

УДК 621.38

Составитель: А.С. Романченко

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *А.В. Филонович*

Электроника: основные понятия, термины и определения: методические рекомендации для самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей / Юго-Зал. гос. ун-т; сост.: А.С. Романченко. - Курск, 2019. 37 с.: Библиогр.: с. 37.

Приведены основные понятия, термины и определения, являющиеся базовыми в дисциплине «Электроника». Данные понятия, термины и определения распределены по основным разделам изучаемой дисциплины, имеют достаточно подробное описание и приведены в порядке их появления при освоении данной дисциплины. Приведены общие рекомендации по самостоятельному изучению студентами дисциплины «Электроника» с использованием материала, приведенного в данном методическом пособии.

Предназначены для индивидуальной самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей при изучении дисциплины «Электроника» и соответствующих разделов дисциплины «Электротехника и электроника» и аналогичных дисциплин. Могут быть использованы преподавателями, ведущими практические и лабораторные занятия по электронике, а также студентами, получающими среднее профессиональное образование.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *16.04.19* Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. *1,8* . Уч.-изд.л. *1,6* . Тираж 30 экз. Заказ *938* . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОНИКА»	4
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	6
2 ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ..	10
2.1 Полупроводниковые диоды и тиристоры	10
2.2 Транзисторы и микросхемы	12
3 ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ	20
4 УСИЛИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	24
5 ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ	29
6 ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ	31
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	37

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОНИКА»

Дисциплина «Электроника» изучается студентами, как правило, всех технических специальностей и направлений подготовки бакалавров или как отдельная дисциплина, или в составе дисциплины «Электротехника и электроника». В зависимости от требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования и с учетом утвержденных учебных планов по тем или иным специальностям и направлениям подготовки бакалавров название изучаемой студентами дисциплины может отличаться от исторически принятого названия «Электроника». Также для разных специальностей и направлений подготовки бакалавров отличается объем изучаемой дисциплины и её содержание (перечень разделов и тем), причем весьма существенно.

Цель данной работы – дать студенту основные понятия, термины и определения, которые должны послужить базой и своеобразными вехами при изучении основных разделов, входящих в классическую дисциплину «Электроника».

При самостоятельной работе по изучению дисциплины «Электроника» студент должен твердо помнить, что знания не приобретаются ради знаний. Для изучения данной дисциплины нужны знания и компетенции, полученные и освоенные при изучении физики (в первую очередь разделы электричества и магнетизма), электротехники и высшей математики. Даже знания и компетенции, полученные и освоенные при изучении дисциплины «Инженерная графика» пригодятся, ведь электронные схемы и схемы замещения электронных устройств необходимо уметь «читать» и чертить! В свою очередь знания и компетенции, полученные и освоенные при изучении дисциплины «Электроника» необходимы будут студенту при изучении последующих профилирующих дисциплин, а также в последующей профессиональной деятельности.

Данное методическое пособие построено следующим образом: основные понятия, термины и определения распределены по разделам. Разделы приведены в том порядке, в каком они представлены в большинстве учебников по электронике. Понятия, термины и определения внутри разделов приведены не в алфавитном порядке, а в той последовательности, в которой они, как правило, встречаются при изучении соответствующего раздела учебника. Это должно облегчить студенту

изучение материала по учебнику: прочитал определение соответствующего термина, а затем нашел его в учебнике. Или наоборот: встретил в учебнике термин и нашел его объяснение в данном методическом пособии. Рекомендуется следующий порядок использования данного методического пособия: вначале ознакомиться с основными понятиями, терминами и определениями соответствующего раздела данного пособия, а затем приступить к изучению аналогичного раздела учебника или учебного пособия или соответствующего методического указания к лабораторной работе.

Ряд приведенных терминов и определений могут оказаться знакомыми студентам, так как были изучены в курсе физики. При этом одни и те же понятия могут иметь отличное определение, что объясняется тем, что электроника – это наука о практическом использовании явлений, происходящих в проводниках, диэлектриках и полупроводниках, в то время как физика изучает эти явления с теоретической точки зрения.

Следует обратить внимание, что название разделов данного методического пособия может отличаться от названий, приведенных в разных учебниках или в рабочих программах дисциплин, соответствующих классической дисциплине «Электроника».

В библиографическом списке, приведенном в конце данного методического пособия, приведены далеко не все учебники и учебные пособия, которыми можно воспользоваться при изучении дисциплины «Электроника». Студент вправе сам выбрать себе учебник из числа тех, что рекомендует преподаватель, или есть в наличии в библиотеке. Рекомендуется пользоваться одним учебником, но когда какой-либо вопрос изложен в нем недостаточно ясно или вовсе не нашел отражения, использовать другой учебник или учебное пособие.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электроника – это отрасль науки и техники, изучающая: 1) физические явления в электровакуумных и полупроводниковых приборах, 2) электрические характеристики и параметры электровакуумных и полупроводниковых приборов, 3) свойства устройств и систем, основанных на применении электровакуумных и полупроводниковых приборов.

Первое из этих направлений составляет основу физической электроники, второе и третье направления - технической электроники. Как одну из областей в технической электронике можно выделить промышленную электронику, которая связана с применением электронных устройств в различных отраслях промышленности и обслуживает эти отрасли устройствами измерений, контроля, управления, преобразования электроэнергии, а также технологическими установками.

В электронике можно выделить четыре главных области применения электронных приборов: электросвязь, радиоэлектронную аппаратуру широкого применения, вычислительную технику и техническую кибернетику, промышленную электронику. В современных условиях эти области частично перекрывают друг друга, например, средства вычислительной техники так или иначе применяются во всех указанных областях применения электронных приборов.

Электросвязь охватывает несколько направлений техники: радиосвязь, радиовещание, телевидение, звуковое вещание, автоматическую электросвязь, многоканальную электросвязь, радиорелейную связь, космическую связь, волоконно-оптическую связь.

К радиоэлектронной аппаратуре широкого применения относят в основном бытовые радиоэлектронные устройства: радиоприемники, телевизоры, электрофоны, магнитофоны, музыкальные центры, устройства бытовой автоматики, электронные часы, электронные игрушки и др.

Вычислительная техника и техническая кибернетика связаны с разработкой и применением ЭВМ, автоматизированных систем управления (АСУ), систем автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированных информационных систем, автоматизированных обучающих и контролирующих систем, гибких автоматизированных производств и др.

Промышленная электроника включает аппаратуру производственной связи, измерительную аппаратуру, устройства электропита-

ния, оборудование для станков с числовым программным управлением, аппаратуру автоматики, телеуправления, телеметрии, медицинскую аппаратуру, электротехническое и энергетическое оборудование, аппаратуру радиолокации, лазерную технику, ядерную электронику, биологическую электронику и др.

Электронные приборы – отдельные неразделимые компоненты, являющиеся основой для построения радиоэлектронных устройств и систем. Их используют совместно с электротехническими элементами (резисторами, конденсаторами и индуктивными катушками) и элементами коммутационной аппаратуры. Основными типами электронных приборов являются электронные электровакуумные приборы, ионные электровакуумные или газоразрядные приборы, полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы.

К электронным электровакуумным приборам относят электронные лампы и электронно-лучевые трубки.

Ионные электровакуумные приборы – это приборы, принцип действия которых основан на взаимодействии электронов с ионной плазмой. К ионным приборам относятся тиратроны, ионные разрядники, газоразрядные стабилитроны и др.

Полупроводниковые приборы – это приборы, принцип действия которых основан на использовании свойств полупроводников. К этим приборам относят диоды, тиристоры, биполярные и полевые транзисторы, фотоэлектронные (например, фото- и светодиоды, фототранзисторы) и оптоэлектронные приборы.

