

Кафедра радиооборудования и схемотехники

Методические указания по курсовому проектированию  
радиопередатчиков  
(направления 21004, 21007, специальности 09030209, 210302, 210402,  
210405)

Составители: к.т.н. доц. Дингес С.И., к.т.н. доц. Иванюшкин Р.Ю., доц.  
Шумилин М.С.

Рецензент: д.т.н. проф. Горгадзе С.Ф.

Москва 2013 г.

## Оглавление

Предисловие.....	
Цели и задачи курсового проектирования.....	
Задание на курсовой проект.....	
Содержание курсового проекта.....	
Порядок и сроки выполнения курсового проекта.....	
Порядок разработки развернутого технического задания.....	
Рекомендации по выполнению проекта. Общие замечания.....	
Анализ принципов построения существующих изделий, аналогичных проектируемому.....	
Выбор и обоснование архитектуры проектируемого изделия. Выбор и обоснование способов формирования радиосигналов с требуемыми видами модуляции.....	
Выбор и обоснование способов достижения требуемой стабильности частоты и способа синтеза всех необходимых частот. Разработка частотного плана проектируемого изделия.....	
Выбор и обоснование способа получения требуемой полезной мощности. Выбор усилительных приборов. Разработка структурной схемы и энергетической диаграммы тракта усилителя мощности.....	
Электрический расчет режимов нескольких узлов разрабатываемого изделия.....	
Разработка системы охлаждения мощных электронных приборов.....	
Расчет и выбор элементов схем разрабатываемых узлов проектируемого изделия. Составление и обоснование их принципиальных схем.....	
Требования к оформлению курсового проекта.....	
Порядок защиты курсового проекта.....	
Контрольные вопросы к защите курсового проекта.....	
Рекомендуемая литература по тематике курсового проектирования.....	

## Предисловие

Предлагаемые организационно-методические указания по курсовому проектированию радиопередатчиков предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 09030209 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» (специализация «Защита информации в радиосвязи и телерадиовещании») 210302 «Радиотехника», 210402 «Системы связи с подвижными объектами», 210405 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», а также по направлениям 210400 «Радиотехника» (профиль подготовки «Радиотехнические средства приема, передачи и обработки сигналов») и 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (профили подготовки: «Системы мобильной связи», «Цифровое телерадиовещание», «Системы радиосвязи и радиодоступа»). Методические указания составлены на основе многолетнего опыта проведения курсового проектирования, накопленного кафедрой радиопередающих устройств МТУСИ. Они являются дальнейшим развитием «методических указаний»,

изданных кафедрой в 1970, 1978 и 1983 гг.

Настоящее, четвертое, издание методических указаний подготовлено в связи и изменениями, происшедшими в технике радиопередающих устройств за последние годы, а также в связи с появлением новых направлений и профилей подготовки студентов.

### Цели и задачи курсового проектирования

**Целью курсового проектирования является** закрепление и углубление теоретических знаний, приобретение практических навыков проектирования, т.е. умения по поставленной задаче сформулировать развернутые и конкретные технические требования к подлежащему проектированию устройству; умения обоснованно выбирать из ряда возможных путей реализации технических требований одного, наиболее технически и экономически целесообразного; умения выполнять расчеты отдельных узлов проектируемого устройства, умения коротко и ясно излагать в письменной форме обоснования принятых решений, умения оформить результаты проектирования в форме, предусмотренной требованиями Единой Системы Конструкторской Документации (ЕСКД), и, наконец, умения убедительно изложить перед комиссией по защите основные положения проекта.

Курсовой проект радиопередающего устройства представляет собой сложный комплекс вопросов принципиального, экономического, режимного, схемного, расчетного и конструктивного характера. Все решения при курсовом проектировании принимает сам студент-автор проекта на основе собственного технико-экономического анализа ряда возможных современных вариантов решения поставленной задачи. Руководитель проектирования должен лишь предостеречь студента от грубых ошибок.

В связи с быстрым ростом сети радиопередатчиков всевозможного назначения, систематическим повышением требований к их качеству и надежности, особое внимание студентов обращается на необходимость использования в разрабатываемых ими проектах новейших достижений отечественной и зарубежной техники в рассматриваемой области.

Выполнению проекта предшествует изучение предусмотренных учебным планом основополагающих и общетехнических дисциплин (теории электрических цепей, полупроводниковых приборов, схемотехники и др.) и изучение основ курса радиопередающих устройств (или устройств генерирования и формирования радиосигналов).

Процесс работы над проектом рассчитан на 40-50 часов самостоятельной работы студента, регулярное посещение индивидуальных консультаций и, если это предусмотрено учебным планом, посещение и активное участие в аудиторных занятиях – практических занятиях по курсовому проектированию.

### Задание на курсовой проект

Темы курсовых проектов по дисциплине “Радиопередающие

устройства» («Устройства генерирования и формирования радиосигналов») весьма разнообразны. Это радиовещательные и связные радиопередатчики (включая передатчики базовых и мобильных станций систем связи с подвижными объектами и радиодоступа, радиорелейных и спутниковых систем связи, радиолокационные, радиотелеметрические и другие передатчики, возбуждители и многое другое в соответствии с будущей специальностью и интересами студента) разных диапазонов волн и мощностей.

Основные требования на передатчик при курсовом проектировании выдает преподаватель-руководитель проектирования. При этом, как правило, для радиопередатчика указывается следующее:

1. Назначение передатчика.
2. Стандарт или технология, используемая в проектируемом изделии.
3. Специфические условия эксплуатации.
4. Номинальная мощность, подводимая к антенно-фидерному тракту.
5. Диапазон рабочих несущих частот.
6. Виды модуляции и/или манипуляции.

