТ;

– электрическая схема задания, выполненная в полном соответствии с нормативными документами, перечень элементов, список использованных справочных и нормативных источников.

Разработанная база данных, включающая основные условные обозначения элементов промышленной электроники, может использоваться на спецкафедрах. В качестве вариантов заданий, находящихся у преподавателя на электронном носителе, представлены фрагменты реальных электронных устройств различных отраслей приборостроения.

4.2. Выполнение работы в электронной форме

По решению кафедры работа может быть представлена в электронной форме. При этом студент выполняет весь объем работ. Изменяется только перечень и форма предъявляемых к защите материалов.

К защите студент представляет пояснительную записку в печатном виде следующего состава:

- 1) титульный лист;
- 2) лист задания;
- 3) реферат;
- 4) выводы;
- 5) опись файлов проекта, находящихся на электронных носителях – дискетах 3,5", компакт-диске CD-R (не CD-RW).

Основные материалы работы представляются на электронных носителях информации:

- в файле index – опись файлов проекта (работы);
- в каталоге DOC – пояснительная записка и графические материалы;
- в каталоге EXE – исполняемые файлы и файлы разработанных приложений;
- в каталоге GRAF – иллюстративный материал и файлы презентации.

Структура пояснительной записки должна поддерживать форматирование стилями и обеспечивать создание оглавления в автоматическом режиме. Наименования в тексте (подписи к рисункам и таблицам) должны иметь уникальное обозначение, формирование которого должно производиться в автоматическом режиме. Все главы и разделы пояснительной записки должны иметь единое стилевое оформление.

Опись файлов проекта (работы) оформляется в соответствии с таблицей и представляется отдельным файлом index в формате *rtf*. Файл описи размещается на первом носителе. Имена файлов должны отражать индивидуальные особенности проекта: номер группы (последние три цифры), фамилию студента (сокращается до трех-пяти букв) или название темы проекта.

Опись файлов проекта (работы)

Имя файла и расширение	Объем файла	Содержание	Размещение файла, № носителя и каталог	Редактор и версия программы, в которой создан файл
1	2	3	4	5
020_Ярош.rtf	1,2 МБ	пояснительная записка	Носитель 1/DOC	Word 2003

1	2	3	4	5
020_Ярош_1.ewb	24 КБ	результаты моделирования схемы генератора	Носитель 2/MOD	EWB 5.12
020_Sh_rasch.mcd	14 КБ	расчет колебательной характеристики генератора	Носитель 2/MOD	Math CAD 2001 rus

При необходимости сохранения файлов, размер которых превышает объем носителя, они архивируются. Файловый архив должен иметь формат *zip*. Допускается использование самораспаковывающихся архивов.

ЛИТЕРАТУРА

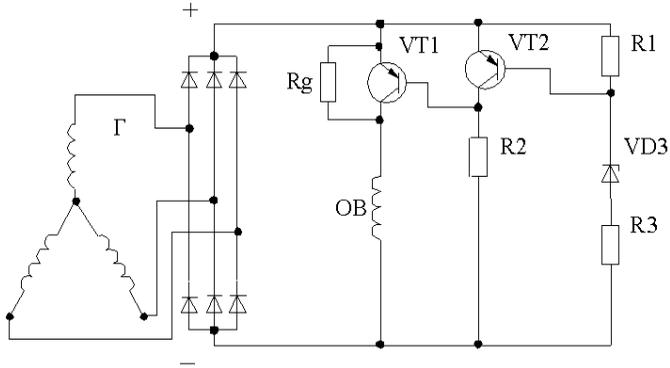
1. Лагерь, А.И. Инженерная графика / А.И. Лагерь, Э.А. Колесникова. – М.: Высшая школа, 1985. – 176 с.
2. Криштафович, А.К. Основы промышленной электроники / А.К. Криштафович, В.В. Трифонюк. – М.: Высшая школа, 1985. – 287 с.
3. Гусев, В.Г. Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высшая школа, 1991. – 662 с.
4. Митин, Г.П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах / Г.П. Митин. – М.: Изумруд, 2003 – 224 с.
5. Петров, К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника / К.С. Петров. – Спб.: Питер, 2003. – 512 с.
6. Компьютер для студентов, аспирантов и преподавателей. Самоучитель: учебное пособие / под ред. В.Б. Комягина. – М.: ТРИ-УМФ, 2001. – 656 с.
7. Система обозначений в электрических схемах: ГОСТ 2.709–89.
8. Обозначение изделий и конструкторских документов: ГОСТ 2.201–80.
9. Схемы, виды и типы. Общие требования к выполнению: ГОСТ 2.701–84.
10. Правила выполнения электрических схем: ГОСТ 2.702–75.
11. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах: ГОСТ 2.710–81.
12. Элементы аналоговой техники: ГОСТ 2.759–82.
13. Электронные компоненты в целом: ГОСТ 4907–81.
14. Полупроводниковые приборы: ГОСТ 11612.0–81.
15. Электронные лампы: ГОСТ 1914–81Е.
16. Пьезоэлектрические приборы: ГОСТ 21712–83.
17. Печатные схемы и платы: ГОСТ 2.768–90.
18. Интегральные схемы. Микроэлектроника: ГОСТ 17021–88.
19. Электромеханические компоненты электронного и телекоммуникационного оборудования: ГОСТ 24606.0–81.
20. Системы коммутации и сигнализации: ГОСТ 23595-79.
21. Жданович, В.В. Оформление документов дипломных и курсовых проектов / В.В. Жданович, А.Ф. Горбачевич. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 99 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты заданий для выполнения электрических схем