Проводник – вещество, проводящее электрический ток по принципу движения свободных заряженных частиц (электронов в металлах). Основные проводники электрического тока – металлы, в кристаллической решетке которых существует высокая концентрация свободных электронов, образующих так называемый электронный газ, который может свободно перемещаться в объеме металла под воздействием внешнего электрического поля.

Изолятор – твердое, жидкое или газообразное вещество, не содержащее свободных носителей зарядов или содержащее незначительное их количество и оказывающее по этой причине большое сопротивление прохождению электрического тока. В группу изоляторов входят также диэлектрики.

Диэлектрик – вещество, не проводящее электрический ток. Внутренняя структура диэлектрика характеризуется полностью заполненной электронами валентной зоной и незаполненной зоной проводимо-

сти, между которыми существует широкая запрещенная зона, что не позволяет электронам переходить в зону проводимости. Из-за отсутствия электронов в зоне проводимости диэлектрик не может проводить электрический ток.

Полупроводник – вещество, основным свойством которого является зависимость его электропроводности от воздействия внешних факторов: температуры, электрического поля, света и т.д. Их проводимость связана с тем, что некоторые электроны из валентной зоны могут переходить через неширокую запрещенную зону в зону проводимости под воздействием внешних факторов и участвовать в протекании электрического тока.

Полупроводник типа n – полупроводник, в котором существует избыточное количество свободных электронов. Для этого нарушают кристаллическую структуру основного полупроводника за счет введения донорной примеси, например, в кристалл кремния или германия вводят атомы мышьяка, имеющие на внешней оболочке на один валентный электрон больше, чем у основного полупроводника. Этот электрон может легко перейти в зону проводимости и участвовать в протекании электрического тока.

Полупроводник типа p – полупроводник, в который в качестве акцепторной примеси вводят атомы элементов, имеющие на внешней оболочке на один валентный электрон меньше, чем у основного полупроводника (например, атомы индия вводят в кристалл кремния или германия). В кристаллической решетке вблизи такого атома в одном из узлов отсутствует один электрон и возникает дырка, которая заполняется электроном соседнего атома. В результате атом становится неподвижным отрицательным ионом, а дырка может перемещаться далее, т.е. носителями заряда являются подвижные дырки.

Электронно-дырочный ($p-n$) переход – это переход, который образован двумя областями полупроводника с разными типами проводимости: электронной и дырочной. Электронно-дырочный переход нельзя создать простым соприкосновением двух полупроводниковых пластин p -типа и n -типа, т.к. в месте соединения невозможно обеспечить общую кристаллическую решетку без дефектов. На практике широко используется метод получения $p-n$ -перехода путем введения в полупроводник примеси с противоположным типом проводимости, например, с помощью диффузии или эпитаксии.

Частотная характеристика – это график или аналитическое выражение, представляющее для данной цепи или устройства зависимость

тока, напряжения или коэффициента передачи (усиления) от частоты подводимого к нему синусоидального колебания. Как правило, используется зависимость амплитуды от частоты – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), реже зависимость фазы от частоты – фазо-частотная характеристика (ФЧХ).

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) – зависимость напряжения на элементе от тока в нём (или наоборот). Является одной из основных характеристик элементов электрической цепи и электронного устройства.

Линейные искажения – это искажения сигнала, возникающие в электронных цепях, связанные с тем, что синусоидальные сигналы с различными частотами передаются с разным затуханием (усилением) и разным отставанием по фазе. В результате этих искажений частотная характеристика отличается от линейной плоской характеристики, которая наиболее подходит для передающего устройства.

2 ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

2.1 Полупроводниковые диоды и тиристоры

Полупроводниковый диод – полупроводниковый прибор с одним p - n -переходом и двумя выводами.

По назначению различают основные группы диодов: 1) выпрямительные; 2) детекторные, преобразовательные, переключающие, импульсные; 3) стабилитроны; 4) варикапы; 5) туннельные диоды; 6) светодиоды; 7) фотодиоды и др.

Для выпрямительных (силовых) диодов основными являются их статические параметры: сопротивление в прямом и обратном направлениях, допустимое обратное напряжение, максимальный прямой ток. Это, как правило, плоскостные диоды с относительно большей площадью p - n -перехода, что позволяет пропускать большие токи.

Детекторные, преобразовательные, переключающие, импульсные диоды – это все диоды с относительно малой площадью p - n -перехода, что позволяет пропускать малые токи высокой частоты.

Точечный диод – это диод, в котором с кристаллом полупроводника типа n или p , образующего один электрод диода, контактирует металлический проводник в виде острия, являющегося другим электродом. При сплавлении острия с кристаллом образуется микропереход. По сравнению с плоскостным диодом падение напряжения на точечном диоде в прямом направлении очень мало, а ток в обратном направлении значительно меняется в зависимости от напряжения. Точечные диоды обладают малой межэлектродной емкостью и часто используются в высокочастотных схемах.

Диод Шотки – это плоскостной диод с переходом металл-полупроводник вместо p - n -перехода. Проводимость диода Шотки основана на протекании основных носителей заряда в отличие от p - n -перехода, в котором ток в проводящем направлении возникает за счет движения неосновных для рассматриваемой области носителей заряда. При использовании полупроводника n -типа основными носителями заряда являются электроны, протекающие в слой металла. По сравнению с точечным диодом диод Шотки имеет более крутую ВАХ в области малых напряжений в прямом направлении, значительно меньший обратный ток, меньший разброс параметров, большую надежность и высокую устойчивость к ударам, а также меньшее сопротивление в прямом направлении, малую инерционность. Как недостаток,

несколько большая паразитная емкость. Диоды Шотки применяются в высокочастотных схемах (детекторных, переключающих), а также включаются в состав интегральных схем для увеличения их быстродействия. Диапазон частот данных диодов – до 2000 ГГц.

Стабилитрон – полупроводниковый диод, обратная ветвь ВАХ которого имеет участок со слабой зависимостью напряжения от тока.

Основными параметрами стабилитрона, включаемого параллельно нагрузке в обратном направлении, являются номинальное значение напряжения стабилизации $U_{ст}$, минимально и максимально допустимые значения тока стабилизации I_{min} , I_{max} и стабильность номинального напряжения стабилизации.

Варикап – это полупроводниковый диод с управляемой емкостью $p-n$ -перехода. Основные параметры варикапа, включаемого в обратном направлении, как конденсатора переменной емкости: $C_{ном}$, C_{max} , C_{min} .

Туннельный диод – это полупроводниковый диод, в котором благодаря использованию высокой концентрации примесей возникает очень узкий потенциальный барьер и наблюдается туннельный механизм переноса зарядов через $p-n$ -переход. ВАХ туннельного диода имеет область отрицательного сопротивления, т.е. область, где положительному приращению напряжения соответствует отрицательное приращение тока.

Тиристор – это полупроводниковый прибор с тремя и более $p-n$ -переходами, предназначенный для выпрямления и переключения электрического тока, в ВАХ которого имеется участок отрицательного дифференциального сопротивления.

Материал для изготовления тиристоров – кремний. Различают в зависимости от числа внешних электродов (выводов): диодные тиристоры (динисторы) с двумя выводами, триодные тиристоры (тринисторы) с тремя выводами, тетродные тиристоры (тетристоры) с четырьмя выводами. В зависимости от способности пропускать ток в одном или двух направлениях тиристоры разделяются на несимметричные (однопроводящие) и симметричные или симисторы (двухпроводящие). На практике, как правило, разделяют (в речи специалистов и в технической литературе): динисторы, симисторы и тиристоры (т.е. все остальные). Тиристоры широко применяются в управляемых выпрямителях, стабилизаторах напряжения, в качестве переключателей, выключателей и основных элементов в технике автоматического регулирования и ключевых схемах.

