

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

ВВЕДЕНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СХЕМОТЕХНИКУ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Методические указания к курсовому проектированию

Составители
В. Б. ДМИТРИЕВ
М. В. РУФИЦКИЙ

Владимир 2009

УДК 621.396.6(075)

ББК 32.844

В24

Рецензент

Доцент кафедры конструирования и технологии
радиоэлектронных средств

Владимирского государственного университета

Е. А. Калинин

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Введение в проектирование и схемотехнику электронных
В24 средств: метод. указания к курсовому проектированию / Владим. гос.
ун-т.; сост. В. Б. Дмитриев, М. В. Руфицкий ; Владимир : Изд-во
Владим. гос. ун-та, 2009. – 26 с.

Составлены в соответствии с программой курса «Введение в проектирование и схемотехнику электронных средств» и содержат необходимые сведения о содержании и особенностях выполнения всех разделов курсовой работы, оформления пояснительной записки и конструкторских документов.

Предназначены для студентов первого курса направления 210200 – проектирование и технология электронных средств всех специальностей, специализаций и форм обучения.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

УДК 621.396.6(075)

ББК 32.844

1. ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа посвящена анализу электрической принципиальной схемы радиоэлектронного устройства. В процессе такого анализа инженер-проектировщик выявляет функциональные особенности будущего изделия, определяет режимы работы входящих в него элементов, выделяет электрорадиокомпоненты, требующие особых условий установки, монтажа и защиты и, в конечном итоге, так формулирует требования к конструкции, чтобы обеспечить высокий уровень технических характеристик и потребительских свойств.

Таким образом, уже на этапе анализа электрической схемы устройства в значительной мере задаётся уровень качества будущего изделия.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цель работы

При выполнении курсовой работы студенты должны приобрести начальные навыки анализа электрических принципиальных схем электронных средств: разбиение на простейшие функциональные узлы, составление описания их функционирования и формирование требований к конструкции, определяемых схемой и назначением. Необходимо также научиться выполнять простейшие приближенные расчёты предельных режимов работы электрорадиоэлементов в схемах и на их основе формулировать требования к электрической прочности, рассеиваемой мощности и т.п.

Условием достижения поставленных целей является приобретение навыков работы с учебной, научно-технической и нормативно-технической литературой и документацией.

Предмет, тематика и задание на курсовую работу

В курсовой работе выполняется анализ электрической принципиальной схемы одного радиотехнического устройства невысокой сложности: простого радиоприёмника, фотореле, электронного усилителя, кодового электронного замка, приёмника или передатчика для управления моделями, устройства управления иллюминацией, ёлочными гирляндами, охранного устройства, логического устройства и многих других подобных устройств.

Отдельным студентам может быть предложено экспериментальное исследование таких устройств.

Тема, содержание, объём и сроки выполнения работы устанавливаются заданием, составляемым индивидуально для каждого студента.

В исходных данных задания указывается схема электрическая принципиальная исследуемого устройства и источник, в котором она опубликована; они содержат всю необходимую информацию для выполнения работы.

В перечне подлежащих разработке вопросов указывают только основные задачи и расчеты; полный объём решаемых задач рассмотрен в настоящих указаниях.

В задании по графической части приводится перечень обязательных чертежей и эскизов и их ориентировочный формат; другие конструкторские документы могут быть разработаны дополнительно по инициативе студента и по согласованию с руководителем.

В перечень рекомендуемой литературы вносят только основные источники, необходимые для выполнения работы.

Задание составляется под руководством преподавателя, оформляется на типовом бланке, подписывается студентом и преподавателем и утверждается заведующим кафедрой. Утвержденное задание – документ строгой отчетности; утрата задания влечет изменение темы работы.

3. ПЕРЕЧЕНЬ И ОБЪЁМ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ДОКУМЕНТОВ

В курсовой работе решаются как технические, так и учебные задачи, поэтому содержание и комплектность разрабатываемых документов отличаются от оговоренных в Государственных Стандартах Единой Системы Конструкторской Документации (ГОСТ ЕСКД) на разработку изделий.

Должны быть разработаны:

а) текстовые документы:

- пояснительная записка (16...20 листов формата А4);
- перечень элементов (1...3 листа формата А4)*;

б) графические документы:

- схема электрическая принципиальная (0,25...0,5 листа формата А1);
- эскиз конструкции устройства (0,25...0,5 листа формата А1);

в) рекламный проспект (не более 1 листа формата А4).

* При небольшом числе элементов перечень элементов может быть размещён на поле схемы электрической принципиальной (см. ГОСТ2.702-87).

При необходимости могут выполняться схема электрическая функциональная (не более 1 листа формата А3), графические материалы по результатам эксперимента (не более 1 листа формата А2). Общий объём обязательных чертежей – 0,5...1 лист формата А1.

Все разрабатываемые документы должны быть оформлены в соответствии с требованиями ГОСТов ЕСКД.

4. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В пояснительной записке необходимо отразить весь объём выполненной работы; в общем случае пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

1. Введение.
2. Описание и анализ работы устройства по электрической функциональной схеме.
3. Покаскадное детальное описание работы устройства по электрической принципиальной схеме.
4. Расчётная часть.
5. Обоснование художественно-технического решения конструкции устройства.
6. Заключение.
7. Список использованной литературы.

Названия разделов (кроме введения и заключения) могут быть изменены или уточнены в соответствии со спецификой работы; при выполнении работы с экспериментальной частью необходимо ввести раздел с описанием методики проведения эксперимента и анализом его результатов.

Рассмотрим особенности выполнения отдельных частей работы и содержание соответствующих разделов пояснительной записки.

Во в в е д е н и и следует указать функциональное назначение устройства, привести примеры других устройств, выполняющих те же функции; перечислить характеристики, описывающие их технические и потребительские качества.

Н а п р и м е р, радиоприёмник предназначен для приема сигналов радиовещательных станций; его характеризуют диапазон принимаемых волн, чувствительность и избирательность, ширина полосы пропускания и выходная мощность усилителя низкой частоты, время не-

прерывной работы от одного комплекта батарей, размеры и масса приемника, его цена и цена комплекта батарей, удобство пользования органами управления, внешний вид и др.

Полезно показать взаимосвязь характеристик между собой и путь развития рассматриваемых устройств как преодоление противоречий между различными показателями.