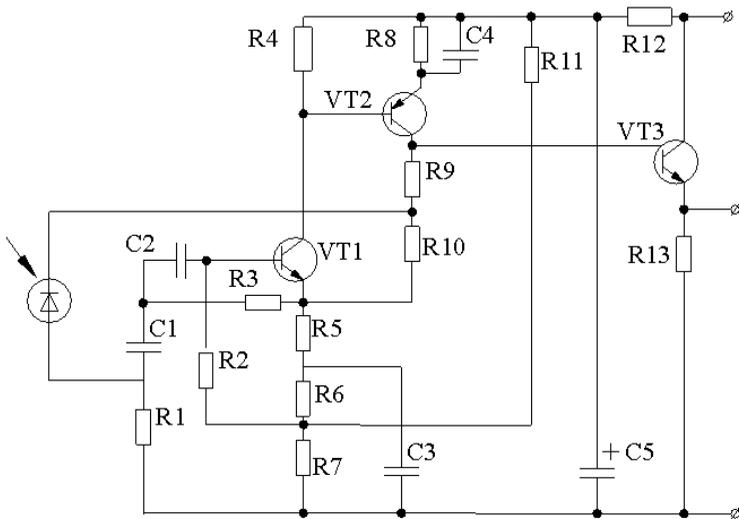
Вариант 1

Электронный регулятор напряжения автомобильного регулятора



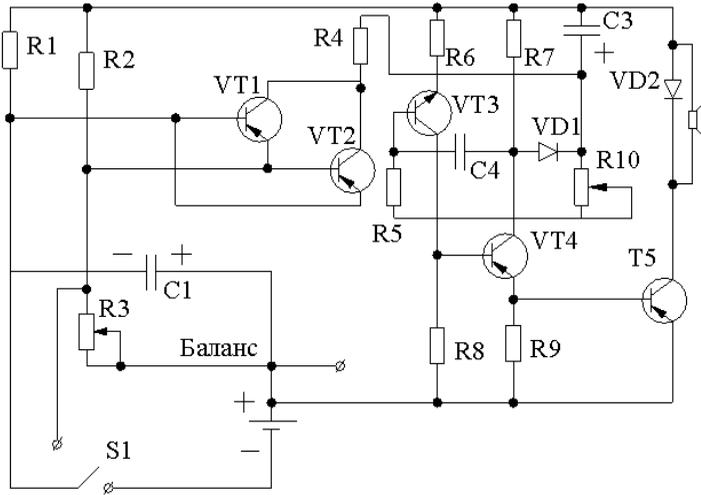
Вариант 2

Извещатель с оптическим блоком на базе фотодиода



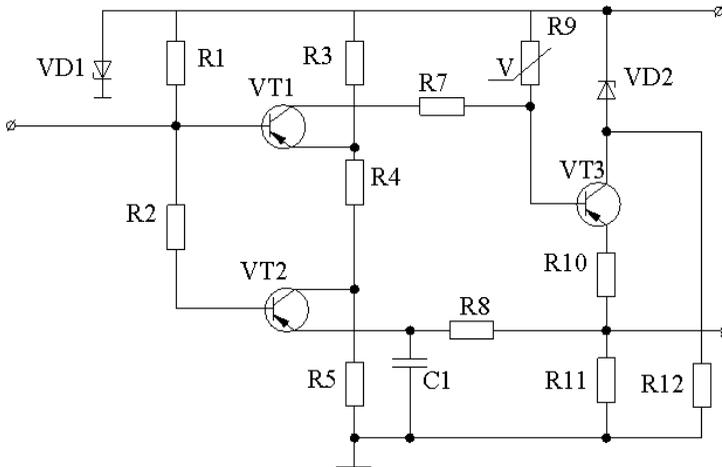
Вариант 3

Прибор охранной сигнализации с акустическим оповещением



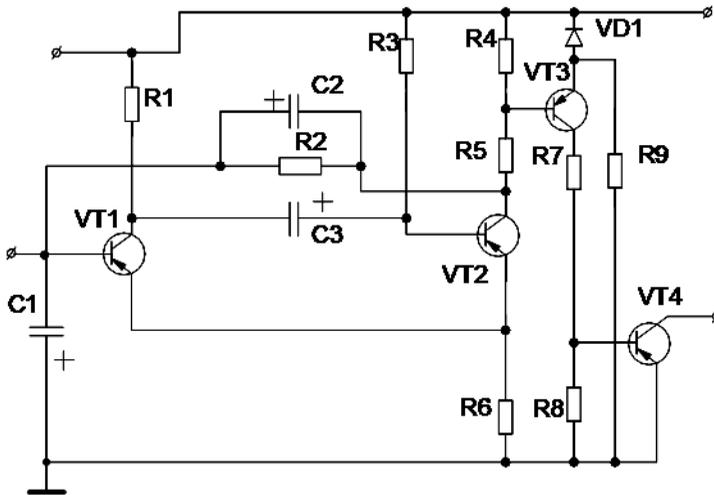
Вариант 4

Узел контроля линии с бесконтактными датчиками



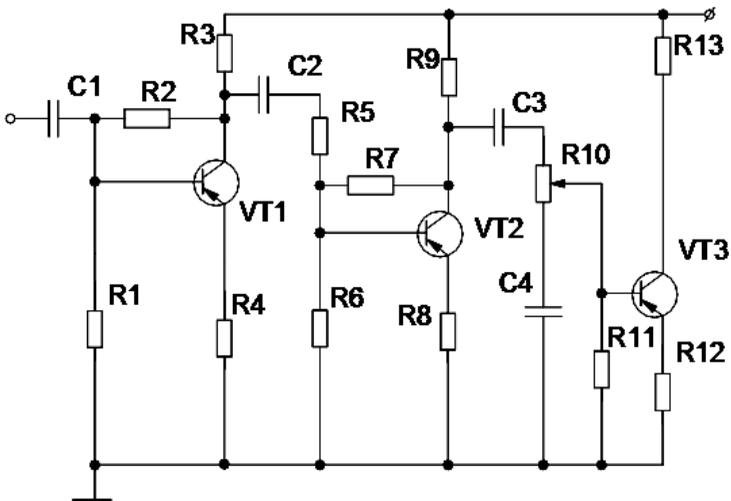