Тринистор – это полупроводниковый прибор с четырехслойной структурой, имеющей дополнительный третий вывод (управляющий электрод), соединенный с внутренней областью p -типа (как правило). Управляющий электрод позволяет включать тиристор при напряжении, меньшем напряжения включения, установленного для данного прибора. Управляющий электрод, если он соединён с внутренней областью n -типа, также можно использовать для выключения тиристора.

Тетристор – это полупроводниковый прибор с четырехслойной структурой, имеющей дополнительно два вывода (управляющих электрода), соединенных с внутренними областями p -типа и n -типа, что расширяет возможности управления работой тиристора: включать и выключать его.

Симистор – это симметричный тиристор с одним управляющим электродом, который может быть включен как при положительном, так и при отрицательном напряжении смещения анода с помощью положительного или отрицательного импульса, поданного на управляющий электрод.

2.2 Транзисторы и микросхемы

Транзистор – это полупроводниковый прибор с тремя и более выводами, который обладает свойством усиления электрического сигнала. Транзистор – английское слово, введенное в 1948 г. и составленное из двух слов: TRANSfer reSISTOR – преобразующий (изменяющий) сопротивление. По принципу работы транзисторы делятся на биполярные и униполярные (полевые). В зависимости от материала различают германиевые, кремниевые и арсенидо-галлиевые транзисторы.

Биполярный транзистор – полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими p - n -переходами, в котором две крайние области с однотипной проводимостью разделены областью противоположной электропроводности, а ток через него создается совместным действием носителей заряда обоого типа: электронов и дырок.

Биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру, созданную в одном кристалле путем введения акцепторной или донорской примеси. В зависимости от электропроводности исходного полупроводника различают транзисторы p - n - p -типа (в основном германиевые) и n - p - n -типа (в основном кремниевые).

Центральный слой называют базой. Наружный слой, являющийся источником носителей зарядов, которые главным образом и создают ток прибора, называют эмиттером, а наружный слой, принимающий заряды, поступающие от эмиттера, – коллектором. Прилегающие к коллектору и эмиттеру *p-n*-переходы называются соответственно коллекторным и эмиттерным *p-n*-переходами.

В зависимости от того, какой вывод транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают схемы включения транзистора: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК).

Полевой транзистор – полупроводниковый прибор, в котором управление выходным током осуществляется электрическим полем, а не током, как в биполярных транзисторах.

Так как в полевых транзисторах выходной ток образован носителями одного знака, такие транзисторы называют еще униполярными.

Для того чтобы управлять током в полупроводнике с помощью электрического поля, нужно менять либо площадь проводящего полупроводникового слоя, либо его удельную проводимость. В полевых транзисторах используют оба способа. Поэтому различают транзисторы с управляющим *p-n*-переходом и МДП-транзисторы (металл-диэлектрик-полупроводник) или иначе МОП-транзисторы (металл-окисел-полупроводник). МДП-транзисторы делятся в свою очередь на МДП-транзисторы с индуцированным и со встроенным каналом. На практике, как правило, термин «полевой» используют для транзисторов с управляющим *p-n*-переходом.

В полевом транзисторе различают: канал - область полупроводника одного типа между двумя *p-n*-переходами, сопротивление которой зависит от внешнего электрического поля. Электрод, из которого в канал входят основные носители заряда, называют истоком, а электрод, в который уходят основные носители заряда - стоком. Электрод, служащий для регулирования сопротивления канала, называется затвором.

Полевые транзисторы изготавливаются из кремния и подразделяются на транзисторы с каналами *p* и *n* типов.

Название МДП (МОП) подчеркивает особенности технологии изготовления данного вида транзисторов: затвор в виде металлизированной поверхности (буква М) отделен слоем диэлектрика (окислом кремния – буква Д или О) от кристалла кремния (полупроводника – буква П).

В основе работы полевого транзистора с управляющим p - n -переходом лежит изменение площади поперечного сечения проводящего канала. Для этого к затвору подводят запирающее напряжение, что вызывает расширение закрытого p - n -перехода между затвором и каналом в сторону канала.

Работа МДП (МОП) транзисторов основана на изменении удельного сопротивления канала. Для этого на затвор, изолированный от канала слоем диэлектрика, подается управляющее напряжение, за счет которого меняется концентрация носителей заряда в области канала.

В зависимости от того, какой вывод транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают схемы включения транзистора: с общим истоком (ОИ), с общим затвором (ОЗ), с общим стоком (ОС).

Если входной сигнал подавать на вход затвора, то входное сопротивление полевого транзистора очень велико – до 1 МОм и более.

По сравнению с биполярными транзисторами полевые транзисторы имеют следующие преимущества:

- большое входное сопротивление;
- малую зависимость параметров от температуры;
- возможность работы в диапазоне как положительных, так и отрицательных сигналов (для МОП-транзисторов со встроенным каналом).

Недостатки полевых транзисторов:

- малая мощность;
- малая внутренняя крутизна (проводимость прямой передачи);
- большая входная емкость;
- восприимчивость к статическому электричеству, которое может привести к пробоему транзистора (для МОП-транзисторов в первую очередь).

Меза-транзистор – это биполярный транзистор, выполненный таким образом, что на пластинке полупроводника, образующего коллектор, с помощью диффузии создается область базы, а на поверхности пластины напыляются выводы базы и эмиттера в виде полосок. В результате можно получить очень узкие p - n -переходы. Меза-транзисторы имеют очень высокую граничную частоту (несколько сотен мегагерц) и могут иметь большую выходную мощность.

Планарный транзистор – это биполярный диффузионный транзистор плоской конструкции, в котором оба перехода выполнены методом диффузии и расположены на одной и той же стороне кремниевой

пластины. Поверхность такого транзистора покрыта тонким защитным слоем двуокиси кремния, что обеспечивает высокое постоянство параметров во времени, в частности малые токи утечки и высокую надежность.

Комплементарные (взаимодополняющие) транзисторы – это два транзистора $p-n-p$ и $n-p-n$ типа, имеющие полностью совпадающие основные параметры и характеристики. В электронных схемах часто используются парами.

h -параметры транзистора – параметры транзистора, представленного в виде четырехполюсника. Например:

h_{11} – входное сопротивление транзистора в режиме короткого замыкания на его выходе;

h_{12} – коэффициент обратной связи транзистора в режиме холостого хода на его входе;

h_{21} – коэффициент передачи тока транзистора в режиме короткого замыкания на его выходе (для схемы включения с общим эмиттером – коэффициент усиления тока базы, т.е. основной параметр биполярного транзистора как усилителя тока);

h_{22} – входная проводимость транзистора в режиме холостого хода на его входе.

Схема с общей базой (ОБ) – схема включения биполярного транзистора, в которой вывод базы является общим для входной и выходной цепей. Основные свойства схемы с ОБ: большое усиление по напряжению (до 1000 и более), коэффициент усиления по току меньше единицы, большое усиление по мощности (около 1000), малое входное сопротивление (около 200 Ом), высокое выходное сопротивление (около 500 кОм).

Схема с общим эмиттером (ОЭ) – схема включения биполярного транзистора, в которой вывод эмиттера является общим для входной и выходной цепей. Основные свойства схемы с ОЭ: большое усиление по напряжению (до 1000 и более), большое усиление по току (не менее 30), большое усиление по мощности (около 30000), среднее входное сопротивление (около 2 кОм), среднее или высокое выходное сопротивление (до 100 кОм).

Схема с общим коллектором (ОК) – схема включения биполярного транзистора, в которой вывод коллектора является общим для входной и выходной цепей. Основные свойства схемы с ОК: большое усиление по току (до 30), усиление по напряжению меньше единицы,

малое усиление по мощности (около 30), большое входное сопротивление (до 2 МОм), малое выходное сопротивление (не более 200 Ом).