Остальные технические требования к проектируемому изделию определяются в соответствии с развернутым техническим заданием, которое студент составляет с использованием действующих нормативных документов (см. ниже).

### Содержание курсового проекта

Типовой курсовой проект по дисциплинам «Радиопередающие устройства» и «Устройства генерирования и формирования радиосигналов» должен содержать следующие обязательные разделы:

1. Развернутое техническое задание.
2. Анализ основных принципов построения промышленных изделий, аналогичных проектируемому.
3. Выбор и обоснование архитектуры проектируемого изделия. Выбор и обоснование способов формирования радиосигналов с требуемыми видами модуляции.
4. Выбор и обоснование способов достижения требуемой стабильности частоты и способа синтеза всех необходимых частот. Разработка частотного плана проектируемого изделия.
5. Выбор и обоснование способа получения требуемой полезной мощности. Выбор усилительных приборов. Разработка структурной схемы и энергетической диаграммы тракта усилителя мощности.
6. Электрический расчет режимов нескольких узлов разрабатываемого изделия, по согласованию с ведущим преподавателем. Разработка системы охлаждения мощных электронных приборов (если это требуется).
7. Составление и обоснование их принципиальных схем разрабатываемых узлов проектируемого изделия. Расчет и выбор их элементов.
8. Структурная и принципиальная схем проектируемого изделия, а также перечень элементов (спецификация).

9. Список используемых источников литературы, включая интернет-сайты.

10. Заключение и выводы по проекту, обсуждение результатов проектирования.

### Порядок и сроки выполнения курсового проекта

Учебными планами различных специальностей и профилей подготовки для курсового проектирования может выделяться 17-ти либо 14-ти недельный семестр. С учетом этого, трудоемкость курсового проекта может корректироваться, путем включения различного числа разрабатываемых узлов передатчика в пункт 6 проекта (см. предыдущий раздел).

В приведенной таблице указан рекомендуемый порядок выполнения разделов курсового проекта, с указанием контрольных недель их готовности. Для своевременного выхода на защиту проекта, студенту рекомендуется максимально следовать предлагаемым срокам работы над проектом.

№№ учебных недель		Выполняемые разделы курсового проекта
17-ти недельный семестр	14-ти недельный семестр	
1,2	1,2	Выдача индивидуального задания на проект.
3,4	3,4	Разработка и утверждение преподавателем развернутого технического задания на проектируемое изделие.
5,6	5,6	Анализ принципов построения существующих изделий, аналогичных проектируемому.
5,6	5,6	Выбор и обоснование архитектуры проектируемого изделия. Выбор и обоснование способов формирования радиосигналов с требуемыми видами модуляции.
5,6	5,6	Выбор и обоснование способов достижения требуемой стабильности частоты и способа синтеза всех необходимых частот. Разработка частотного плана проектируемого изделия.
7,8	7,8	Выбор и обоснование способа получения требуемой полезной мощности. Выбор усилительных приборов. Разработка структурной схемы и энергетической диаграммы тракта усилителя мощности.
9,10,11,12	9,10	Электрический расчет режимов нескольких узлов разрабатываемого изделия. Разработка системы охлаждения мощных электронных приборов.
11,12	9,10	Расчет и выбор элементов схем разрабатываемых узлов проектируемого изделия. Составление и

		обоснование их принципиальных схем.
13,14	11,12	Составление и оформление структурной и принципиальной схем проектируемого изделия, а также перечня элементов (спецификации).
13,14	11,12	Составление списка используемых источников литературы, включая интернет-сайты.
13,14	11,12	Сдача готового проекта на проверку преподавателю.
15,16	13,14	Защита курсового проекта.

### Порядок разработки развернутого технического задания

Студент-исполнитель проекта прежде всего составляет развернутое техническое задание на проектируемый передатчик в развитие заданных преподавателем параметров и в соответствии с назначением передатчика, действующими стандартами, нормами и правилами.

**Техническое задание (ТЗ)** — исходный документ на проектирование технического объекта в соответствии с заданием на проектирование. ТЗ устанавливает основное назначение разрабатываемого устройства, его технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования и др. Полное и корректно составленное задание на разработку электронного устройства - залог успешного выполнения проекта.

ТЗ составляется студентом в виде таблицы, содержащей техническую характеристику или параметр, его величину, ссылку на информационный источник (нормативные документы, Приказы Министерства информационных технологий и связи) для всех пунктов, включенных в ТЗ.

Список действующих Норм ЭМС, Государственных стандартов и ведомственных правил, относящихся к радиопередающим устройствам (в соответствии с тематикой курсового проектирования), можно получить у ведущего занятия преподавателя. Кроме этого, необходимо изучить соответствующие разделы учебников и пособий по проектированию.

Все многообразие технических требований к передатчику целесообразно сгруппировать следующим образом:

**А. Первая группа требований «системные требования»**, уточняющие выданное задание и вытекающие из назначения передатчика, и особенностей радиосистемы, в которой он используется.

**1. Назначение передатчика.** В проекте может быть поставлена задача проектирования устройства (или его части), предназначенного, например, для следующего:

- а) фиксированная радиосвязь: радиорелейная (на сегодняшний день только цифровая), космическая (наземная или бортовая станция), декаметровая магистральная, тропосферная и т.п.;
- б) мобильная радиосвязь общего применения (базовая или абонентская станция сотовой или транкинговой системы связи);
- в) локальная (низовая) народнохозяйственная связь в декаметровом

- диапазоне с ОМ, в метровом или дециметровом с ЧМ, включая цифровые и аналоговые транкинговые (корпоративные) системы связи;
- г) для служебной связи подвижных объектов: судов, самолетов, железнодорожного или автомобильного транспорта (бортовые или стационарные станции);
- д) радиовещание в километровом (ДВ), гектометровом (СВ) и декаметровом (КВ) диапазонах волн с АМ; в метровом (УКВ) диапазоне с ЧМ; цифровое радиовещание в этих же диапазонах волн;
- е) телевизионное вещание в диапазонах метровых и дециметровых волн, включая передатчики цифрового телевидения;
- ж) передатчики радиолокационных станций стационарного, передвижного, подвижного объекта; импульсные либо с непрерывным излучением;
- з) передатчики телеметрии и телеуправления.;
- и) радиооборудование систем беспроводного доступа различного назначения, городских и локальных сетей, персональных сетей, сверхширокополосных сетей, сетей радиоиdentификации.