Вариант 5

Ждущий мультивibrator



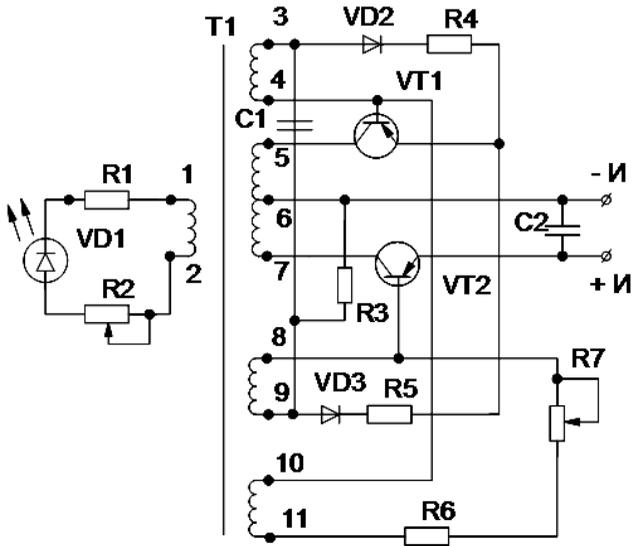
Вариант 6

Усилитель переменного тока



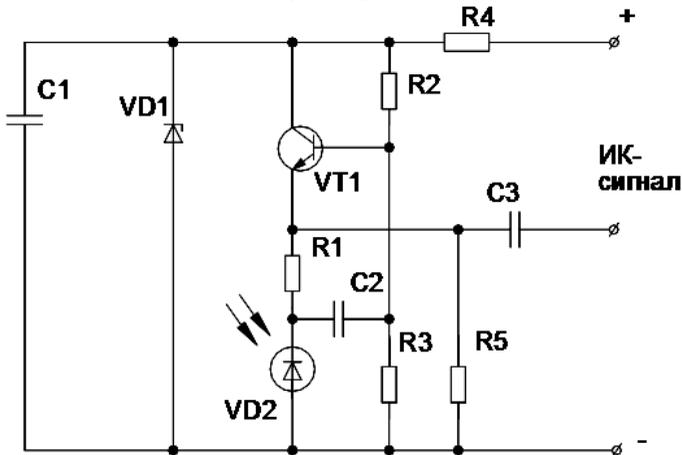
Вариант 7

ИК-излучатель блока охранной сигнализации



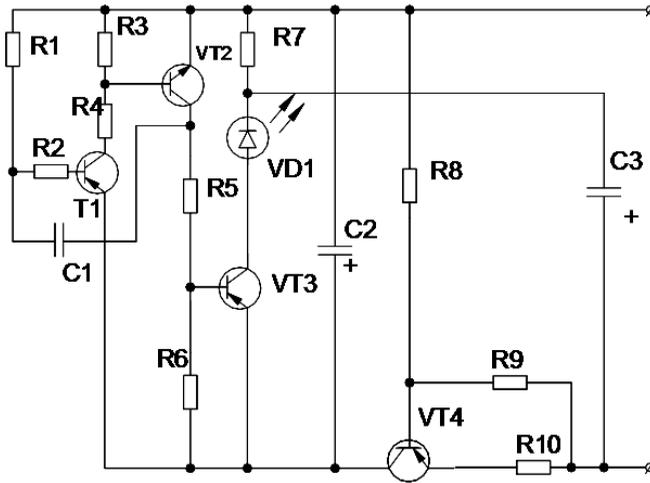
Вариант 8

ИК-фотоприемник



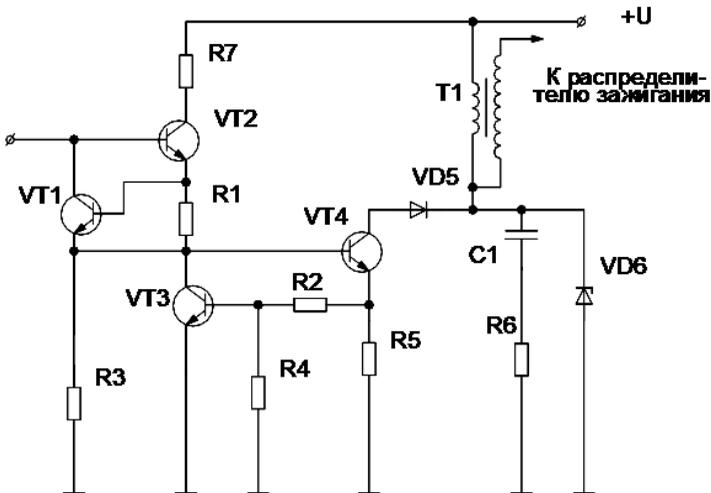
Вариант 9

ИК-излучатель охранной сигнализации



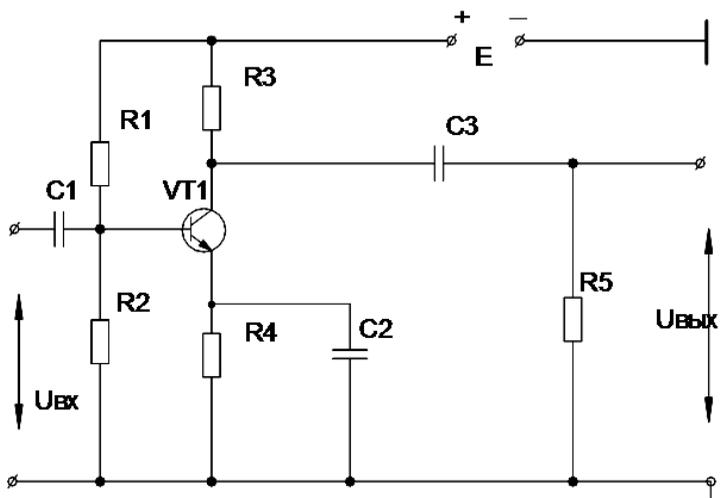
Вариант 10