Например, для увеличения громкости звучания приёмника часто увеличивают выходную мощность усилителя низкой частоты, однако при этом уменьшается время работы батарей и поэтому растут затраты на эксплуатацию. Однако можно поступить иначе – приблизить источник звука к уху, применив головной телефон; при этом потребляемый ток уменьшится, срок службы батарей возрастет, затраты на эксплуатацию уменьшатся, воспринимаемая (субъективная) громкость увеличится, улучшится качество звучания.

Описание и анализ работы устройства начинают с разбиения его электрической принципиальной схемы на элементарные ячейки – каскады. Обычно каждый каскад содержит один активный (радиолампу, транзистор, тиристор, микросхему* и т.п.) и несколько пассивных (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности и др.) элементов, однако встречаются каскады с двумя и более активными элементами (например, с составными транзисторами, с каскодным включением транзисторов, двухтактные схемы и др.).

Поэтому начинать анализ электрической схемы нужно с выявления всех активных элементов, а также входных и выходных цепей. Последнее облегчит в дальнейшем определение функционального назначения каскадов и анализ прохождения сигналов по цепям устройства. Каскад или несколько каскадов могут выполнять различные функции – усиления, генерирования или преобразования сигналов, согласования, управления и т.д. Если несколько каскадов выполняют одну и ту же функцию, они образуют один функциональный узел.

В качестве примера рассмотрим схему радиоприёмника, приведённую на рис.1.

В приёмнике шесть транзисторов; входная цепь образована элементами магнитной антенны WA1 (катушки индуктивности L1 и L2)

* Микросхема может содержать большое число активных и пассивных элементов и сама может быть сложным функциональным устройством.

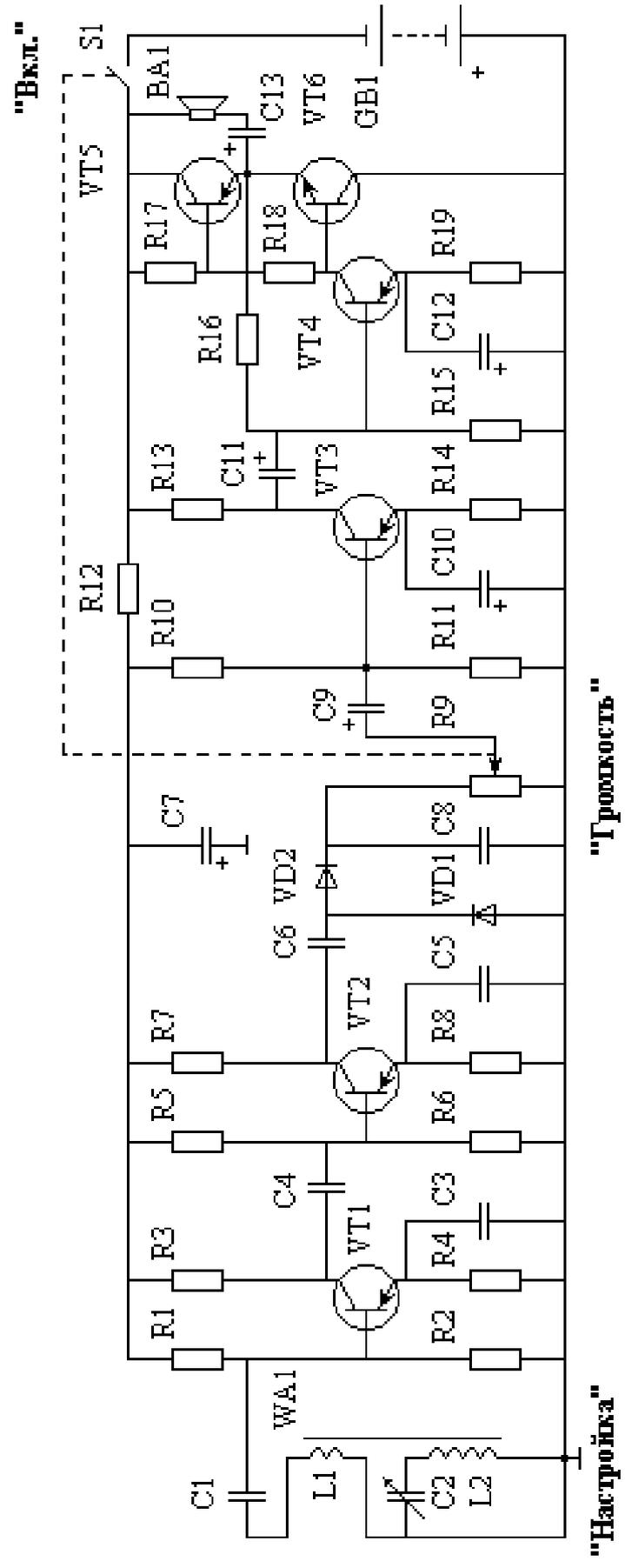


Рис. 1. Приемник прямого усиления. Схема электрическая принципиальная

и конденсаторами $C1$ и $C2$, выходная – громкоговорителем $BA1$. Каскады на транзисторах $VT1$ и $VT2$ являются типично усилительными (т.к. не содержат никаких элементов и цепей, характерных для каскадов другого назначения).

Сигнал на транзистор $VT1$ подаётся непосредственно от магнитной антенны, т.е. усиливается высокочастотный сигнал принимаемой радиостанции, поэтому такой каскад называется каскадом усиления высокой частоты. Каскад на транзисторе $VT2$ также усиливает высокочастотный сигнал. Таким образом, первые два каскада выполняют функции усилителя высокой частоты (УВЧ). Цепочка, образованная диодами $VD1$ и $VD2$, конденсатором $C8$ и резистором $R9$, похожа на выпрямитель и сглаживающий фильтр и служит для выделения звукового сигнала из высокочастотного сигнала радиостанции. Этот процесс называется детектированием, а совокупность элементов, его реализующих, – детектором. Резистор $R9$ выполняет также функции регулятора громкости (пунктирная линия показывает, что его движок совмещен с выключателем $S1$, установленным в цепи питания).