2. Условия эксплуатации. Устанавливаются в соответствии с назначением передатчика:

- а) на стационарном радиопередающем центре при постоянном присутствии специального квалифицированного инженерно-технического обслуживающего персонала (обслуживаемый передатчик);
- б) на стационарном центре при автоматическом или дистанционном управлении без постоянного присутствия дежурного персонала (“необслуживаемый”);
- в) на борту подвижного объекта (автомобиля, самолета, судна, спутника) при наличии или отсутствии специального радиста-оператора;
- г) в помещении диспетчерского пункта (например, морского, речного или авиапорта, объекта строительства и т. п.);
- д) в руках пользователя сотовой или другой мобильной радиосвязи, включая индивидуальные средства служебной радиосвязи;

3. Полезная мощность, отдаваемая передатчиком в нагрузку (антенну, фидер).

4. Допустимые отклонения мощности от номинала (по диапазону частот, при изменении питающих напряжений и т.п.) Здесь же указываются требуемые градации изменения (дискретного регулирования) мощности и точность их установки, если это предусмотрено в заданной системе связи

5. Диапазон рабочих частот, характер перекрытия диапазона (плавный или дискретный, шаг сетки частот); фиксированные частоты; время перестройки с одной частоты на другую, если это обусловлено условиями эксплуатации.

6. Способ передачи сигнала (аналоговый, цифровой, одноканальный либо многоканальный), вид модуляции или манипуляции, скорость манипуляции; число независимых телефонных, телеграфных или цифровых каналов.

**Б. Вторая группа требований «требования ЭМС»** обусловлена Нормами электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств.

7. Допустимая нестабильность (отклонение от номинала) несущей частоты

передатчика.

8. Допустимый уровень побочных излучений (высшие гармоники, субгармоники, комбинационные составляющие, значительно отстоящие от частоты рабочего канала, и др.).

8. Допустимая ширина полосы частот (полосы канала), занимаемая полезным излучением передатчика, и уровень внеполосных (внеканальных) излучений, в том числе требования, определяемые спектральной маской (Emission Mask) и допустимым уровнем излучения в соседнем канале (ACPR).

### **В. Третья группа требований, определяющая показатели качества передачи сообщения.**

9. Допустимые уровни нелинейных искажений передаваемого сигнала при заданных параметрах модуляции. Указываются допустимые нормы искажений сигнала, которые могут нормироваться, как: коэффициент ошибок модуляции (MER) или амплитуда вектора ошибки (EVM), или допустимые уровни комбинационных (интермодуляционных) составляющих спектра выходного сигнала при номинальной полезной мощности передатчика; коэффициент нелинейных искажений (или коэффициент гармоник) при заданной глубине амплитудной модуляции или при заданной девиации частоты или фазы угловой модуляции; допустимые искажения амплитудно-амплитудной (для ТВ-передатчиков нормируется параметром «дифференциальное усиление») и фазо-амплитудной характеристик (для ТВ-передатчиков нормируется параметром «дифференциальная фаза») и т. п..

10. Полоса модулирующих частот  $F_{\min} \dots F_{\max}$  при передаче аудио и видео сигналов и допустимая неравномерность АЧХ (глубины модуляции, девиации частоты или др.) по этому диапазону; наличие и характер предварительной коррекции АЧХ, если таковая требуется. При передаче потока цифровых данных или импульсных сигналов этот пункт исключается.

11. Для радиотелеграфных и импульсных передатчиков показатели качества передачи сообщения – это частота следования импульсов, их длительность и форма, величина паразитного излучения в паузах и другие показатели в соответствии с видом модуляции и с требованиями Норм и стандартов.

12. Допустимый уровень паразитной амплитудной, частотной или фазовой модуляции, допустимый уровень шумов и фона.

### **Г. Четвертая группа требований, - «энергетические и эксплуатационные требования».**

13. Параметры антенно-фидерного устройства: количество и тип антенн; необходимость использования фидера между антенной и передатчиком; симметричное или несимметричное построение антенн и фидеров; электрические параметры антенн (резистивное и реактивное сопротивление, - если задано в стандарте) и фидеров (волновое сопротивление и допустимый коэффициент бегущей (или стоячей) волны).

14. Особенности первичного и вторичного электропитания:

электрическая сеть населенного пункта; индивидуальная электростанция мощного радиоцентра, большого корабля или очень большого самолета. При этом сами каскады передатчика питаются через вторичные источники

питания – выпрямители; бортовой аккумулятор подвижного объекта (автомобиля, моторного катера, малого самолета и т.п.); гальванический источник питания непосредственно в составе портативной (мобильной) радиостанции, а именно аккумулятор, если есть возможность периодической его подзарядки, или первичный гальванический элемент (батарея).

Следует указать конкретные (стандартные) напряжения используемых источников питания и степень возможной их нестабильности по величине отклонения напряжения от номинального. Для мощных передатчиков с питанием от трехфазных электросетей также нормируется величина коэффициента мощности  $\cos\varphi$ .