Коммутатор электронной системы зажигания



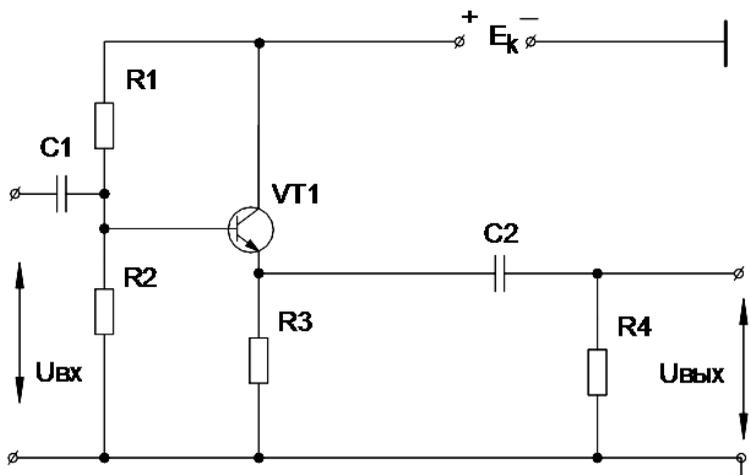
Вариант 11

Усилитель на транзисторе, включенном по схеме ОЭ



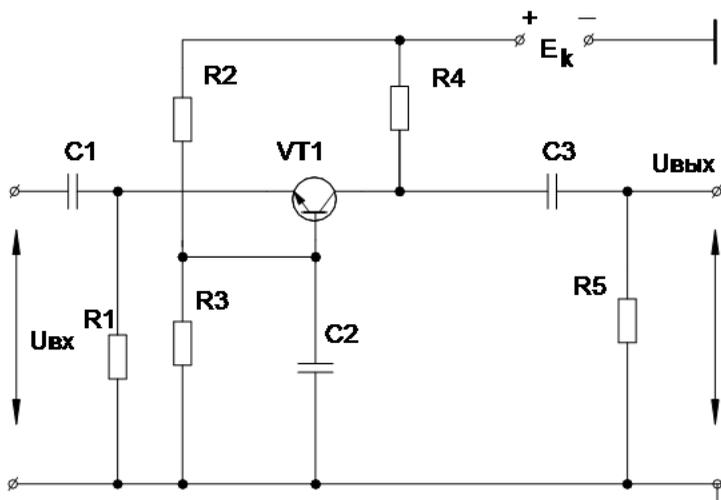
Вариант 12

Усилитель на транзисторе, включенном по схеме ОК



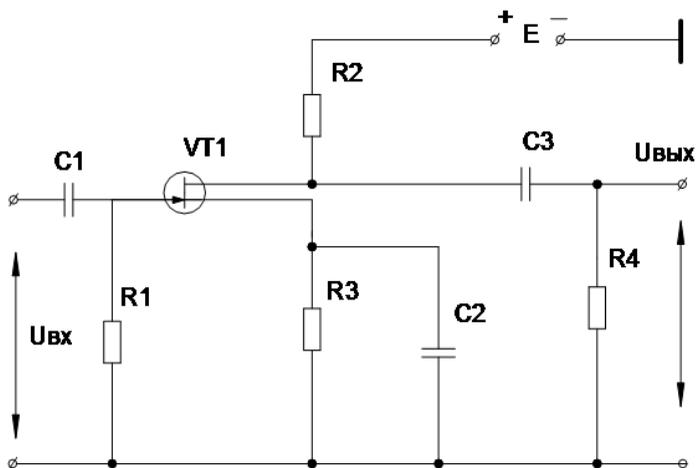
Вариант 13

Усилитель на транзисторе, включенном по схеме ОБ



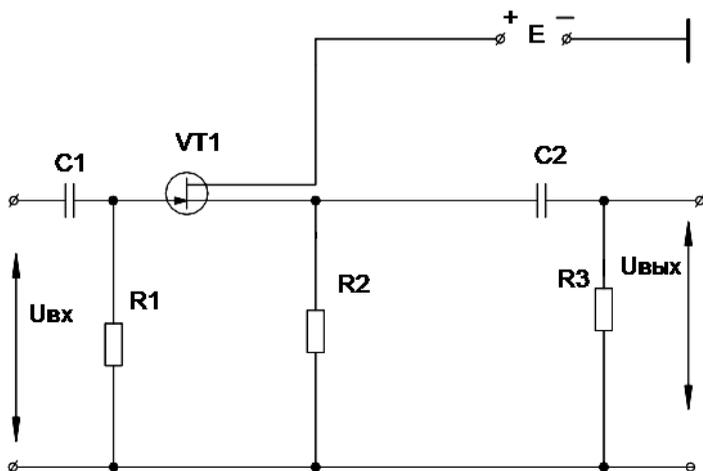
Вариант 14

Усилитель на полевом транзисторе, включенном по схеме ОИ