На транзисторе $VT3$ собран такой же усилительный каскад, как и каскады на транзисторах $VT1$ и $VT2$, но усиливает он сигнал звуковой (низкой) частоты. Еще один каскад усиления низкой частоты собран на транзисторе $VT4$; его коллекторная нагрузка (резисторы $R17$ и $R18$) включена непосредственно в цепь баз транзисторов двухтактного выходного каскада ($VT5$ и $VT6$). Каскады на транзисторах $VT3$ - $VT6$ образуют усилитель низкой частоты (УНЧ), состоящий из предварительного усилителя ($VT3$, $VT4$) и усилителя мощности ($VT5$, $VT6$).

Итак, в рассматриваемом приёмнике два каскада усиления сигнала высокой частоты, детектор и три каскада усиления сигнала низкой частоты. Такой приёмник называется приёмником прямого усиления, выполненным по схеме 2-V-3 (первая цифра обозначает число каскадов УВЧ, вторая – число каскадов УНЧ, а буква V – детектор).

Функциональная схема этого приемника приведена на рис.2.

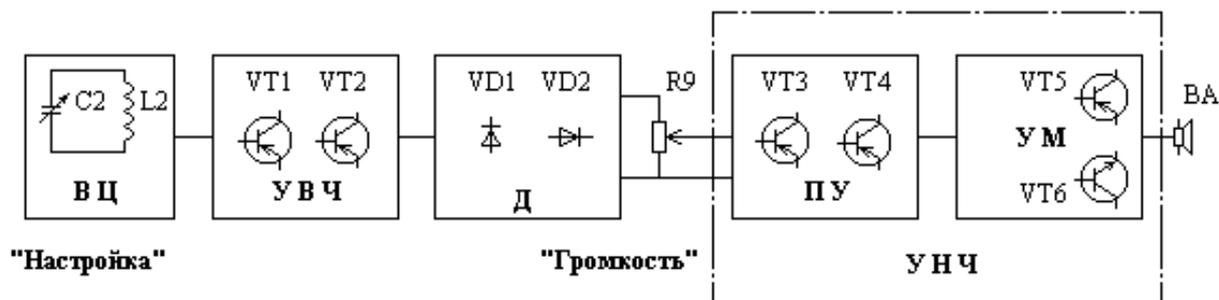


Рис.2. Приёмник прямого усиления. Схема электрическая функциональная

ВЦ – входная цепь;

УВЧ – усилитель высокой частоты;

Д – детектор;

УНЧ – усилитель низкой частоты;

ПУ – предварительный усилитель;

УМ – усилитель мощности

При определении выполняемых различными каскадами функций можно пользоваться материалом лекций, а также сведениями, изложенными в рекомендуемой литературе [1...9].

После определения назначения всех каскадов составляют функциональную схему устройства. При её вычерчивании используют стандартные графические и буквенные условные обозначения функциональных узлов; в обозначениях указывают число каскадов, а над линиями связи – форму сигналов. При выполнении функциональной схемы в виде рисунка в тексте пояснительной записки допускается (как это сделано в настоящих указаниях) изображать функциональные узлы прямоугольниками, в которых указан номер или сокращенное название (аббревиатура) соответствующего узла, а в подрисуночной подписи – полное наименование каждого узла. Допускается также указывать буквенно и графически основные элементы и изображать в соответствующих местах органы коммутации и управления.

Функциональная схема дает общее представление о работе устройства, показывает взаимодействие всех функциональных узлов; на её основе составляют краткое описание работы устройства.

Следующий шаг анализа – по каскадному детальное описание работы устройства по электрической принципиальной схеме. Такое описание необходимо инженеру-конструктору для формирования требований к конструкции устройства, определяемых его электрической схемой.

В описании должно быть указано назначение всех элементов каждого каскада, указаны цепи подачи питающих напряжений, установки режимов работы активных элементов, термостабилизации, рассмотрено прохожде-

ние сигнала. При этом нужно отметить элементы, к которым могут предъявляться требования повышенной точности и стабильности (например, элементы цепей термостабилизации, установки режимов, частотно-задающих цепей и др.) и элементы с невысокими требованиями к их параметрам (переходные и блокировочные конденсаторы, элементы фильтров в цепях питания и т.п.).

При покаскадном описании полезно указать элементы и цепи, которые нужно экранировать (например, высокочувствительные) или максимально удалить друг от друга (например, входные и выходные); элементы, требующие особого взаимного расположения (контурная катушка и катушка связи и т.п.), подстройки и т.д. И, наконец, нужно отметить элементы управления, коммутации, индикации и сигнализации, к которым должен быть обеспечен доступ при эксплуатации устройства (они обычно требуют установки на внешних поверхностях прибора), эта информация необходима при разработке конструкции.

Сначала описывают основные функциональные узлы (входящие в тракт формирования и обработки сигналов), затем – вспомогательные узлы и заканчивают описанием источника питания.

Для примера составления покаскадного описания вернемся к схеме рис.1.

Сигналы радиостанций принимаются магнитной антенной WA1, представляющей собой ферритовый стержень с намотанными на него катушками индуктивности L1 и L2. Катушка L2 и конденсатор переменной ёмкости C2 образуют колебательный контур, настраиваемый на частоту принимаемого сигнала. Частоту настройки устанавливают, изменяя ёмкость конденсатора C2, поэтому при разработке конструкции его нужно установить так, чтобы было удобно вывести ручку настройки. Катушки L1 и L2 индуктивно связаны между собой и, по существу, образуют высокочастотный трансформатор, необходимый для уменьшения влияния входного сопротивления первого каскада УВЧ на добротность (и, следовательно, избирательность) входного контура L2C2; поэтому число витков катушки связи L1 выбрано значительно меньшим числа витков контурной катушки L2, а катушка L1 должна быть так закреплена на стержне магнитной антенны, чтобы обеспечивалась возможность ее перемещения при регулировке и последующее надежное закрепление.

Через конденсатор $C1$ высокочастотное напряжение сигнала поступает на базу транзистора $VT1$, в то же время он исключает подачу постоянного напряжения от базы транзистора на катушку $L1$ (т.е. он разделяет цепи постоянного и переменного тока и поэтому называется разделительным).

Рассмотрим назначение элементов первого каскада УВЧ.