Схема с общим истоком (ОИ) – схема включения полевого транзистора, в которой вывод истока является общим для входной и выходной цепей.

Схема с общим затвором (ОЗ) – схема включения полевого транзистора, в которой вывод затвора является общим для входной и выходной цепей.

Схема с общим стоком (ОС) – схема включения полевого транзистора, в которой вывод стока является общим для входной и выходной цепей.

Статические характеристики транзистора – это зависимости между токами и напряжениями на различных выводах транзистора, которые получают при подаче на соответствующие выводы регулируемых постоянных напряжений. Статические характеристики снимают путем измерений в простой измерительной схеме или находят в каталогах или справочниках. Статические характеристики позволяют определить ряд параметров транзистора и выбрать соответствующие условия его работы. К статическим характеристикам относятся входные и выходные характеристики транзистора.

Входные характеристики транзистора в схеме с ОЭ – зависимости тока базы от напряжения между базой и эмиттером при разных значениях напряжения между коллектором и эмиттером биполярного транзистора.

Выходные характеристики транзистора в схеме с ОЭ – зависимости тока коллектора от напряжения между коллектором и эмиттером при разных значениях тока базы биполярного транзистора.

Рабочая (нагрузочная) характеристика транзистора – это уравнение прямой, выражающее зависимость тока коллектора от напряжения на нем при определенных значениях напряжения источника питания и сопротивления нагрузки. По рабочей характеристике можно определить мгновенные значения напряжений и токов при подаче на вход транзистора управляющего сигнала. Рабочая (нагрузочная) характеристика строится на выходных характеристиках транзистора.

Шумы транзисторов – различают тепловые, дробовые и структурные шумы. Источником тепловых шумов являются распределенные сопротивления полупроводника. Для биполярного транзистора решающее значение имеет величина сопротивления базы. Дробовые шумы связаны с флуктуациями прохождения носителей зарядов через

p-n-переходы. Структурные шумы образуются шумами поверхностной рекомбинации и шумами утечки коллектора.

Эксплуатационные параметры транзисторов – это параметры, предельные значения которых указывают на возможности практического применения транзисторов. К основным эксплуатационным параметрам относятся:

- максимально допустимый выходной ток: для биполярных транзисторов ток коллектора I_{Kmax} , для полевых транзисторов ток стока I_{Cmax} . Превышение I_{Kmax} приводит к тепловому пробоему коллекторного перехода и выходу транзистора из строя. I_{Cmax} ограничивается максимально допустимой мощностью, рассеиваемой стоком транзистора;

- максимально допустимое напряжение между выходными выводами транзистора: $U_{KЭmax}$ для биполярных транзисторов и $U_{СИmax}$ для полевых транзисторов. Это напряжение определяется значениями пробивного напряжения коллекторного перехода биполярных транзисторов и пробивного напряжения участка «сток – затвор» полевых транзисторов;

- максимально допустимая мощность рассеяния: в биполярном транзисторе это мощность P_{Kmax} , рассеиваемая коллектором и бесполезно расходуемая на нагревание транзистора. Для полевого транзистора это мощность P_{Cmax} , рассеиваемая стоком транзистора. Определяется без использования специальных теплоотводящих устройств – радиаторов.

Область рабочих режимов транзистора (рабочая область) – область на выходных характеристиках транзистора, ограниченная максимально допустимым выходным током, максимально допустимым напряжением между выходными выводами транзистора и максимально допустимой мощностью рассеяния.

Области работы транзистора – области на выходных характеристиках биполярного транзистора, определяющие работу транзистора в зависимости от смещения *p-n*-переходов. Данное понятие также используется без привязки к графическим характеристикам транзистора, чтобы охарактеризовать работу транзистора в различных режимах.

При работе транзистора как усилителя малых сигналов эмиттерный переход открыт, а коллекторный закрыт. Это активная область работы (активный режим работы), в которой транзистор приближенно можно считать линейным активным элементом и пользоваться параметрами, приводимыми в справочниках. При этом увеличение напряжения $U_{KЭ}$ ведет к существенному возрастанию тока I_K .

Область, в которой как эмиттерный, так и коллекторный переходы смещены в обратном направлении (закрыты), называют областью отсечки (режим отсечки). В этой области ток коллектора минимален ($I_K = I_{K0}$), а напряжение на коллекторе максимально.

Областью насыщения (режим насыщения) называется область, в которой эмиттерный и коллекторный переходы смещены в прямом направлении (открыты). Коллекторный ток достигает насыщения (на выходных характеристиках это почти горизонтальные участки), падение напряжения на коллекторе имеет очень малое значение. В этой области входное сопротивление транзистора в схеме с ОЭ очень мало, благодаря чему достигается большое постоянство амплитуды выходного сигнала, не зависящее от изменения входного сигнала.

Режим переключения – режим работы биполярного транзистора при достаточно большом сигнале, когда мгновенная рабочая точка транзистора проходит через три области: отсечки, активную и насыщения. Подобные условия работы наблюдаются очень часто в схемах импульсной и цифровой техники, т.е. при импульсных сигналах достаточной амплитуды. При этом различают управление работой транзистора током, напряжением и зарядом.

Управлением транзистором по току называют управление входной цепью от источника с большим внутренним сопротивлением по сравнению с входным сопротивлением транзистора.

Управлением транзистором по напряжению называют управление входной цепью от источника с малым внутренним сопротивлением по сравнению с входным сопротивлением транзистора. При импульсном управлении по току и по напряжению скачкообразное изменение тока базы не вызывает мгновенного изменения тока коллектора.

Управление зарядом состоит во введении в базу требуемого заряда сразу, целиком, а не на принципе постепенного накопления этого заряда, как это имеет место, например, в случае управления при постоянном токе базы. Управление зарядом осуществляется, в частности, путем использования цепи с ускоряющим конденсатором: импульс, связанный с наличием емкости во входной цепи, вводит в базовую область такой заряд в начальный момент времени, что ток коллектора очень быстро достигает своего установившегося значения. В результате получаем наибольшую крутизну импульса выходного напряжения транзистора, т.е. наименьшее время фронта импульса.

Радиатор – металлический элемент, на котором размещается полупроводниковый прибор (транзистор, интегральная микросхема и

т.д.) и который отбирает от него тепловую энергию и отдает её в окружающую среду. Применение радиатора позволяет получить от полупроводникового прибора большую мощность, чем при работе без радиатора. Для увеличения теплоизлучающей поверхности радиатор снабжают ребрами или выступами. Радиаторы, как правило, изготавливают из алюминия и его сплавов.

Интегральные микросхемы (ИС или ИМС) – это приборы, использующие свойства полупроводниковых веществ и представляющие собой совокупность нескольких взаимосвязанных компонентов (транзисторов, диодов, резисторов и т.д.), изготовленных в едином технологическом цикле на полупроводниковых или диэлектрических подложках и выполняющих функцию преобразования информации. Как правило, ИС представляет собой законченный функциональный узел.

В зависимости от технологии изготовления различают полупроводниковые, пленочные и гибридные ИС. В полупроводниковой ИС все компоненты, элементы и межэлементные соединения выполнены в объеме и на поверхности полупроводниковой подложки. В пленочной ИС все элементы (резисторы, конденсаторы, индуктивные катушки) и межэлементные соединения выполнены только в виде пленок проводящих и диэлектрических материалов на поверхности диэлектрической подложки. В гибридных ИС кроме элементов содержатся простые и сложные бескорпусные компоненты (диоды, транзисторы, кристаллы полупроводниковых ИС и др.), расположенные на поверхности диэлектрической подложки.

3 ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Выпрямление электрических сигналов – это процесс, в результате которого переменное входное электрическое колебание преобразуется в выходное колебание только одного знака. Процесс выпрямления используется в устройствах электропитания (блоках питания) и в демодуляторах (при обработке модулированных колебаний).