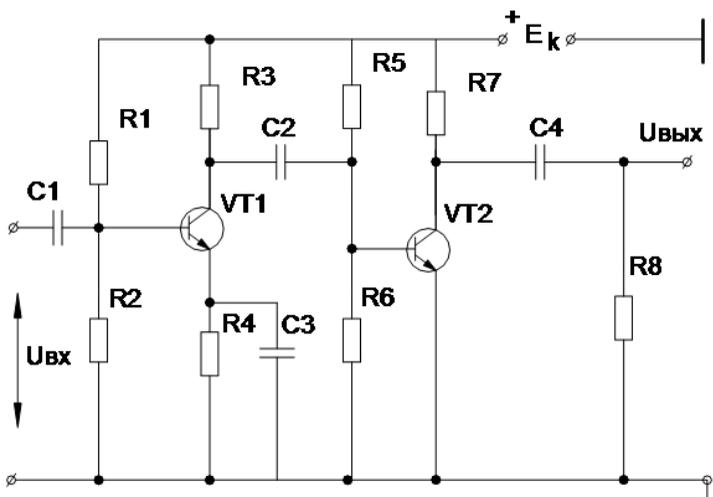
Вариант 15

Усилитель на полевом транзисторе, включенном по схеме ОС



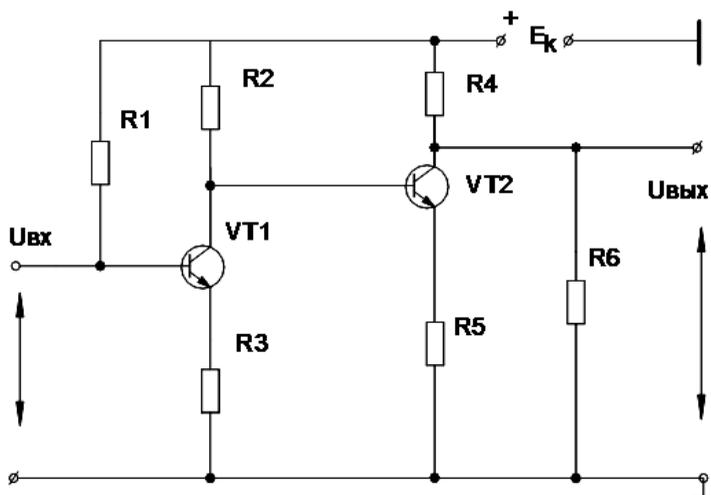
Вариант 16

Двухкаскадный усилитель



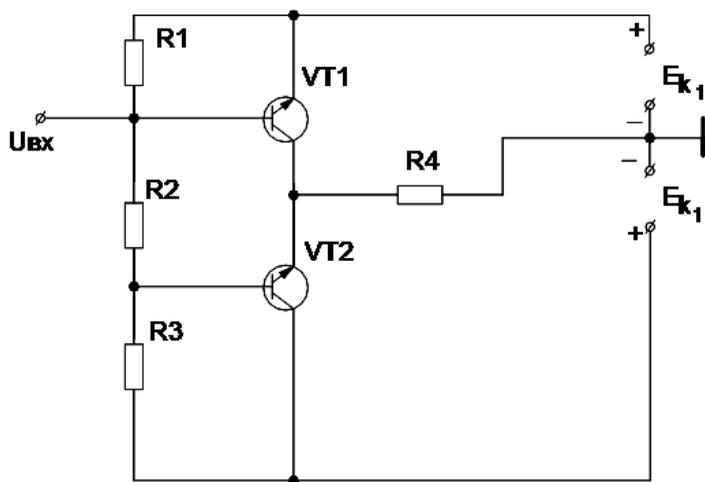
Вариант 17

Двухкаскадный усилитель постоянного тока



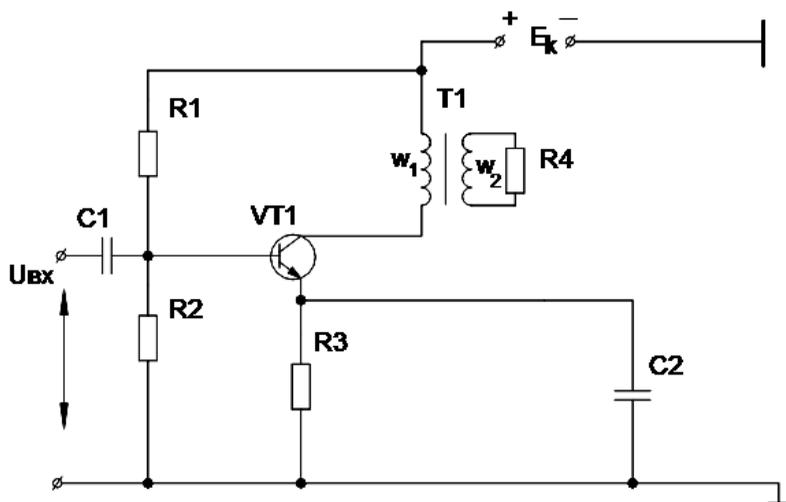
Вариант 18

Двухтактный усилитель мощности



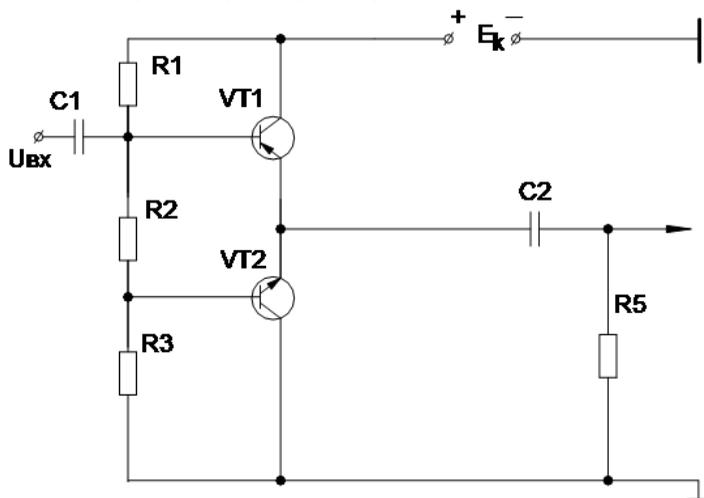
Вариант 19

Трансформаторный усилитель мощности