Резисторы $R1$ и $R2$ образуют делитель, задающий напряжение на базе транзистора $VT1$, включенного по схеме с общим эмиттером. Резистор $R3$ является коллекторной нагрузкой, на нём выделяется напряжение усиленного сигнала, которое через разделительный конденсатор $C4$ поступает на следующий каскад УВЧ. Включенный в цепь эмиттера резистор $R4$ необходим для стабилизации режима работы транзистора $VT1$ по постоянному току и уменьшения влияния разброса параметров транзисторов на характеристики схемы. При увеличении тока эмиттера (например, из-за повышения температуры) увеличивается и падение напряжения на резисторе $R4$, поэтому напряжение на эмиттере становится более отрицательным. Так как напряжение на базе поддерживается делителем $R1/R2$ практически неизменным, напряжение база – эмиттер ($U_b - U_э$) уменьшается и, следовательно, уменьшается ток эмиттера. То есть благодаря резистору $R4$ создаётся цепь отрицательной обратной связи, стабилизирующая ток эмиттера. В данном случае реализуется последовательная отрицательная обратная связь по току. Конденсатор $C3$ имеет низкое сопротивление для токов высокой частоты, что исключает (блокирует) возникновение обратной связи для напряжения сигнала, поэтому такой конденсатор называется блокировочным.

Аналогично назначение элементов каскадов на транзисторах $VT2$, $VT3$ и $VT4$.

Назначение элементов и работа детектора ($VD1$, $VD2$, $C8$, $R9$) рассмотрены ранее.

Конденсатор $C9$ выполняет функции разделительного, однако, его ёмкость намного больше ёмкостей разделительных и блокировочных конденсаторов в каскадах УВЧ, так как через него протекают токи звуковой, а не высокой частоты. В качестве конденсаторов большой ёмкости используют электролитические конденсаторы,

имеющие значительно меньшие размеры, чем обычные. Такие конденсаторы подключают с соблюдением полярности, что и показано на схеме знаком "+" около одной из обкладок.

Усилитель мощности звуковой частоты выполнен на транзисторах VT5 и VT6, один из них структуры p-n-p (VT5), другой — n-p-n. Такой каскад называется двухтактным каскадом на транзисторах с дополнительной симметрией. Нетрудно видеть, что оба транзистора включены по схеме с общим коллектором, то есть являются эмиттерными повторителями. Между каскадом предварительного усиления на транзисторе VT4 и усилителем мощности нет разделительного конденсатора, они выполнены с непосредственной связью; поэтому режимы работы этих каскадов взаимосвязаны и устанавливаются совместно. При отсутствии сигнала сопротивление резистора R16 подбирают так, чтобы напряжение в точке объединения эмиттеров транзисторов VT5 и VT6 было равно половине напряжения источника питания GB1; подбором сопротивления резистора R18 задают напряжение между базами этих транзисторов, а, значит, и ток через них при отсутствии сигнала (ток покоя, обычно для мало-мощных транзисторов 2 – 3 мА; это необходимо для уменьшения искажений из-за нелинейности входной вольтамперной характеристики транзисторов).

Обратим внимание, что резистор R16 подключен не к "-" источника питания, а к точке соединения эмиттеров транзисторов VT5, VT6 и конденсатора C13. Такое включение создает цепь отрицательной обратной связи, охватывающую каскады на транзисторах VT4-VT6, стабилизирующую режимы их работы и уменьшающую искажения усиливаемого сигнала.

Динамическая головка BA1 преобразует электрический сигнал (ток) в акустические (звуковые) колебания.

Элементы R12 и C7 образуют развязывающий фильтр в цепи питания УВЧ, предотвращающий самовозбуждение из-за обратных связей через внутреннее сопротивление источника питания GB1. Кроме того, падение напряжения на резисторе R12 понижает напряжение питания УВЧ. S1 – выключатель питания, конструктивно совмещенный с регулятором громкости, он выключается в нижнем положении движка резистора R9.

В приведённом примере рассмотрено устройство, в котором транзисторы работают в усилительном (активном) режиме. В электронной аппаратуре широко применяются каскады и устройства, в которых транзисторы и другие электронные приборы используются в ключевом режиме. В таких устройствах транзистор может быть открыт и через него протекает максимальный возможный в данной схеме ток, или закрыт, тогда через него протекают только токи утечки, а приложенное между коллектором и эмиттером напряжение максимально; в этих схемах транзисторы работают в активном режиме лишь в момент переключения.

Рассмотрим работу такой схемы на примере фотореле (рис.3).

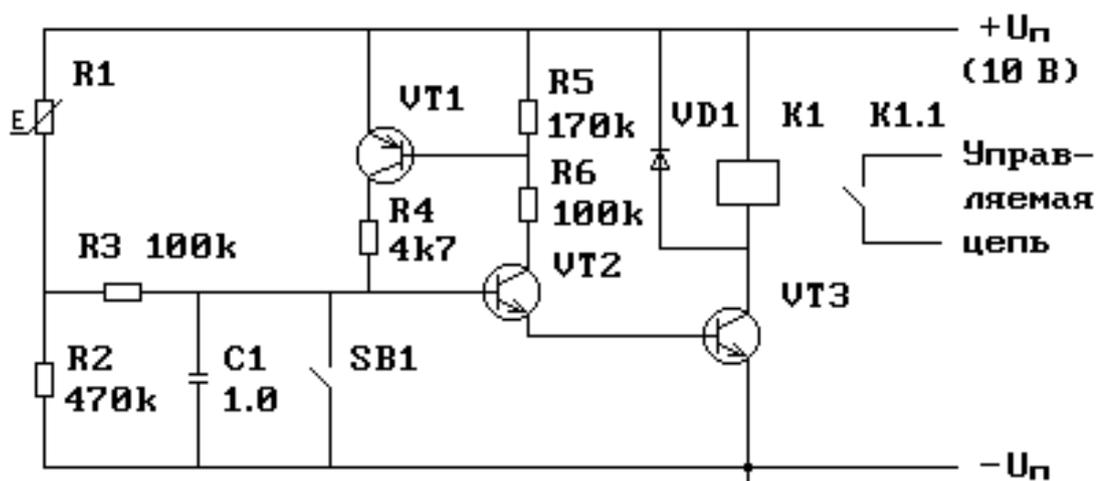


Рис.3. Фотореле. Схема электрическая принципиальная

В исходном состоянии при подаче напряжения питания (U_n) фоторезистор $R1$ не освещён и имеет высокое сопротивление, много большее, чем сопротивление резистора $R2$. Поэтому напряжение на базе транзистора $VT2$, соединенной через резистор $R3$ с резисторами $R1$ и $R2$, близко к нулю; эмиттер транзистора $VT2$ через эмиттерный переход транзистора $VT3$ также соединен с общим проводом, транзисторы $VT2$ и $VT3$ закрыты, ток через реле $K1$ не протекает, контакты реле разомкнуты. В рассмотренном состоянии транзистор $VT1$ также закрыт, так как его эмиттер и база (через резистор $R5$) соединены с плюсовым проводом источника питания и имеют одинаковый потенциал (поскольку транзистор $VT2$ закрыт и ток через резисторы $R5$ и $R6$ не протекает).