15. Промышленный (полный) коэффициент полезного действия (КПД) передатчика, если он указан в стандарте на передатчик такого назначения, как проектируемый. Если же требования на промышленный КПД не нормированы, то следует предусмотреть все возможные и целесообразные меры его повышения при условии выполнения других требований к передатчику.

16. Параметры информационного входа: резистивное входное сопротивление и номинальный уровень подводимого сигнала, тип входного интерфейса / порта и т.п..

17. Условия эксплуатации: температура окружающей среды, влажность и давление воздуха; вибрации, удары, длительные постоянные механические нагрузки; наличие проникающей радиации и другое в соответствии с местом эксплуатации передатчика.

Кроме этого, в техническое задание могут быть включены требования по надежности, резервированию, ремонтпригодности, массе, габаритам и другие, в соответствии со спецификой проектируемого устройства.

Составляя техническое задание, студент должен обеспечить взаимное соответствие разделов требований. Например, нельзя питать носимый портативный передатчик от электросети; переносной передатчик следует рассчитывать для работы с простейшей антенной (например, штырь).

В некоторых случаях учебного проектирования возникает необходимость частичного отступления от требований стандартов, норм и т.п. Например, для большего разнообразия тем курсовых проектов может задаваться мощность передатчика, не предусмотренная стандартом. Подобные отступления должны быть четко оговорены в задании.

Развернутое техническое задание на проектируемый передатчик утверждается преподавателем не позднее 3..4 учебной недели семестра.
--

## Рекомендации по выполнению проекта

### Общие замечания

После того, как преподаватель-руководитель проектирования утвердил развернутое техническое задание к проектируемому передатчику, студент-исполнитель приступает к рассмотрению возможных путей реализации этих

требований и выбору наиболее целесообразных путей их реализации в проектируемом изделии.

Выбор ведется путем сравнения разных возможных методов, известных из теории, с учетом практических результатов, достигнутых в известных типовых передатчиках, применительно к конкретным условиям выполняемого проекта. Исходным материалом для этого сравнения служит литература, как представленная в конце этих методических указаний так и другая, указанная ведущим курсовое проектирование преподавателем.

В пояснительной записке к проекту обязательно перечисляются все основные возможные пути реализации того или иного заданного технического требования к разрабатываемому передатчику и указываются причины выбора одного из них и отклонения других.

Не допускаются произвольные, необъясненные решения и “заявления”, вроде: “Подходит транзистор КТ-927Б”, “Выберем напряжение  $E_k = 58 \text{ В}$ ”, “Беру  $\varphi = 90^\circ$ ”.

При выполнении проекта рекомендуется такой примерный порядок работы, определяющий основное содержание пояснительной записки, который был изложен выше в разделах «Содержание курсового проекта» и «Примерный порядок выполнения курсового проекта».

### Анализ принципов построения существующих изделий, аналогичных проектируемому.

В производственных условиях, приступая к проектированию нового изделия, инженер прежде всего глубоко и детально изучает, что было сделано в этой области ранее, какие подобные устройства эксплуатируются в данный момент на отечественных и зарубежных предприятиях, чем они хороши и чем плохи. Это абсолютно необходимая часть проекта, чтобы каждая новая разработка двигала науку и практику вперед.

В условиях учебного проектирования, студент по литературе, в которой рассматриваются и описываются передатчики того же назначения, что и проектируемый, подбирает близкий по мощности и по диапазону частот передатчик-прототип. Иногда оказывается целесообразным ознакомиться с несколькими типовыми передатчиками, годящимися на роль прототипа для проектируемого. Например, с одним несколько большим по мощности, чем проектируемый, а с другим — несколько меньшим; или одним относительно устаревшим и другим — более новым и т.п. Изучаются основные технические решения, использованные в прототипе (или прототипах), оценивается степень их современности и перспективности применительно к проектируемому передатчику, а именно:

- выявляются различия в технических характеристиках прототипа и проектируемого передатчика;
- выясняются методы, которыми достигнуты заданные в развернутом техническом задании параметры прототипа;
- при помощи учебников, учебных пособий, лекций по курсу

радиопередатчиков и консультаций преподавателя оценивается степень современности и перспективности этих решений;

- определяются конкретные типы микросхем, транзисторов, радиоламп, электронных приборов СВЧ, использованных в прототипе; по новейшим справочникам оценивается их пригодность для новых разработок;
- оценивается общий уровень использованной в прототипе элементной базы, степени его микроминиатюризации.

Полезно в пояснительной записке к курсовому проекту подробно изложить выявленные недостатки прототипа, чтобы избежать подобного в проекте.

### **Выбор и обоснование архитектуры проектируемого изделия. Выбор и обоснование способов формирования радиосигналов с требуемыми видами модуляции.**

Одним из первых и наиболее важных этапов разработки радиопередатчика (или передающего тракта радиостанции) является определение общих принципов его функционирования. На сегодняшнем этапе развития радиопередающей техники в подавляющем большинстве случаев применяется многокаскадное построение, позволяющее обеспечивать современные жесткие требования к стабильности частоты и качеству формируемого сигнала. Тем не менее, при многокаскадном построении существует несколько возможных архитектур передающего тракта, среди которых нужно сделать осознанный выбор, определяющий все дальнейшие этапы работы над проектируемым изделием.

Тем не менее, следует заметить, что построение передатчика на основе мощного автогенератора присуще не только простейшим однокаскадным, но и более сложным передатчикам, строящимся на основе кольца автоматической подстройки частоты мощного генератора управляемого напряжением (ГУНа). Однако, — существует ряд задач, где используется и «классическое» однокаскадное построение передатчика. Прежде всего, - это передатчики импульсных радиолокационных станций, строящиеся на основе мощных автогенераторов на базе электронных приборов магнетронного типа. Разумеется, требования к стабильности частоты таких передатчиков не слишком жесткие.