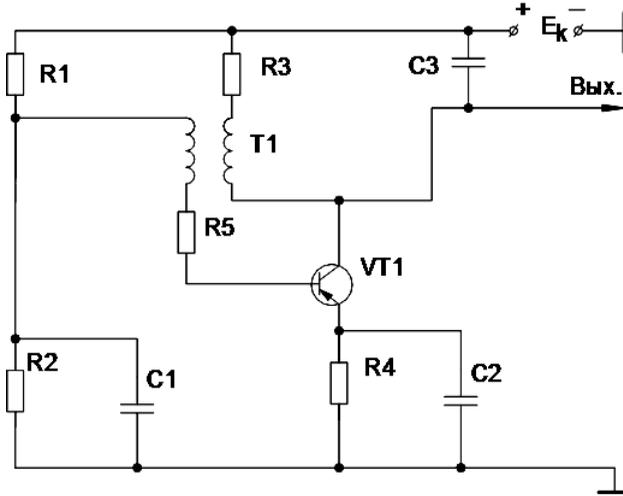
Вариант 20

Бестрансформаторный усилитель мощности



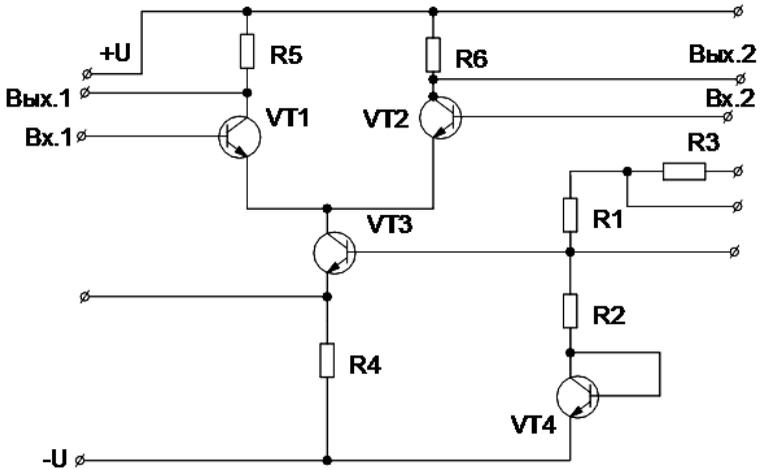
Вариант 21

Автогенератор с LC- контуром



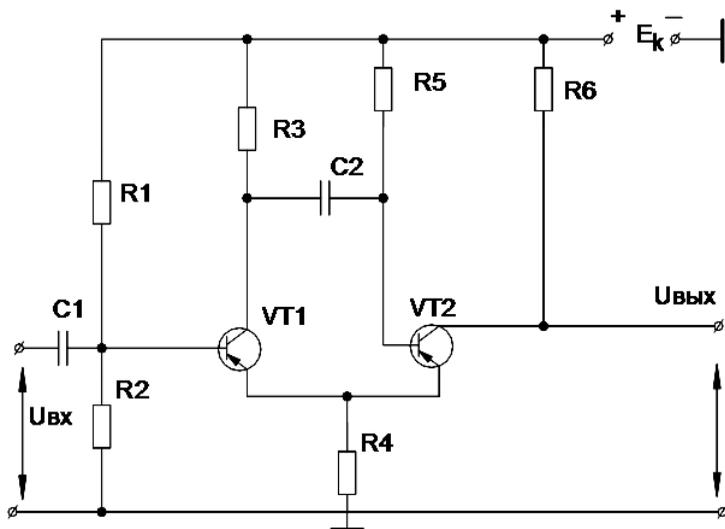
Вариант 22

Дифференциальный усилитель



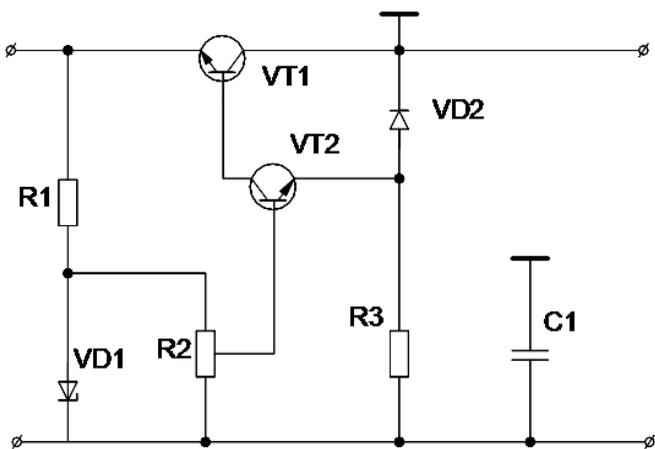
Вариант 23

Одновибратор



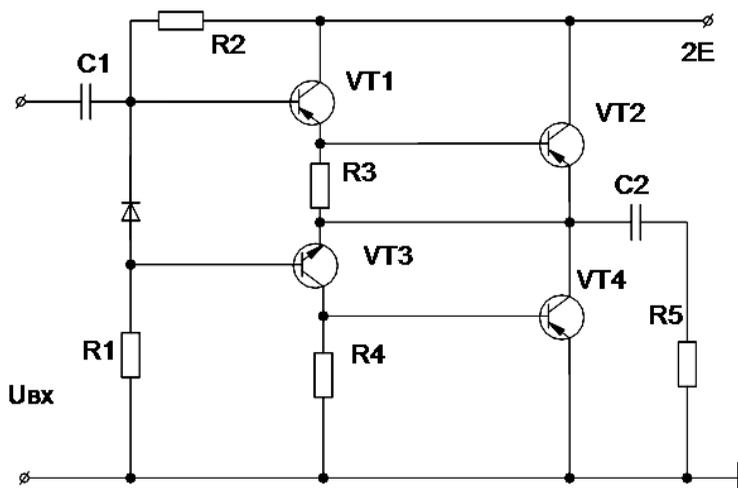
Вариант 24

Компенсационный стабилизатор напряжения



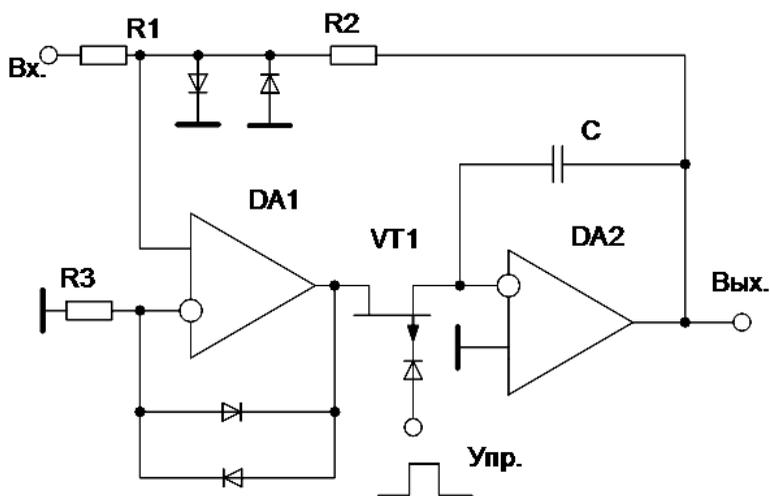