Выпрямитель – это устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный ток. Выпрямителем иногда называют элемент с однонаправленным свойством пропускать ток, который используется в схемах выпрямления.

Основными элементами выпрямителя являются вентили, с помощью которых обеспечивается одностороннее протекание тока в цепи нагрузки. Часто перед ними включается трансформатор для получения нужного напряжения (для ряда выпрямительных схем он необходим). Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения и тока к выходным зажимам блока вентилей подключают сглаживающий фильтр. Для регулирования или стабилизации выпрямленного напряжения и тока после него подключают регулятор или стабилизатор. Таким образом, схема выпрямителя, который можно использовать как блок питания для различных электротехнических и электронных устройств, содержит последовательно включенные блоки: трансформатор, блок вентилей (выпрямительная схема), сглаживающие фильтры, стабилизатор напряжения (и/или тока), совмещенный при необходимости с регулятором выходного напряжения. В простейшем случае выпрямитель представляет собой только выпрямительную схему.

В зависимости от числа фаз питающего напряжения различают схемы однофазного и трехфазного выпрямления. Существуют управляемые и неуправляемые выпрямители.

Основными параметрами выпрямителей являются:

- 1) средние значения выпрямленного напряжения и тока;
- 2) максимальное значение обратного напряжения на вентиле;
- 3) КПД;
- 4) коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения как отношение амплитуды данной гармонической составляющей выпрямленного напряжения (тока) к среднему значению выпрямленного напряжения (тока).

Кроме того выпрямители характеризуются внешней характеристикой – зависимостью напряжения на выходе от тока нагрузки.

В качестве вентиля в выпрямителях можно использовать полупроводниковые, электронные электровакуумные и ионные электровакуумные диоды, а также тиристоры.

Для выпрямления однофазного тока широко применяются три схемы выпрямления: однополупериодная и две двухполупериодные (с выводом нулевой точки вторичной обмотки трансформатора и мостовая).

Однополупериодный выпрямитель – это выпрямитель, на выходе которого после процесса выпрямления остаются только колебания одного знака.

Двухполупериодный выпрямитель – это выпрямитель, на выходе которого после процесса выпрямления и положительные, и отрицательные участки входного напряжения преобразуются в колебания одного знака.

В таблице 3.1 сравниваются технические параметры основных схем однофазных выпрямителей.

Таблица 3.1 – Сравнение выпрямительных схем

Параметр	Тип выпрямительной схемы		
	Однополупериодная	С выводом нулевой точки трансформатора	Мостовая
Количество диодов	1	2	4
Среднее значение выходного напряжения относительно действующего напряжения на вторичной обмотке трансформатора	0,45	0,9	0,9
КПД выпрямителя	0,4	0,81	0,81
Коэффициент использования трансформатора	0,28	0,69	0,81
Коэффициент пульсаций	1,57	0,67	0,67
Частота пульсаций	50	100	100

Электрический фильтр – это пассивный четырёхполюсник, пропускающий сигналы некоторой полосы частот с малым затуханием (ослаблением), а сигналы вне этой полосы частот – с большим затуханием. Фильтры применяют в выпрямительной технике для сглаживания пульсаций, поэтому их называют сглаживающими фильтрами.

Простейшими сглаживающими фильтрами являются конденсатор (емкостной фильтр) и дроссель (индуктивный фильтр) – индуктивная катушка с ферромагнитным сердечником. Более сложные фильтры представляют собой комбинации из конденсаторов, резисторов и ин-

дуктивных катушек (дросселей), например, Г-образные RC и LC-фильтры, П-образные CRC и CLC-фильтры. Активные фильтры строят с использованием транзисторов.

Внешняя (нагрузочная) характеристика выпрямителя – зависимость среднего значения выпрямленного напряжения от среднего значения выпрямленного тока.

Коэффициент пульсаций выпрямителя – это отношение максимального значения переменной составляющей выходного напряжения выпрямителя к значению постоянной составляющей этого напряжения.

Коэффициент использования трансформатора в выпрямительной схеме – это отношение выходной мощности постоянного тока к номинальной полной мощности вторичной обмотки трансформатора.

Частота пульсаций выпрямителя – это основная частота переменной составляющей выходного напряжения выпрямителя. Фильтрация пульсаций тем проще, чем выше частота пульсаций.

Умножитель напряжения – это выпрямительная схема, выходное напряжение которой в разы больше пикового входного напряжения (удвоитель, утроитель напряжения и т.д.). Умножители напряжения используют для питания схем, потребляющих относительно небольшой ток при высоком напряжении, например, для питания электронных трубок осциллографов. Основными элементами умножителей напряжения являются диоды и конденсаторы.

Управляемый выпрямитель – это выпрямитель, допускающий регулировку напряжения и выпрямленного тока. В таких выпрямителях регулировка осуществляется или в выпрямительной схеме, в которой в качестве вентилях используют управляемые тиристоры – тринисторы, или в блоке стабилизатор-регулятор напряжения.

Стабилизирующая схема – это электронная схема, предназначенная для поддержания постоянного напряжения или тока в заданной цепи, например, на выходе выпрямителя при изменениях напряжения, питающего этот выпрямитель, или изменениях сопротивления нагрузки. Стабилизирующие схемы также используются в усилителях и других электронных устройствах для стабилизации заданных режимов их работы.

Стабилизатор напряжения (тока) – это устройство или электронная схема, предназначенная для поддержания постоянного выходного напряжения или тока на выходе выпрямителя при изменениях напряжения, питающего этот выпрямитель, или изменениях сопротивления

нагрузки. Различают последовательные и параллельные схемы стабилизации напряжения (тока) в зависимости от их включения относительно нагрузки.

Импульсный стабилизатор напряжения – это схема, в которой транзистор, включенный последовательно с нагрузкой, периодически переключается в состояние отпирания и запираания. Время отпирания транзистора, а значит и выходное напряжение на нагрузке, подключенной только во время отпирания, зависят от мгновенного отклонения выходного напряжения от номинального значения. Так достигается стабилизация постоянного выходного напряжения. На выходе такого стабилизатора необходимо применять фильтры, исключаящие переменную составляющую, которая возникает в результате работы транзистора в прерывистом режиме. Импульсный стабилизатор напряжения имеет большой КПД и малые тепловые потери.

Инвертор – в технике вторичного электропитания это устройство, преобразующее постоянный ток в переменный ток.

4 УСИЛИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Электронный усилитель – это устройство, увеличивающее уровень электрических сигналов за счет энергии источника питания. Собран усилитель на транзисторах (раньше – на электронных лампах), обладающих управляющими и усилительными свойствами.

Усилители можно классифицировать следующим образом:

- 1) по характеру усиливаемого сигнала: усилители переменного тока, усилители постоянного тока, импульсные усилители;
- 2) по сложности внутренней структуры: однокаскадные усилители, многокаскадные усилители;
- 3) по назначению: усилители напряжения, усилители тока и усилители мощности;
- 4) по межкаскадным связям: усилители с резистивно-емкостной связью, усилители с гальванической связью и усилители с трансформаторной связью;
- 5) по частоте усиливаемого сигнала: низкочастотные усилители, среднечастотные усилители, высокочастотные усилители.

Усилители классов А, В, С – это усилители сигналов, работающие в определенных режимах.

Работой в классе А называют режим работы, при котором положение рабочей точки на выходных характеристиках транзистора таково, что выходной ток протекает в течение времени длительности переменного входного сигнала, т.е. в течение всего периода. При этом имеют место наименьшие искажения сигнала.

В классе В выходной ток протекает только в течение полупериода входного колебания. При отсутствии входного колебания выходной ток, соответствующий рабочей точке, почти равен нулю и в транзисторе выделяется очень малая мощность. Промежуточное положение рабочей точки между режимами А и В соответствует классу АВ.