При освещении фоторезистора $R1$ его сопротивление резко уменьшается (в 1000 – 10000 раз) и напряжение в точке соединения

резисторов $R1$, $R2$, $R3$ приближается к напряжению источника питания. Через токоограничительный резистор $R3$ оно подаётся на базу транзистора $VT2$ и открывает его. При этом ток по цепи $R5$, $R6$, $VT2$ открывает транзистор $VT3$, ток коллектора которого протекает через обмотку реле $K1$ и вызывает его срабатывание; контакт реле замыкает внешнюю сигнальную цепь. Падение напряжения на резисторе $R5$ оказывается достаточным для открывания транзистора $VT1$ (ток базы транзистора $VT1$ протекает по цепи $VT3$, $VT2$, $R6$, эмиттерный переход $VT1$). Если теперь фоторезистор $R1$ окажется неосвещённым, то все транзисторы останутся открытыми, так как открытое состояние транзистора $VT2$ будет поддерживаться током базы, протекающим через транзистор $VT1$ и резистор $R4$, а открытое состояние транзистора $VT1$ – током базы, протекающим через элементы $VT3$, $VT2$, $R6$.

Следовательно, после кратковременного освещения фоторезистора фотореле перейдёт в состояние "включено" и запомнит его. Вернуть устройство в исходное состояние можно, нажав кнопку $SB1$, или выключив и снова включив питание. Устройство, имеющее два устойчивых состояния, называют триггером.

Таким образом, фотореле состоит из датчика освещённости ($R1$), триггера ($VT1$ и $VT2$), ключа (транзистор $VT3$ и электромагнитное реле $K1$). Конденсатор $C1$ защищает от ложных срабатываний из-за помех, которые могут наводиться на проводники входной цепи; диод $VD1$ защищает транзистор $VT3$ от бросков напряжения, возникающих при выключении реле $K1$.

Кроме рассмотренных, в радиоэлектронных средствах применяется множество других типов схем (генераторных, частотно-избирательных, преобразовательных, логических и т.д.), работа которых описана в специальной литературе (см. список рекомендуемой литературы).

После анализа и описания работы устройства переходят к расчётам.

При разработке схем разработчик рассчитывает параметры элементов (сопротивления, ёмкости, индуктивности и т.д.), исходя из заданных требований к свойствам схемы.

В курсовой работе, преследующей учебные цели, решается обратная задача. Однако и её решение в полном объёме возможно только после ос-

воения материала, изучаемого на 2-м и 3-м курсах, поэтому в данной работе выполняются лишь некоторые расчёты, имеющие характер проверочных.

Следует рассчитать токи, потребляемые анализируемым устройством от всех источников питания, продолжительность работы от одного комплекта батарей (или аккумуляторов) или потребляемую мощность при использовании сетевого источника питания. Если потребляемый ток или мощность изменяются при работе, то расчеты проводятся для двух случаев: отсутствие сигнала на входе (режим ожидания) и при номинальной отдаваемой в нагрузку мощности (для схем, работающих в ключевом режиме и имеющих несколько возможных состояний, расчёты проводятся для каждого состояния). Очевидно, что для решения этой задачи необходимо рассчитать токи, протекающие по всем цепям схемы. Одновременно следует рассчитать мощности, рассеиваемые наиболее нагруженными элементами (транзисторами, резисторами в цепях коллекторов транзисторов и т.п.), напряжения, приложенные к переходам полупроводниковых приборов и конденсаторам.

Выполним, к примеру, такие расчёты для одной из рассмотренных ранее схем. Фотореле (рис.3) может находиться в режиме ожидания или в состоянии "включено". В режиме ожидания все транзисторы закрыты и через них протекают токи утечки, величина которых с учётом усиления не превышает нескольких микроампер (обратный ток коллекторного перехода примененных транзисторов менее 0,1 мкА). Ток по цепи R1-R2 также очень мал, поскольку темновое сопротивление фоторезистора превышает 1 МОм и ток в этой цепи менее 1 мкА. Следовательно, общий потребляемый в режиме ожидания ток составляет не более нескольких микроампер и практически не влияет на время непрерывной работы от одного комплекта источников питания.

*Во включённом состоянии все транзисторы открыты и протекающие токи можно определить следующим образом. Ток в цепи реле K1-транзистор VT3 (пренебрегая падением напряжения на открытом транзисторе) $I_{vt3} = U_n/R_k = 10/250 = 0,04 \text{ A} = 40 \text{ mA}$ (где R_k – сопротивление обмотки реле; если не приведено в описании, то находится в справочнике по типу и паспорту реле). При этом мощность, рассеиваемая обмоткой реле, составляет $I_{vt3} * U_n = 0,04 * 10 = 0,4 \text{ Вт}$. Реле практически не нагревается при такой мощности, так как его обмотка имеет относительно большую поверхность охлаждения.*

Мощность, рассеиваемая транзистором VT3, определяется протекающим током и падением напряжения на нём в открытом состоянии (для примененного транзистора падение напряжения в режиме насыщения $U_{кэнас}$ не превышает 0,3 В; справочные данные) и равна $P_k = U_{кэнас} \cdot I_{vt3} = 0,04 \cdot 0,3 = 0,012 \text{ Вт} = 12 \text{ мВт}$, что значительно меньше допустимой (150 мВт) и, следовательно, транзистор почти не нагревается. Ток в цепи эмиттер-база транзистора VT1, резистор R6 (током через резистор R5 можно пренебречь, так как сопротивление открытого эмиттерного перехода транзистора VT1 $R_{вхvt1}$ много меньше сопротивления резистора R5), коллектор-эмиттер транзистора VT2, эмиттерный переход транзистора VT3 – $I_{vt2} = U_n / R_6 = 10 / 100 = 0,1 \text{ мА}$. Ток через резистор R4 и соответствующие переходы транзисторов VT1-VT3 не превышает $U_n / R_4 = 10 / 4,7 = 2,13 \text{ мА}$. Токи в цепях резисторы R1, R2 и резисторы R1, R3, транзисторы VT2-VT3 даже при освещенном фоторезисторе ($R_{осв}$ меньше 1 кОм) очень малы. Так, принимая $R1 = 0$, получим: $I_{R3} = U_n / R_3 = 10 / 100 = 0,1 \text{ мА}$; $I_{R2} = U_n / R_2 = 10 / 470 = 0,02 \text{ мА}$. Так как токи, протекающие через открытые транзисторы VT1 и VT2, малы (около 2 мА), рассеиваемая ими мощность также мала (менее 1 мВт) и может не рассчитываться.