При выборе архитектуры многокаскадного передатчика, прежде всего необходимо тщательно взвесить все достоинства и недостатки возможных вариантов. Наиболее простыми являются передатчики, построенные на основе прямой архитектуры радиотракта, когда модуляция радиосигнала осуществляется непосредственно на рабочей частоте. Такая архитектура содержит минимум вспомогательных узлов, а ее использование не приводит к образованию дополнительных комбинационных продуктов в спектре формируемого радиосигнала, ввиду отсутствия преобразований частоты. Среди недостатков такого построения наиболее опасным является эффект затягивания частоты, что требует усложнения передающего тракта, либо применения более сложной архитектуры с преобразованием частоты.

Особенно остро проблема затягивания частоты возникает в компактных мобильных устройствах, когда близкое взаимное расположение тракта усиления мощности и ГУНа синтезатора частот, вызывает значительные электрические и электромагнитные связи между этими узлами. С этой точки зрения, гораздо менее подвержены данной проблеме стационарные радиовещательные и телевизионные передатчики, в которых чаще всего возбудитель и усилитель мощности конструктивно выполняются в виде отдельных ящиков (шкафов). Что же касается мобильных устройств, где существенно снизить взаимное влияние усилителя мощности на ГУН синтезатора частот не представляется возможным, требуется усложнение прямой архитектуры радиотракта, при котором синтезатор частот вырабатывает удвоенную рабочую частоту с последующим делением ее на два. В таком случае явление затягивания частоты существенно снижается, поскольку ГУН синтезатора частот и тракт усиления мощности уже не работают на одной и той же частоте. Разумеется, при таком решении также повышается устойчивость передатчика в целом.

Свободна от затягивания частоты и архитектура передающего тракта с преобразованием частоты (аналогичная супергетеродинному построению радиоприемника). Здесь синтезатор частот является гетеродином, частота которого отличается от рабочей частоты передатчика на величину промежуточной частоты. Однако, применять такую архитектуру в миниатюрных мобильных устройствах чаще всего невозможно, в силу больших массо-габаритных показателей полосовых фильтров, включаемых на выходе преобразователя частоты (смесителя). В тоже время, архитектура передающего тракта с преобразованием частоты находит широкое применение там, где нереализуема прямая архитектура. Прежде всего, - это радиооборудование диапазона СВЧ (в первую очередь, речь идет о частотах более 10 ГГц), когда формирование модулированного сигнала непосредственно на рабочей частоте затруднительно, либо, вообще, невозможно. Архитектура с преобразованием частоты также незаменима в тех случаях, когда сигнал должен формироваться на фиксированной частоте, например, при формировании сигнала изображения в передатчиках аналогового телевидения, где требуется частичное подавление одной из боковых полос специальным формирующим фильтром, а также в связных однополосных радиостанциях.

После того, как принято и обосновано решение об архитектуре проектируемого передатчика, необходимо сразу же определиться с тем, каким способом, и в каком узле передатчика будет осуществляться требуемая модуляция. Большинство сложных цифровых сигналов современных систем связи и телерадиовещания, как известно, формируются программными способами, и через цифро-аналоговые преобразователи поступают в передающий тракт в виде квадратурных (I и Q) либо полярных (A и φ) компонент. В соответствии с этим, в передатчике применяются универсальные квадратурные модуляторы (при квадратурном способе формирования сигнала), либо осуществляется отдельная фазовая и

амплитудная модуляция (при полярном способе формирования сигнала). В последнем случае, амплитудную модуляцию целесообразно формировать на высоком уровне мощности в оконечном каскаде передатчика (согласно методу Л. Кана), что позволит существенно повысить его КПД. Однако, нельзя забывать, что реализация метода Л. Кана затруднена при широкополосных сигналах, когда становится невозможным построение высокоэффективного тракта огибающей. Также, в отдельных случаях, формирование цифровых сигналов с фазовыми (BPSK, QPSK, 8PSK) и частотными (GMSK, BFSK, 4FSK, 8FSK) видами модуляции целесообразно осуществлять непосредственно в синтезаторе частот передатчика. В качестве таковых наиболее удобны синтезаторы прямого цифрового синтеза (DDS), а также синтезаторы на основе петли автоматической подстройки частоты с дробными коэффициентами деления (Fractional PLL Synth.).

При формировании сигналов с аналоговыми видами модуляции, также следует определиться со способами их получения. Так, например, сигналы с угловой (частотной и фазовой) модуляцией могут быть получены, как непосредственно в ГУНе синтезатора частот, так и в отдельном фазовом, либо частотном модуляторе (который также строится на основе ГУНа, охваченного петлей АПЧ). Следует помнить, что сигналы с любым видом угловой модуляции могут быть получены, как при помощи частотного, так и при помощи фазового модулятора. Получение амплитудной и однополосной модуляции в связных и телевизионных передатчиках обычно осуществляется на низкой промежуточной частоте и малом уровне мощности фильтровым способом, поскольку эти меры обеспечивают требуемую чистоту формируемого спектра сигнала. Что же касается мощных радиовещательных передатчиков с АМ, формирование амплитудной модуляции обычно осуществляется в оконечном каскаде усилителя мощности, путем управления напряжением питания. Такой способ модуляции позволяет достигать высокого КПД передатчика. Возможно повышение КПД также и однополосных передатчиков, если формировать сигнал путем полярного представления. В этом случае фазомодулированная компонента формируется на малом уровне мощности в возбuditеле, а амплитудная модуляция формируется в оконечном каскаде передатчика путем управления питающим напряжением (т. е. используется метод Л. Кана). К сожалению, из-за невозможности высокоэффективного усиления широкополосной огибающей, такой способ неприемлем при построении телевизионных передатчиков.