В классе С выходной ток протекает в течение времени, меньше, чем полупериод. При этом имеют место наибольшие искажения сигнала, но при наибольшей энергетической эффективности.

Однокаскадный усилитель (усилительный каскад) – это усилитель, содержащий один активный элемент: электровакуумную лампу, биполярный или полевой транзистор. В зависимости от схемы включения различают следующие усилительные каскады на транзисторах:

- на биполярном транзисторе – с общим эмиттером, общим коллектором, общей базой;

- на полевом транзисторе – с общим затвором, общим истоком, общим стоком.

Широкополосный усилитель – это усилитель, используемый для усиления сигналов с широким спектром частот, часто сравнимым с полосой усиления применяемых активных элементов (ламп или транзисторов).

Частотная характеристика усилителя – это зависимость коэффициента усиления от частоты входного синусоидального сигнала. Так как коэффициент усиления является комплексной величиной, то различают две частотные характеристики – амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики (АЧХ и ФЧХ соответственно), которые также называют амплитудной и фазовой характеристиками. АЧХ и ФЧХ часто изображают графически.

Ширина полосы пропускания усилителя – это разность частот между двумя точками АЧХ, для которых коэффициент усиления на 3 дБ меньше, чем на средних частотах. Одна из этих точек соответствует нижней граничной частоте, а другая – верхней граничной частоте.

Искажения сигнала, вносимые усилителем – это изменения формы сигнала при прохождении им усилителя. Изменения значения амплитуды сигнала не являются искажениями. Различают два основных вида искажений, вносимых усилителем: линейные и нелинейные. При этом различают амплитудные и фазовые искажения.

Межкаскадная связь – это способ соединения отдельных каскадов усилителя для передачи выходного сигнала одного каскада к следующему. Различают непосредственную (гальваническую), емкостную и трансформаторную связь.

Обратная связь (ОС) – это подача части выходного сигнала электронного устройства (усилителя, генератора) на его вход. В усилителях применяют отрицательную ОС (ООС), в генераторах – положительную ОС (ПОС).

Отрицательная ОС в усилителях обеспечивает:

- уменьшение чувствительности процесса усиления к изменениям параметров элементов, режимов питания и внешних факторов (например, температуры);
- уменьшение нелинейных искажений;
- увеличение входного сопротивления и уменьшение выходного сопротивления;
- возможность формирования необходимых частотных характеристик.

Недостатки отрицательной ОС в усилителях:

- уменьшение коэффициента усиления;
- возможность неустойчивости работы схемы.

Цепи ОС классифицируют исходя из способов снятия выходного сигнала и его подачи на вход устройства.

По способу снятия выходного сигнала различают ОС по напряжению, в которой выходной сигнал пропорционален выходному напряжению, и ОС по току, когда выходной сигнал пропорционален выходному току.

По способу подачи выходного сигнала на вход устройства различают последовательную связь, при которой обратный сигнал подается последовательно со входным сигналом, и параллельную связь, при которой выходной сигнал цепи ОС вводится параллельно с входным сигналом.

В результате можно выделить четыре основные цепи ОС:

- по напряжению параллельного типа;
- по напряжению последовательного типа;
- по току последовательного типа;
- по току параллельного типа.

Усилитель постоянного тока (УПТ) – это усилитель, предназначенный для усиления медленно изменяющихся колебаний с постоянной составляющей. В данных усилителях применяется непосредственная связь между каскадами. Их проблема – борьба с дрейфом нуля с помощью дополнительных схем компенсации.

Дрейф нуля – отклонение выходного напряжения от нулевого (постоянного) значения при нулевом (постоянном) входном напряжении за счет усиления различных помех, наводок и шумов в усилителе, вызванных неустойчивостью рабочей точки транзисторов, неустойчивым напряжением питания, изменением параметров транзисторов из-за изменения температуры, эффектом старения элементов.

Операционный усилитель (ОУ) – это высококачественный универсальный усилитель напряжения, выполненный в виде интегральной микросхемы. Фактически ОУ – это разновидность усилителя постоянного тока с верхней границей амплитудно-частотной характеристики до сотен кГц, с большим коэффициентом усиления по напряжению (до 10^5 и более), большим входным сопротивлением ($R_{ВХ} = 10^4$ - 10^7 Ом), малым выходным сопротивлением ($R_{ВЫХ} = 10$ -50 Ом), предназначенный для работы в схемах с глубокой отрицательной ОС.

ОУ имеет два входа (прямой и инверсный) и один выход. Прямым (синфазным) называется вход, при подаче на который сигнал не меняет своей фазы на выходе. Инверсным называется вход, при подаче на который сигнал меняет свою фазу на 180° . Питание усилителя осуществляется от двух симметричных источников различной полярности. Напряжение между прямым и инверсным входами называется дифференциальным входным напряжением.

ОУ используют для построения усилителей постоянного и переменного тока, сумматоров, вычитателей, интеграторов, дифференцирующих схем, активных фильтров, ограничителей напряжения, фазовращателей, коммутаторов, компараторов, генераторов прямоугольных и треугольных колебаний, преобразователей ток-напряжение и т.д.

Аналоговый коммутатор – электронное устройство для коммутации (подключения или отключения) аналоговых входных сигналов. Если коммутатор находится в состоянии «включено», его выходное напряжение должно по возможности точно равняться входному; если коммутатор находится в состоянии «выключено», оно должно быть равно нулю. Для построения аналоговых коммутаторов используются диоды, транзисторы (биполярные и полевые), операционные усилители.

Компаратор – электронное устройство, в котором осуществляется переключение уровня выходного напряжения, когда непрерывно изменяющееся во времени входное напряжение становится выше или ниже определенного уровня – порога. Как правило, для создания компаратора используют операционный усилитель или его выполняют в виде отдельной ИС.

Усилитель мощности – электронный усилитель, предназначенный для подведения к нагрузке (приемнику энергии) определенной мощности переменного тока. Главными параметрами усилителя мощности, являются:

- полезная выходная мощность;
- максимальная выходная мощность в условиях полного возбуждения усилителя;
- КПД, определяемый как отношение полезной выходной мощности к мощности, подводимой от источника питания;
- уровень нелинейных искажений, характеризуемый содержанием гармоник в выходном сигнале при синусоидальном входном сигнале;

- частотная характеристика, определяемая нижней и верхней граничными частотами и формой характеристики внутри полосы пропускания, которая характеризует неравномерность усиления.

Первые три параметра взаимосвязаны и зависят прежде всего от типа транзистора, используемой схемы и режима работы усилителя.

Различают однотактные и двухтактные усилители мощности.

Однотактный усилитель мощности – усилитель класса А, собранный в случае использования биполярного транзистора по схеме с ОЭ с выходным согласующим трансформатором в качестве сопротивления в цепи коллектора. Так как транзистор усиливает сигнал в течение всего периода входного сигнала, то из-за опасности перегрева и выхода из строя транзистора усилитель имеет малую мощность и низкий КПД (45-50%).

Двухтактный усилитель мощности – усилитель класса В или АВ, собранный на двух транзисторах, работающих параллельно в противофазе, т.е. когда один открыт и усиливает сигнал, второй транзистор закрыт и не потребляет энергию («остывает») и наоборот. Попеременная работа транзисторов позволяет делать усилители большей мощности, чем однотактные усилители, с большим КПД (до 75%).

Дифференциальный усилитель – это усилитель на двух транзисторах с эмиттерной связью, позволяющей использовать в любых комбинациях несимметричные или симметричные вход и выход.

Дифференциальные усилители нашли применение в технике интегральных микросхем при создании многокаскадных усилителей, например, операционных усилителей. Также дифференциальные усилители на дискретных элементах нашли применение в качестве усилителей постоянного тока и в измерительной технике для получения сигнала, пропорционального разности двух входных напряжений.