Для рассматриваемой схемы максимальные напряжения на переходах транзисторов и на конденсаторе C1 в любом режиме не могут превысить напряжения питания.

Рассчитывая суммарный потребляемый ток, следует учесть ток через обмотку реле и ток через резистор R4, остальные токи пренебрежимо малы, поэтому для $I_{сумм}$ получим $40 + 2,13 = 42 \text{ мА}$. При этом полная потребляемая фотореле во включенном состоянии мощность составит $U_n \cdot I_{сумм} = 10 \cdot 42 = 420 \text{ мВт}$.

Мощности, рассеиваемые резисторами, можно не рассчитывать, так как они заведомо меньше 0,05 Вт (минимальная мощность выпускаемых стандартных резисторов).

Если фотореле питается от батареи, то время ее работы в режиме "включено" можно определить, зная тип, а значит, и ёмкость батареи ($W_{бат}$, А*ч). При ёмкости батареи 0,45 А*ч, время непрерывной работы в режиме "включено" составит $W_{бат} / I_{сумм} = 0,45 / 0,42 = 1,1 \text{ ч}$; ток в режиме ожидания настолько мал (менее 2 мкА), что практически не влияет на время непрерывной работы.

Аналогичные расчёты для усилительных схем значительно сложнее и могут быть выполнены, если на схеме указаны напряжения на электродах транзисторов или токи; в противном случае при проведении расчётов следует проконсультироваться у преподавателя и обратиться к специальной литературе.

В качестве примера выполним расчёты для элементов предварительного усилителя низкой частоты (рис.4), состоящего из эмиттерного повторителя со следящей обратной связью и выходного каскада, выполненного по типовой схеме с общим эмиттером.

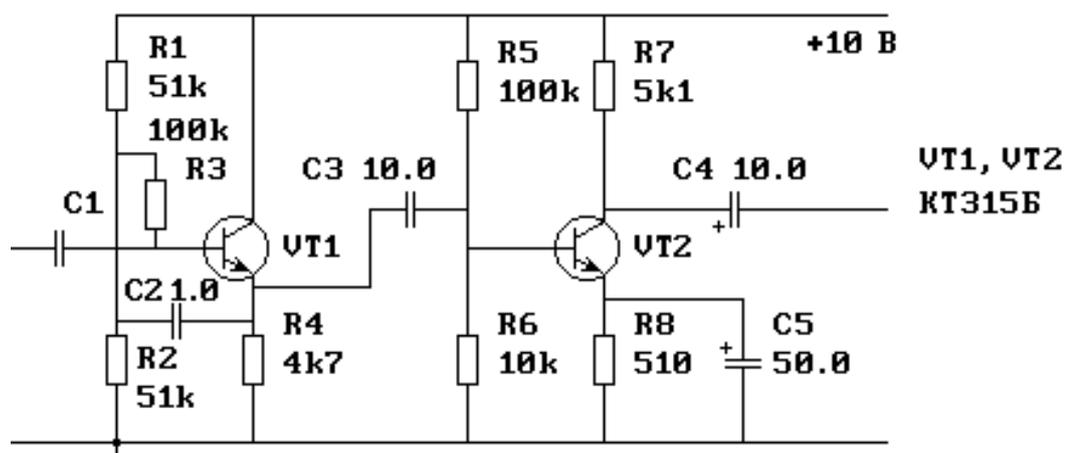


Рис.4. Предварительный усилитель. Схема электрическая принципиальная

Напряжение на выходе эмиттерного повторителя всегда повторяет напряжение на его входе. Поэтому в отсутствие сигнала напряжение на резисторе $R4$ примерно равно напряжению, подаваемому на базу транзистора $VT1$ (КТ315Б) от делителя напряжения $R1/R2$ через резистор $R3$. Так как в этой схеме входное сопротивление транзистора, равное $h_{21э} \cdot R4 = 90 \cdot 7,5 = 675$ кОм (где $h_{21э}$ – коэффициент усиления транзистора, для КТ315Б – более 90), много больше сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$, влиянием тока базы при расчёте тока делителя $R1/R2$ можно пренебречь. Ток через резисторы $R1$ и $R2$ $I_{vt1} = U_n / (R1 + R2) = 10 / (51 + 51) = 0,1$ мА. Поскольку сопротивления резисторов $R1$ и $R2$ одинаковы и током базы транзистора можно пренебречь, напряжение в точке соединения резисторов $R1$, $R2$, $R3$ равно половине напряжения питания (5 В). Почти такое же напряжение приложено к базе транзистора $VT1$, а напряжение на его эмиттере меньше на 0,1...0,2 В. С приемлемой для ориентировочных расчётов точностью можно считать, что напряжение на эмиттере

транзистора $VT1$ ($U_э$) также равно 5 В; такое же напряжение ($U_n - U_э = 10 - 5 = 5$ В) приложено между коллектором и эмиттером этого транзистора. Ток через резистор $R4$ (ток эмиттера транзистора $VT1$) равен $U_э/R4 = 5/7,5 = 0,67$ мА. Таким образом, общий ток, потребляемый всеми элементами первого каскада в номинальном режиме, составляет примерно 0,8 мА. Максимально возможный ток (например, при пробое транзистора $VT1$) вдвое больше ($U_n/R4$).