Вариант 25

Двухкаскадный бестрансформаторный усилитель мощности



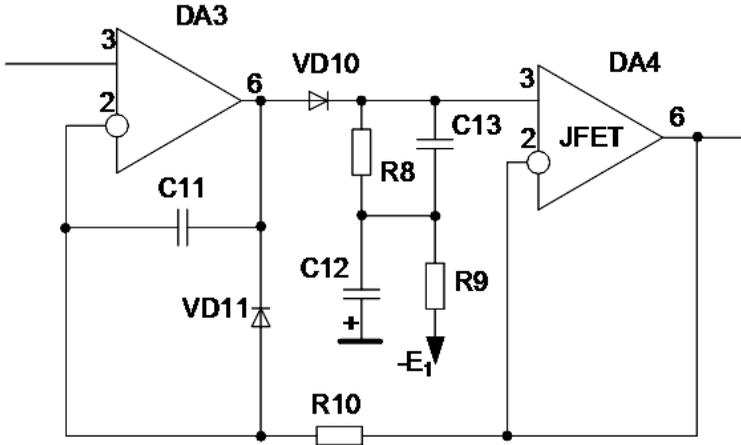
Вариант 26

Устройство выборки – хранения инвертирующего типа



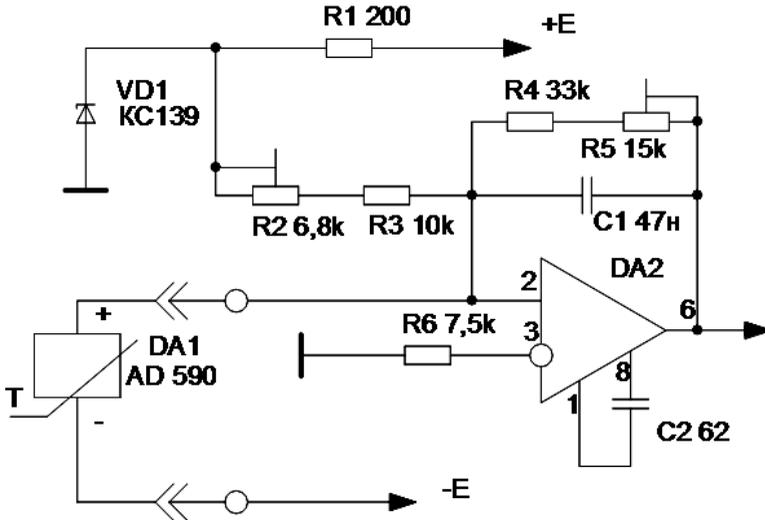
Вариант 27

Амплитудный детектор



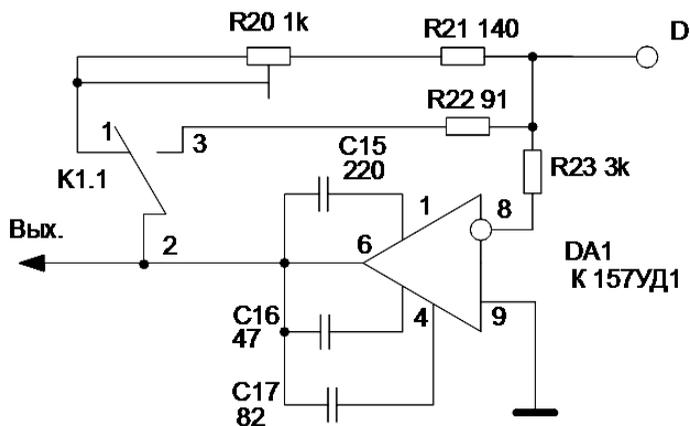
Вариант 28

Преобразователь «температура–напряжение»



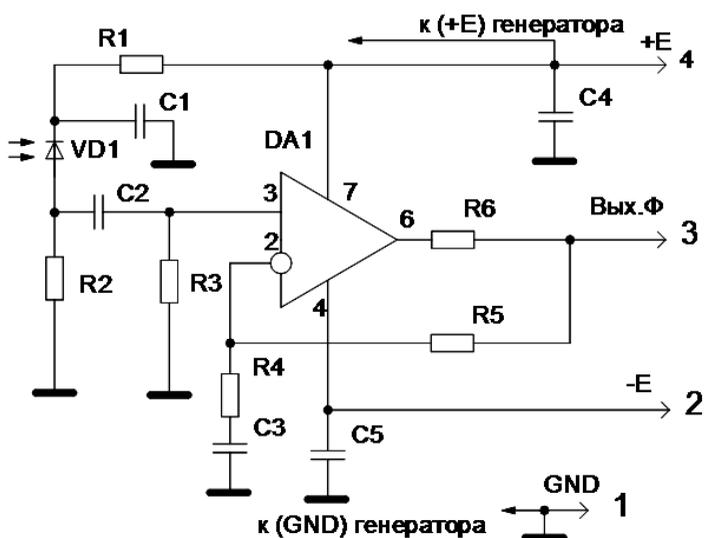
Вариант 29

Двухдиапазонный преобразователь «ток–напряжение»