5 ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ

Генератор – это электронное устройство, создающее (генерирующее) переменные колебания без подведения извне возбуждающего сигнала. Генератор преобразует энергию постоянного тока источника питания в энергию выходного сигнала переменного тока.

Генераторы в зависимости от формы генерируемого колебания разделяются на генераторы синусоидальных колебаний и генераторы периодических несинусоидальных колебаний, в том числе импульсных колебаний (прямоугольной, треугольной и другой формы). В зависимости от вида активного элемента генераторы делятся на ламповые и транзисторные, а также генераторы на ОУ. Существуют генераторы в виде микросхем. Как правило, генератор – это усилитель с положительной ОС (ПОС).

Генераторы синусоидальных колебаний разделяются по виду электрического контура, определяющего частоту колебаний. Существуют генераторы с LC - и RC -элементами в частотозадающей цепи, а также электромеханические генераторы (например, с использованием кварцевых пластин). В зависимости от механизма возникновения колебаний и цепи ОС генераторы делятся на генераторы с внешней и внутренней ОС.

Основными параметрами генератора являются: частота выходных колебаний, её стабильность, форма генерируемого колебания, амплитуда и мощность колебаний, диапазон перестройки частоты выходных колебаний (для генераторов с возможностью перестройки частоты).

Релаксационные генераторы – электронные генераторы импульсов.

Нестабильность частоты генератора – один из основных параметров генератора, которая вызывается изменением температуры, влажности, напряжения питания, недостаточной добротностью колебательного контура, механическими воздействиями.

Кварцевый генератор – это генератор синусоидальных колебаний, относящийся к электромеханическим генераторам, в котором частота выходных колебаний определяется кварцем (кварцевой пластиной), связанным с частотозадающей схемой генератора.

RC -генератор – это генератор, в котором не содержатся резонансные контуры LC , а цепь, определяющая частоту генерируемых колебаний, состоит из элементов RC . Различают RC -генераторы с фа-

зосдвигающими и мостовыми схемами. Обычно RC -генераторы используются для получения синусоидальных колебаний с частотами от долей герца до нескольких десятков килогерц (не более 300 кГц). RC -генераторы характеризуются высокой стабильностью и легко перестраиваются.

Блокинг-генератор – это генератор импульсов, в котором сильная ПОС между выходом и входом в однокаскадной схеме осуществляется с помощью трансформатора, переворачивающего фазу на 180° .

Мультивибратор – это генератор импульсов, состоящий из двух каскадов RC -усилителей. Второй каскад переворачивает фазу колебания, подводимого снова к первому каскаду. Таким образом создается ПОС без использования трансформатора, как это имеет место в блокинг-генераторе.

Симметричный мультивибратор – это мультивибратор, являющийся генератором прямоугольных импульсов одинаковой длительности, равной половине периода колебаний.

Ждущий генератор – это генератор с двумя состояниями, причем лишь одно пассивное (состояние ожидания) является устойчивым состоянием, в котором генератор может находиться неограниченно долго. Под влиянием внешнего запускающего импульса наступает скачкообразное изменение состояния: с устойчивого на неустойчивое с последующим возвращением в устойчивое состояние – в результате на выходе появляется одиночный импульс. Ждущий генератор ещё называют одностабильным генератором.

Одновибратор – это устройство с одним устойчивым и одним временно устойчивым состоянием, предназначенное для формирования однократного прямоугольного импульса заданной длительности при воздействии на входе импульса от внешнего источника. Фактически это ждущий мультивибратор.

Одновибраторы (иначе – формирователи импульсов) применяют в качестве формирователя импульсов с заданными параметрами, отличными от параметров входных импульсов (например, для стандартизации импульсов напряжения по длительности), для управления работой реле и электронных схем и устройств, задержки импульсов и деления частоты их повторения.

6 ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

Цифровая техника – это отрасль техники (электроники), в которой рассматриваются устройства и схемы с импульсными сигналами, имеющими два крайних (дискретных) уровня – высокий и низкий. Элементы схем цифровой техники работают как электронные ключи и находятся в одном из двух крайних состояниях: пропускания (включения) или запирающего (выключения).

Главные достоинства цифровой техники: высокая надежность и высокая помехоустойчивость. Кроме того, «двухуровненность» сигналов часто исключает ошибки при передаче и воспроизведении информации, содержащейся в цифровом сигнале, так как распознавание двух крайних уровней сигнала является надежным даже при наличии больших искажений и помех.

Логическая переменная – это переменная, принимающая два значения: истинно - «1», ложно - «0».

Логическая функция – логическая переменная, значение которой является функцией одной или нескольких логических переменных.

Положительная логика – это представление в логических элементах значения логической единицы высоким потенциалом, а логического нуля – низким потенциалом.

Логический элемент – это электронная схема, имеющая $m \geq 1$ входов и $n \geq 1$ выходов, реализующая на каждом выходе логическую функцию от входных переменных.

Рабочие свойства логических элементов определяют следующие основные параметры:

- быстродействие – время задержки между сменой состояний входного и выходного сигналов;
- нагрузочная способность (коэффициент разветвления) – число входов, которые можно подключить к выходу логического элемента;
- помехоустойчивость – максимально допустимый уровень напряжения помехи, не вызывающий ложного срабатывания;
- степень генерирования помех – интенсивность колебаний тока при переключении элементов;
- мощность рассеяния – мощность потерь энергии в элементах.

Элемент НЕ – логический элемент, реализующий логическую функцию отрицания.

Элемент И – логический элемент, реализующий логическую функцию конъюнкции (логического умножения).

Элемент ИЛИ – логический элемент, реализующий логическую функцию дизъюнкции (логического сложения).

Стрелка Пирса – название логической функции ИЛИ-НЕ.

Штрих Шеффера – название логической функции И-НЕ.

Диодно-транзисторная логика (ДТЛ) – название семейства цифровых ИС, в которых функции И и ИЛИ выполнены с помощью диодов, а электронные ключи и функция НЕ реализованы на транзисторах.

Транзистор-транзисторная логика (ТТЛ) – название семейства цифровых ИС, в которых все логические функции и электронные ключи реализованы на транзисторах, причем в качестве входного транзистора используется многоэмиттерный транзистор (реализует функцию И).

МДП-логика (МДПТЛ или МОПТЛ) – название семейства цифровых ИС, аналогичной ТТЛ, только вместо биполярных транзисторов используются МДП (МОП) транзисторы.

КМДП-логика (КМДПТЛ или КМОПТЛ) – название семейства цифровых ИС, построенных на комплементарных (взаимодополняющих) МДП (МОП) транзисторах.

Транзистор-транзисторная логика с диодами Шоттки (ТТЛШ) – название семейства цифровых ИС, в которых все логические функции и электронные ключи реализованы на транзисторах, которые для ускорения их переключения дополнены диодами Шоттки.

Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ) – название семейства цифровых ИС, в которых входным каскадом является дифференциальный усилитель на биполярных транзисторах с соединенными эмиттерами.

Инжекционная логика (И²Л) – название семейства цифровых ИС, в которых вместо базовых и нагрузочных сопротивлений используются инжекторы: транзисторы в роли источников тока. Для реализации операции И на входе логического элемента включены диоды Шоттки, что делает его похожим на элемент семейства ДТЛ.

В таблице 6.1 представлены для сравнения параметры типовых базовых элементов с двумя выводами для разных семейств.