При расчёте второго каскада максимальные токи определяются просто: ток через резистор $R5$, пренебрегая падением напряжения на эмиттерном переходе транзистора $VT2$ и резисторе $R8$, равен $U_n/R5 = 10/100 = 0,1$ мА; ток коллектора транзистора $VT2$ равен $U_n/(R7+R8) = 10/(5,1+0,51) = 1,8$ мА.

Номинальные токи определяются сложнее. Входное сопротивление транзистора $VT2$ по постоянному току $R_{вхvt2}$ примерно равно $h_{21э} * R8 = 90 * 0,51 = 46$ кОм. Это сопротивление и резистор $R6$ включены параллельно, поэтому эквивалентное сопротивление нижнего плеча делителя напряжения в цепи базы составит $R_{эkv} = R6 * R_{вхvt2} / (R6 + R_{вхvt2}) = 10 * 46 / (10 + 46) = 8,2$ кОм. Ток через резистор $R5$ равен $U_n / (R5 + R_{эkv}) = 10 / (100 + 8,2) = 0,09$ мА. Напряжение на базе транзистора $VT2$ равно $0,09 * R_{эkv} = 0,09 * 8,2 = 0,74$ В, а напряжение на его эмиттере меньше на 0,1...0,2 В и составляет примерно 0,55 В. Это напряжение приложено к резистору $R8$, откуда ток через него и, следовательно, ток эмиттера транзистора $VT2$ и ток через резистор $R7$, равен $0,55/R8 = 0,55/0,51 = 1,1$ мА. На резисторе $R7$ падает напряжение, равное $1,1 * R7 = 1,1 * 5,1 = 5,6$ В. Напряжение эмиттер-коллектор транзистора $VT2$ равно $U_n - (0,55 + 5,6) = 10 - (0,55 + 5,6) = 3,85$ В.

Таким образом, номинальные режимы работы элементов обоих каскадов рассчитаны; максимально возможный потребляемый ток составит не более $1,6 + 0,1 + 1,8 = 3,5$ мА, а максимально возможные напряжения на элементах не превышают напряжения питания.

При наличии экспериментальной части в пояснительной записке указывают цель эксперимента, описывают методику его проведения, приводят схему подключения измерительных приборов и полученные результаты. Эксперимент может включать изготовление макета устройства и его исследование в различных режимах работы, включая определение

основных характеристик, напряжений на элементах схемы и токов через них. Результаты экспериментов используют при проведении расчётов; поэтому экспериментальную часть в пояснительной записке следует разместить перед расчётами.

При обосновании художественно-технического решения конструкции необходимо предложить внешнюю форму устройства, общее конструктивное решение (из каких основных конструктивных частей состоит устройство, как они конструктивно взаимосвязаны и т.п.).

При решении этих вопросов следует, прежде всего, исходить из назначения и особенностей функционирования устройства, учитывать доступность органов оперативного управления, требования к расположению элементов индикации, датчиков, микрофонов, громкоговорителей и т.д., требования безопасности эксплуатации, технологические требования. Следует помнить, что помимо технических свойств и цены, конкурентоспособность во многом зависит от качества проработки дизайна изделия.

Все принимаемые решения должны быть не только описаны, но и обоснованы (т.е. должны быть указаны причины, по которым приняты именно предлагаемые, а не другие также возможные решения).

Допускается выполнение описания конструкции, предложенной автором устройства. В этом случае раздел должен называться "Описание конструкции...", и при его написании также следует указывать причины принятых конструктивных решений.

В пояснительной записке следует привести эскизы предлагаемых конструктивных решений. Эскизы должны быть оформлены в виде рисунков или как чертежи общего вида (0,25 – 0,5 листа формата А1).

В заключение дают общую характеристику устройства, указывая кратко его название, назначение, наиболее существенные особенности; приводят технические характеристики и проводят сравнение с указанными во введении или другими подобными устройствами (аналогами). Технические характеристики рассматриваемого устройства и аналогов удобно свести в таблицу.

По окончании работы выполняется рекламный проспект. Содержание и оформление рекламного проспекта определяются студентом; объём проспекта 1 лист формата А4.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка выполняется на листах белой нелинованной бумаги формата А4. Оформление пояснительной записки должно соответствовать требованиям ЕСКД с учетом специфики учебного процесса (см. далее). Все листы пояснительной записки должны иметь рамку. Текст пояснительной записки должен быть набран в формате Microsoft Word или Open Office, гарнитура Times New Roman, кегль 14, в 1,5 интервала.

Пояснительная записка начинается с титульного листа (образец оформления титульного листа приведён в приложении), затем помещают бланк задания на курсовую работу, оглавление, содержательную часть и приложения.

Первым листом пояснительной записки считается оглавление; основную надпись на этом листе выполняют по форме 2 ГОСТ2.104-2006. В оглавление включают все разделы и подразделы пояснительной записки и приложений.

Название работы в задании, на титульном листе и на первом листе в основной надписи должно быть одинаковым.

Все разделы и подразделы пояснительной записки должны быть пронумерованы (заключение и список литературы не нумеруются).

Разделы и подразделы нумеруют арабскими цифрами, разделёнными точкой. Каждый раздел должен начинаться с нового листа. Заголовки разделов выделяют свободными строками; точку в конце заголовка не ставят.

Изложение содержания работы должно быть кратким, четким и ясным, исключая неоднозначное истолкование. Сокращения слов в тексте (за исключением оговоренных в ГОСТ7.12-93) не допускаются. Применяемые условные обозначения различных величин должны соответствовать установленным стандартам, причём перед первым применением обозначения каждого параметра следует дать пояснение (например, "напряжение источника питания U_{num} ").

При оформлении расчётов должны быть приведены расчётные формулы, определены все входящие в них величины, приведены исходные данные и результаты. Число значащих цифр должно соответствовать реальной точности расчётов. Для удобства ссылок на формулы их можно пронумеровать (в порядке использования, арабскими цифрами, с правой стороны листа, на уровне формул, в круглых скобках).

Приводимые в пояснительной записке иллюстрации (эскизы, схемы и др.) могут быть расположены в тексте сразу после ссылки на них или при-

ведены в приложении. Ссылки на иллюстрации даются по типу: "...схема которого показана на рис.3" или "Приёмник (рис.5) состоит из...". Каждый рисунок должен иметь название и может содержать пояснительные надписи (см., например, рис.2 в настоящих указаниях).