В результате выбора способа формирования требуемого вида модуляции может быть принято решение о целесообразности разработки нового модулятора, либо о выборе готового промышленного компонента, например, интегральной микросхемы.

Следует еще раз обратить внимание, что все принимаемые решения должны формироваться на основе тщательного сравнительного анализа возможных вариантов, быть хорошо аргументированы и четко обоснованы! Все отбрасываемые в процессе выбора и сравнения альтернативные варианты должны подвергаться грамотной и четко обоснованной критике.

## Выбор и обоснование способов достижения требуемой стабильности частоты и способа синтеза всех необходимых частот. Разработка частотного плана проектируемого изделия.

Основным узлом передатчика, отвечающим за стабильность его рабочей частоты, как известно, является опорный генератор. Именно грамотный подход к определению его параметров и условий эксплуатации лежит в основе достижения этого технического требования к передатчику. На сегодняшний день в подавляющем большинстве случаев, в качестве опорных используются кварцевые автогенераторы, позволяющие обеспечить относительную нестабильность частоты в пределах от  $10^{-5}$  до  $10^{-7}$ . В случаях, когда требуется более высокая стабильность частоты, следует прибегать к дополнительной подстройке опорного генератора по эталонным сигналам, получаемых от квантовых (атомных) стандартов частоты (с относительной нестабильностью до  $10^{-13}$ ), либо от спутниковых систем позиционирования (таких, как Novstar GPS, Galileo, ГЛОНАСС). Такая синхронизация осуществляется путем охвата опорного генератора петлей автоматической подстройки частоты, где в качестве эталонного сигнала используются колебания, получаемые от одного из вышеназванных источников. С этой целью в качестве опорных генераторов следует использовать управляемые (подстраиваемые) кварцевые автогенераторы. Особым случаем является однокаскадное построение передатчиков импульсных радиолокационных станций, когда применяется однокаскадное построение передатчика на основе магнетронных автогенераторов, где достижение высокой стабильности частоты не представляется возможным и не требуется соответствующими Нормами ЭМС.

Стабильность частоты, обеспечиваемая кварцевым опорным автогенератором, во многом определяется внешними условиями его работы. С целью повышения стабильности его частоты, обычно применяют следующие меры: тщательное экранирование автогенератора, стабилизация напряжения питания, снижение влияния нагрузки путем включения на выход автогенератора специального буферного усилителя, термокомпенсация или термостатирование. Целесообразность применения тех или иных из этих мер определяются, в первую очередь, конкретными требованиями к стабильности частоты проектируемого передатчика, а также возможностью их практической реализации, исходя из его конструктивных и массо-габаритных особенностей. Экранировка автогенератора и включение на его вход специального буферного усилителя, выполняются, как правило, во всех случаях. Особенности электропитания опорного генератора зависят, в первую очередь, от того, проектируется стационарный или мобильный передатчик. В последнем случае, ограничиваются питанием опорного генератора через отдельный дополнительный стабилизатор. В случае же стационарного передатчика с питанием от электросети, часто бывает целесообразным запитывать опорный автогенератор от отдельного тщательно экранированного и стабилизированного выпрямителя. Для

противодействия температурной нестабильности, как известно, наиболее действенным методом является термостатирование, которое практически реализуемо лишь в стационарных передатчиках. В этом случае всегда предусматривают предварительный прогрев термостата, путем подачи питания на автогенератор и термостат от отдельных выпрямителей с отдельным подключением в сеть. Во всех остальных случаях применяют термокомпенсированные кварцевые автогенераторы. В случаях, когда невозможно добиться требуемой стабильности частоты от термокомпенсированного кварцевого автогенератора, а применение термостатирования невозможно, используют параметрическую термокомпенсацию, путем подстройки кварцевого автогенератора по корректирующему сигналу, вырабатываемому микроконтроллером на основе калибровочных таблиц, в соответствии с результатами измерения температуры автогенератора при помощи специального термодатчика.

В пояснительной записке курсового проекта должны быть четко обоснованные и аргументированные выводы о целесообразности применения тех или иных способов повышения стабильности частоты опорного генератора, применительно к разрабатываемому передатчику. По результатам проведенного анализа студентом может быть принято решение, либо о целесообразности выбора промышленного кварцевого автогенератора (готовой интегральной микросборки), либо о целесообразности разработки нового опорного генератора. Исключение составляют передатчики импульсных радиолокационных станций, где единственным автогенератором является магнетрон.

В этом разделе курсового проекта также следует определиться со способами синтеза всех необходимых рабочих и вспомогательных частот передатчика. Как правило, для обеспечения высокой стабильности частоты, в передатчике используется один общий опорный автогенератор, а все остальные частоты формируются из опорной частоты при помощи синтезаторов частот. Методы прямого аналогового синтеза на сегодняшний день используются очень ограниченно. Тем не менее, промежуточные частоты (в случае архитектуры передатчика с преобразованием частоты) часто формируются путем деления в целое число раз частоты опорного генератора (либо путем ее умножения методами косвенного синтеза). Также в передатчиках с прямой архитектурой радиотракта, для снижения проблемы затягивания частоты, часто используется деление на два удвоенной рабочей частоты, сформированной синтезатором. Непосредственное умножение частоты обычно используется для получения частот выше 10 ГГц, сформировать которые другими способами в настоящее время затруднительно, либо невозможно.

В современных передатчиках все чаще находит применение прямой цифровой синтез (DDS), позволяющий формировать сетку частот с малым шагом при очень малом времени перестройки с одной рабочей частоты на другую. Также DDS является хорошим фазовым модулятором для формирования радиосигналов при передаче цифровых сигналов. В тоже

время, благодаря высокому энергопотреблению и относительно невысоких рабочих частотах, DDS применяются лишь в стационарной аппаратуре, и используются при формировании частот, не превышающих 500 МГц.