Таблица 6.1 – Параметры основных семейств цифровых ИС

Тип семейства	Напряжение питания, В	Средняя потребляемая мощность, мВт	Среднее время задержки, нс	Работа переключения, пДж	Нагрузочная способность
ДТЛ	5	9	25	225	7
ТТЛ	5	10	10	100	10

Тип семейства	Напряжение питания, В	Средняя потребляемая мощность, мВт	Среднее время задержки, нс	Работа переключения, пДж	Нагрузочная способность
ТТЛШ	5	2	10	20	10
ЭСЛ	5	40	0,75	30	10
p-МДП	+4, -12	0,5	100	50	20
n-МДП	-12, ±5	0,5	30	15	20
КМДП	+3 до 15	$(0,2...0,3) \times 10^{-3}$	90...30	0,05	50
И ² Л	1	$(1...100) \times 10^{-3}$	1000...10	1	3

Примечание: Работа переключения – комплексный показатель качества элемента, равный произведению средней потребляемой мощности на среднее время задержки. Поэтому показателю наиболее перспективными семействами логических элементов являются И²Л и КМДП.

Триггер – это электронное устройство, имеющее два устойчивых стационарных состояния; переходы из одного состояния в другое и обратно совершаются под действием специальных запускающих импульсов.

По способу управления триггеры делятся на асинхронные и синхронные. В асинхронных триггерах переключение из одного состояния в другое осуществляется непосредственно с поступлением сигнала на информационный вход. В синхронных (тактируемых) триггерах переключение производится только при наличии разрешающего (тактирующего) импульса на входе синхронизации.

По функциональному признаку, определяющему поведению триггера при воздействии сигнала управления и способа управления, триггеры делятся на следующие типы:

RS-триггеры имеют два управляющих входа: S (set – установка) и R (reset – сброс);

D-триггеры имеют один информационный вход D (delay – задержка) и один синхро-вход (вход синхронизации) C;

T-триггеры переключаются в противоположное состояние с приходом каждого очередного входного импульса (T - time – время, характеризующее внутреннюю задержку);

JK-триггеры – это универсальные триггеры, имеющие управляющие входы J (jump – прыжок, переброс) и K (keep – держать, сохранять) и допускающие установку выходных уровней при наличии сигнала на входе синхронизации C.

Триггер Шмитта – это электронное устройство, в котором при превышении входным напряжением верхнего порога срабатывания выходное напряжение триггера скачком увеличивается до положи-

тельного максимального значения, а при уменьшении входного напряжения ниже нижнего порога срабатывания выходное напряжение триггера скачком падает до нуля. Это позволяет использовать триггер Шмитта как формирователь прямоугольных импульсов из непрерывного (например, синусоидального) входного сигнала, т.е. как компаратор.

Комбинационные устройства (логические автоматы без памяти) – это устройства, логические значения выходов которых однозначно определяются совокупностью логических значений на входах в данный момент времени.

К комбинационным устройствам относятся: преобразователи кодов, дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультимплексоры, сумматоры и т. д. Комбинационные узлы и блоки цифровых систем либо собираются из отдельных ИС малой степени интеграции, либо изготавливаются в виде ИС средней степени интеграции, либо входят в состав БИС.

Преобразователь кода – это устройство для перевода одной формы числа в другую (для преобразования сигнала, представленного в одном числовом коде, в сигнал, представленный в другом числовом коде).

Дешифратор – это устройство, вырабатывающее логическую единицу только на одном из своих 2^N выходов в зависимости от кода двоичного числа на N входах.

Шифратор – это устройство, формирующее на выходе код двоичного числа, которое определяет номер входной шины в зависимости от того, на какой входной шине будет логическая единица, т.е. выполняет функцию, обратную дешифратору.

Мультиплексор – это устройство для коммутации одного из 2^N информационных входов на один выход. Для реализации необходимой коммутации мультиплексор кроме информационных входов имеет также N адресных входов. Значение числа в двоичном коде на адресных входах определяет адрес коммутируемого информационного входа.

Демультимплексор – это устройство для коммутации одного информационного входного сигнала на один из 2^m выходов, где m - число адресных входов, т.е. выполняет функцию, обратную мультиплексору.

Сумматор – это устройство, осуществляющее сложение двоичных чисел, т.е. двух цифровых сигналов, отображающих разные числа.

Как правило, сумматор также используется для вычитания двоичных чисел.

Цифровой компаратор – это устройство, осуществляющее сравнение двух чисел, т.е. двух цифровых сигналов, отображающих разные числа.

Логические автоматы с памятью (последовательные логические устройства или конечные автоматы) – это устройства, логические значения на выходах которых определяются как совокупность логических значений на входах в данный момент времени, так и состоянием автомата по результатам его предшествующей работы. Запоминание предшествующих состояний выполняется с помощью триггеров.

Типичные примеры последовательных устройств – счётчики импульсов и регистры.

Счётчик – это конечный автомат с одним информационным входом, циклически переходящий из одного состояния в другое под действием входных сигналов. Счётчики импульсов реализуют счёт числа импульсов и фиксируют это число в каком-либо коде. Для построения счётчика используют последовательное включение счётных триггеров, в качестве которых могут быть использованы RS, D и JK-триггеры.

Регистр – это функциональный узел, выполняющий хранение и преобразование двоичных чисел.

По способу приёма и выдачи информации регистры делятся на следующие группы: с параллельными приёмом и выдачей информации, с последовательным приёмом и выдачей информации, комбинированные с различными способами приёма и выдачи информации.

Параллельные регистры (регистры памяти) используются в основном для запоминания многоразрядного двоичного кода. Последовательные регистры (сдвиговые регистры) помимо хранения двоичного кода используются для создания генераторов кода, синтеза кольцевых счётчиков и управляющих устройств.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – электронное устройство для преобразования аналогового сигнала в цифровой код.

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) – электронное устройство для преобразования сигнала, представленного в виде цифрового кода, в аналоговый сигнал.

Микропроцессор (МП) – это информационное устройство, которое по программе, задаваемой управляющими сигналами, обрабатывает информацию, т.е. реализует операции: арифметические, логические, ввода, вывода и т.д.

Главное отличие МП от других типов ИС – способность к программированию последовательности выполняемых функций, т.е. возможность работы по заданной программе, которую можно менять. Основными узлами микропроцессора являются:

- арифметико-логическое устройство (АЛУ) – комбинационное устройство, работающее с двоичными кодами и осуществляющее различные арифметические и логические операции;

- регистры общего назначения, т.е. совокупность n параллельных регистров по m разрядов для хранения двоичных чисел. Фактически это оперативная память – оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);

- буферные регистры для кратковременного хранения чисел во время работы АЛУ;

- устройство управления, которое задаёт режимы работы всех элементов МП;

- устройство ввода-вывода информации, с помощью которого вводятся исходные и выводятся полученные в результате работы МП данные.

МикроЭВМ – это устройство на основе МП, а также запоминающих устройств, устройств управления и средств связи с периферийными устройствами (интерфейс). Управляющая микроЭВМ должна иметь средства сопряжения с объектом управления: датчики, АЦП, ЦАП. Совокупность микроЭВМ и средств сопряжения образуют микропроцессорную систему.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин, А.С. Курс электротехники [Текст]: учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
2. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника [Текст]: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - 3-е изд. - М.: Высш. шк., 2004. - 790 с.
3. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники [Текст]: учебное пособие для вузов / И.П. Степаненко. - 2-е изд. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. 488 с.
4. Электротехника и электроника [Текст]: учебное пособие / В.М. Бобырь, В.И. Иванов, В.С. Титов, А.С. Ястребов. В 2 кн. - Курск: КурскГТУ, 2009. - Кн. 2. Электроника. - 240 с.
5. Григораш, О.В. Электротехника и электроника [Текст]: учебник. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. - 462 с.
6. Корневский, Н.А. Электроника и микропроцессорная техника: учебное пособие / Н.А. Корневский, Д.Е. Скопин, С.Н. Солошенко. – Курск: КурскГТУ, 2004. - 284 с.