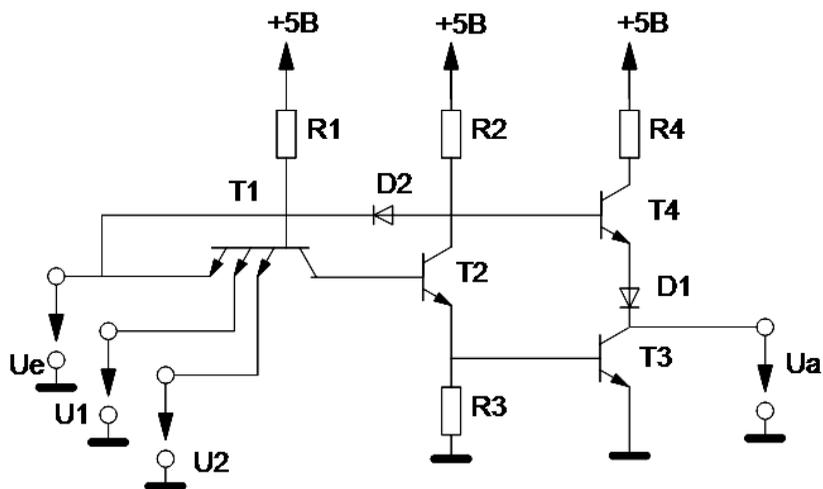
Вариант 30

Усилитель фотодатчика



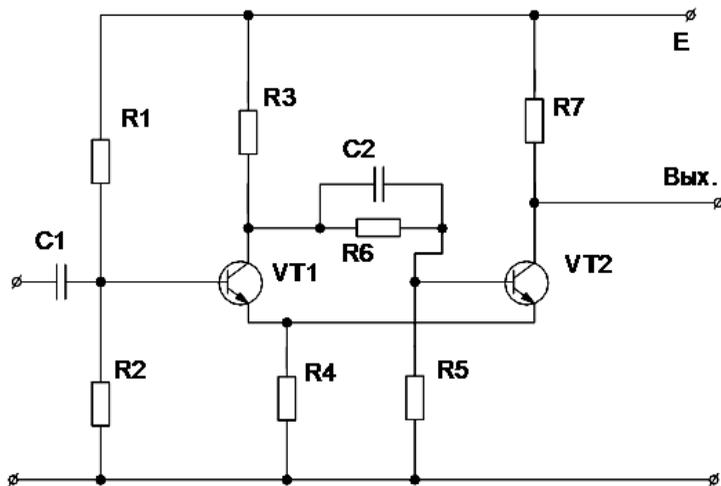
Вариант 31

Элемент ИС транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ)



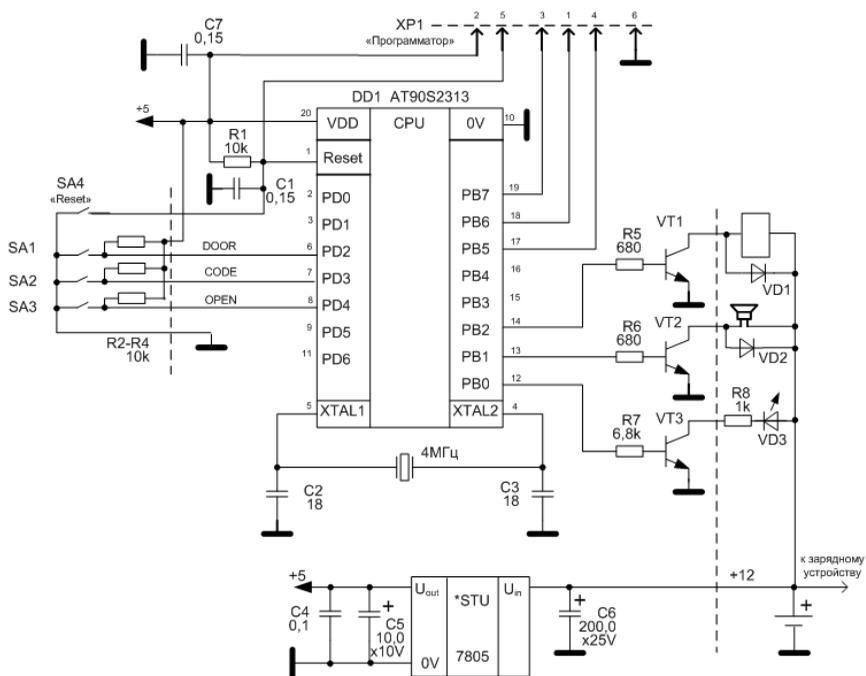
Вариант 32

Триггер Шмитта



Вариант 32

Электронный замок на микроконтроллере



Учебное издание

ЛЕШКЕВИЧ Александр Юрьевич
ДОРОГОКУПЕЦ Татьяна Васильевна
ТЯВЛОВСКИЙ Константин Леонидович
ТЯВЛОВСКИЙ Андрей Константинович

ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Методическое пособие по лабораторным работам
для студентов технических и технологических специальностей

Редактор Т.А. Подолякова
Технический редактор О.В. Дубовик
Компьютерная верстка О.В. Дубовик

Подписано в печать 30.10.2009.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 4,27. Тираж 200. Заказ 778.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.