На сегодняшний день наиболее часто используемым способом синтеза частот в передатчиках являются синтезаторы на основе автогенератора управляемого напряжением (ГУН), охваченного петлей автоматической подстройки частоты по колебанию опорного автогенератора. Такие синтезаторы позволяют обеспечить работу на частотах вплоть до 10 ГГц, а в ряде случаев и выше. Основным недостатком таких синтезаторов является противоречие между величиной шага перестройки частоты и временем переключения с одной частоты на другую, что связано с инерционностью петлевого фильтра системы АПЧ. Для разрешения этого противоречия, когда требуется высокое быстродействие синтезатора, применяются синтезаторы на основе петли АПЧ с дробным коэффициентом деления.

Окончательный выбор наиболее целесообразных способов синтеза всех необходимых для работы проектируемого передатчика частот производит студент на основе тщательного анализа достоинств и недостатков различных вариантов путем их сравнения. Принимаемое решение должно быть тщательно аргументировано. Отбрасываемые варианты должны быть подвергнуты обоснованной критике.

Требуемое число синтезаторов частоты в передатчике определяется прежде всего его архитектурой, а также особенностями совместной работы радиопередающего и радиоприемного тракта (в составе радиостанции, мобильного телефона и т. п.).

После того, как определены все основные и вспомогательные частоты, которые требуется сформировать в передатчике, а также определено необходимое количество синтезаторов частот, необходимо составить упрощенную структурную схему маломощной части передающего тракта (возбудителя), где указать величины фиксированных радиочастот либо диапазонов перестраиваемых радиочастот (с указанием их границ и шага перестройки) в каждой ее точке. Такая упрощенная структурная схема с указанными на ней значениями радиочастот, обычно называется частотным планом (см. пример фрагмента частотного плана на рис. 1.). Разумеется, при разработке конкретного частотного плана требуется привести реальные значения частот и шага перестройки.

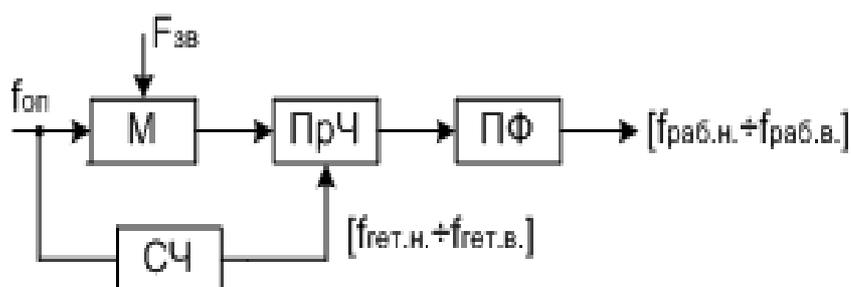


Рис. 1. Фрагмент частотного плана передатчика (возбудителя).  
При разработке частотного плана передающего тракта прежде всего

необходимо грамотно выбрать опорную частоту (для кварцевых автогенераторов ее целесообразно выбирать в пределах от 5 МГц до 20 МГц, что обеспечивает наилучшую температурную нестабильность), а также промежуточные частоты, в случае применения архитектуры с преобразованием частоты. При выборе опорной частоты не следует забывать, что опорный генератор часто является источником первичной тактовой частоты, используемой в микропроцессорных устройствах, осуществляющих формирование цифрового сигнала (например, DVBT-процессор передатчика цифрового телевидения и бейсбэнд-процессор средств мобильной связи). Также из опорной частоты могут формироваться частоты вспомогательных поднесущих комплексного стереосигнала (КСС) в системах стереофонического радиовещания. При выборе промежуточных частот следует руководствоваться критерием минимального попадания в рабочий диапазон комбинационных частот, возникающих в процессе преобразования частоты. Оценить эти комбинационные составляющие можно при помощи специальных номограмм [2] или специальных прикладных программ. В качестве отправных точек часто целесообразно выбирать типовые значения промежуточных частот, применяющихся в аналогичных передатчиках (например, 38 МГц для телевизионных передатчиков, 70 МГц для передатчиков радиорелейных станций и т. п.). Дополнительным выигрышем от применения типового значения промежуточной частоты является возможность использовать готовые промышленные фильтры в различных узлах проектируемого изделия. При выборе промежуточной частоты также важно помнить о необходимости совместной работы приемного и передающего трактов в едином приемо-передающем РЧ-блоке, где необходимо минимизировать количество используемых синтезаторов частот.

После разработки частотного плана проектируемого изделия следует еще раз внимательно изучить требуемые параметры опорного генератора и всех необходимых синтезаторов частот, для принятия решения о целесообразности выбора готовых интегральных микросхем, либо разработки новых узлов на дискретных элементах.

По результатам выбора или разработки функциональных схем синтезаторов частот следует (в случаях использования синтезаторов на основе ГУНа и петли АПЧ) определить необходимые значения коэффициентов деления всех фиксированных и переключаемых делителей частоты, входящих в состав таких синтезаторов.

### **Выбор и обоснование способа получения требуемой полезной мощности. Выбор усилительных приборов. Разработка структурной схемы и энергетической диаграммы тракта усилителя мощности.**

При разработке структурной схемы тракта усиления мощности передатчика определяется число каскадов усиления и выбираются электронные приборы, на которых эти каскады построены.

Разумеется, при проектировании радиопередатчиков на основе мощных автогенераторов (например, передатчики импульсных радиолокационных

станций), разработки тракта усиления мощности не требуется, а необходим лишь грамотный выбор усилительного прибора, на котором такой автогенератор с заданной полезной мощностью будет реализован.