При выполнении курсовой работы используется различная литература (из нее берутся расчётные формулы, справочные сведения, варианты решений и др.); её применение должно быть отражено в виде ссылок в тексте и списка литературы. В тексте ссылки на литературу даются в квадратных скобках по типу: "Как указано в [3, с.47], ..." или "...должен быть [5, с.82] пылезащищенным...". Список литературы оформляется также как и в настоящих указаниях; источники перечисляются в порядке появления ссылок в тексте или в алфавитном порядке.

Приложения оформляют как продолжение пояснительной записки. Каждое приложение должно иметь наименование и начинаться с нового листа с указанием в правом верхнем углу слова "ПРИЛОЖЕНИЕ". Если приложений несколько, их нумеруют арабскими цифрами без знака № (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

К пояснительной записке подшивают рекламный проспект и разработанные графические и конструкторские документы. Документы, используемые при защите (схемы, эскизы и т.п.), подшивают после защиты.

6. ОФОРМЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

В процессе работы выполняются схемы, перечни элементов, эскизы.

Все документы должны выполняться на листах стандартных форматов, иметь рамки и основные надписи. Графические и буквенные обозначения на схемах должны соответствовать ГОСТам ЕСКД. При вычерчивании схем следует стремиться к тому, чтобы источники сигналов располагались слева, а потребители – справа; элементы схем обозначают латинскими буквами и нумеруют в пределах каждого буквенного обозначения последовательно сверху вниз, слева направо арабскими цифрами.

Перечни элементов схем можно располагать на поле чертежа схемы или на отдельных листах формата А4. Элементы в перечне записывают в алфавитном порядке условных буквенных обозначений. При выполнении перечня на поле схемы его примыкают к правой линии рамки чертежа. В перечень должны быть включены все элементы схемы.

Правила выполнения схем и перечней элементов, буквенные и графические обозначения элементов приведены в ГОСТах группы 2.700.

При выполнении эскизов необходимо выбирать положение устройства и виды так, чтобы обеспечить наибольшую наглядность и информативность. Способы соединения частей устройства удобно показывать, применяя разрезы. На эскизах конструкции устройства должны быть проставлены габаритные размеры.

Все документы должны выполняться с использованием компьютерных технологий.

7. ЗАЩИТА РАБОТЫ

При защите студент должен изложить содержание работы в виде короткого доклада. Должна быть названа тема работы, указано назначение устройства; по функциональной и принципиальной схемам рассмотрено функционирование устройства в основных режимах работы и назначение элементов; описана конструкция устройства. При докладе следует пользоваться разработанными графическими материалами. После защиты все материалы работы сдаются руководителю.

С п и с о к р е к о м е н д у е м о й л и т е р а т у р ы * :

1. *Касаткин, А. А.* Курс электротехники: для студентов вузов / А. А. Касаткин, М. В., / М. В. Немцов. – Изд. 8-е стер. – М. : Высш. шк, 2005. – 542 с.

2. *Иванов, И. И.* Электротехника: учеб. для студентов вузов / И. И. Иванов, Т. И. Соловьев, В. С. Равдонин. – Изд. 3-е стер. – СПб.; М.; Краснодар, 2005. – 496 с. : ил.

3. *Сворень, Р. А.* Электроника шаг за шагом / Р. А. Сворень. – М. : Горячая линия-Телеком, 2001. – 360 с.: ил. – [Массовая радиобиблиотека].

4. *Шелестов, И. П.* Путеводитель в мир электроники : в 2 кн. / И. П. Шелестов, Б. Ю. Семенов. – М. : Солон-Пресс, 2004. – Кн. 1. – 400 с.: ил. – Кн. 2. – 352 с.: ил.

5. *Борисов, В. Г.* Юный радиолобитель / В. Г. Борисов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1987. – 440 с.

6. *Поляков, В. Т.* Посвящение в радиоэлектронику / В. Т. Поляков. – М. : Радио и связь, 1988. – 352 с.

7. *Ушаков, В. Н.* Электроника: от транзистора до устройства / В. Н. Ушаков, О. В. Долженко. – М. : Радио и связь, 1983. – 320 с.

8. *Хоровиц, П.* Искусство схемотехники : в 3 т. ; пер. с англ / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Мир, 1994.

* Публикуется в авторской редакции.

9. Электротехника и основы электроники : учеб. для вузов / О. А. Антонова [и др.]; под ред. О. П. Глудкина, Б.П.Соколова. – М. : Высш. шк., 1993. – 445 с.

10. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры : справочник / Э.Т.Романычева [и др.]; под ред. Э.Т.Романычевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

Стандарты ЕСКД,
используемые при выполнении курсовой работы*

- ГОСТ2.101-68. Виды изделий;
- ГОСТ2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов;
- ГОСТ2.104-2006. Основные надписи;
- ГОСТ2.105-95. Общие требования к текстовым документам;
- ГОСТ2.106-96. Текстовые документы;
- ГОСТы группы 2.300 (форматы, масштабы и т.д., – правила выполнения чертежей);
- ГОСТ2.710-71. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах;
- ГОСТы 2.721-74; 2.723-68; 2.727-68; 2.728-74; 2.730-73; 2.735-68; 2.736-68; 2.755-87; 2.756-76 (Графические обозначения различных электрических элементов в схемах).

*Приведены на сервере кафедры (раздел «Учебные материалы»).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Образец оформления титульного листа пояснительной записки

Владимирский государственный университет
Факультет радиофизики, электроники и медицинской техники
Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Пояснительная записка к курсовой работе по дисциплине:
«Введение в проектирование и схемотехнику электронных средств»

Выполнил
студент гр. Р-109
Иванов С.К.
(подпись, дата)

Руководитель
доцент Петров А.И.

Владимир 2009

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
3. ПЕРЕЧЕНЬ И ОБЪЁМ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ДОКУМЕНТОВ	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	5
5. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	20
6. ОФОРМЛЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ	21
7. ЗАЩИТА РАБОТЫ	22
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	22
СТАНДАРТЫ ЕСКД, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	23
ПРИЛОЖЕНИЕ	24

ВВЕДЕНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СХЕМОТЕХНИКУ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
Методические указания к курсовому проектированию

Составители:

ДМИТРИЕВ Василий Борисович
РУФИЦКИЙ Михаил Всеволодович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой д-р техн. наук профессор В.П. Крылов

Подписано в печать 20.01.09.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.