Приступая к этой части проекта, прежде всего, на основе знаний, полученных при изучении курса радиопередающих устройств, а также с учетом критического анализа передатчиков – прототипов обосновывается способ построения тракта усиления мощности радиочастоты для достижения требуемой полезной мощности проектируемого передатчика:

- “классическим”, т.е. путем каскадного усиления высокостабильных колебаний маломощного возбудителя до необходимой полезной мощности, подводимой к антенне;
- путем построения в виде двух идентичных полукомплектов тракта усиления мощности по системе «горячего» резервирования;
- путем построения многомодульной структуры со сложением мощностей от нескольких усилительных модулей.

При разработке тракта усиления мощности также следует обратить особое внимание на способы обеспечения работы передатчика в заданном диапазоне частот, т.е. требуется широкодиапазонное или узкодиапазонное (например, резонансное) построение каскадов усиления мощности. Зачастую это определяется тем, какая требуется настройка тракта усиления передатчика: ручная или автоматическая.

Следующим шагом, путем технико-экономического сравнения решается, в каких каскадах тракта усиления мощности передатчика целесообразно применение полупроводниковых приборов, а в каких – электронных ламп или специальных электронных приборов СВЧ. Разумеется, этот вопрос актуален только при построении мощных передатчиков. Тракты усиления мощности передатчиков малой и средней мощности (менее единиц кВт) за редким исключением строятся полностью полупроводниковыми. При построении мощных передатчиков возможно, как полностью полупроводниковое построение (если это оправдано и целесообразно), так и использование в самых мощных каскадах усиления электронных ламп, либо специальных вакуумных приборов СВЧ, например, пролетных клистронов.

Поскольку мощности транзисторов относительно невелики, при построении оконечных и предоконечных каскадов передатчиков средней и большой мощности используется многомодульная структура каскадов со сложением мощностей, отдаваемых большим количеством транзисторов. Из-за необходимости использования в мощных полупроводниковых каскадах усиления больших радиаторов охлаждения (а часто и дополнительных электровентиляторов и даже систем водяного охлаждения радиаторов), громоздких согласующих цепей и мостов сложения, габариты таких каскадов не получаются меньше ламповых при условии равноценной полезной мощности. При этом, отсутствие цепей накала у транзисторов обеспечивает немедленную готовность усилителя мощности к работе. Безусловным достоинством транзисторов является их пригодность для построения широкодиапазонных усилителей, более простых в исполнении, чем ламповые

усилители с распределенным усилением. Если студент-автор курсового проекта склоняется к применению радиолампы, то в пояснительной записке должно быть четко указано почему невозможно или нецелесообразно применение транзисторов в разрабатываемом передатчике.

Прежде чем приступить к выбору способа построения и применяемых усилительных приборов для самого мощного оконечного каскада усиления, необходимо определить, какая полезная мощность от него требуется с учетом потерь во всех пассивных устройствах, включаемых между оконечным каскадом и антенной: цепях согласования, выходных фильтрующих системах (фильтрах гармоник), схемах сложения мощностей, фильтрах-дуплексерах и т. п. Ориентировочные значения КПД этих устройств (для определения потерь полезной мощности в них) можно найти в соответствующей учебной литературе по проектированию радиопередатчиков [2,3]. На этом этапе также определяется метод обеспечения заданной степени подавления побочных излучений. Выбирается тип колебательной системы выходного фильтра передатчика и каждого резонансного каскада усиления (при их наличии): с сосредоточенными параметрами или из отрезков длинных линий (двухпроводных, коаксиальных, полосковых). Определяется способ настройки: переменным конденсатором, переменной индуктивностью, изменением длины линии. Выбираются способы связи между каскадами (трансформатор, емкостной делитель напряжения, П-контур и др.).

После уточнения полезной мощности оконечного каскада передатчика следует произвести обоснованный выбор наиболее целесообразного способа его структурного, схемотехнического и конструктивного исполнения. При этом окончательно уточняется класс используемых усилительных приборов и способы их включения (полевой или биполярный транзистор, тетрод или триод, с общим катодом или общей сеткой, с общим эмиттером или с общей базой), схема построения каскада (двухтактная или одноконтурная; резонансная, апериодическая или широкодиапазонная и т. д.). Указывается способ обеспечения устойчивости усилителей. Определяется возможность и целесообразность использования типовых элементов, функциональных узлов, модулей, микросхем и микромодулей. При выборе схемных решений отдельных каскадов усиления мощности и передатчика в целом следует обратить внимание не только на обеспечение энергетических (мощность, КПД) и качественных (например – линейность) показателей, но и на достижение эксплуатационной надежности и простоты обслуживания.

Важным этапом является выбор конкретных типов усилительных приборов для проектируемого каскада усиления мощности. На основе технико-экономического сравнения по современным справочникам и интернет-сайтам ведущих фирм производителей элементной базы производится выбор конкретных типов полевых и биполярных транзисторов, радиоламп или, если это необходимо, других электронных приборов. При этом из ряда пригодных для конкретного каскада усиления по мощности, с обязательным учетом необходимого недоиспользования, частоте, конструктивными особенностями, способу охлаждения и другим показателям

приборов, путем сопоставления их технических характеристик, нужно выбрать наиболее подходящий для конкретного каскада усиления проектируемого передатчика. Аналогичным образом поступают и в случае применения электронных приборов СВЧ (ЛБВ, клистронов, магнетронов и т. п.).

Абсолютно недопустимо применение устаревших, запрещенных к применению в новых разработках и, тем более, снятых с производства транзисторов, радиоламп и других радиокомпонентов и радиодеталей. Обоснование выбора электронного прибора, особенно для самого мощного оконечного каскада усиления, удобно проиллюстрировать наглядной таблицей на примере выбора транзистора.

**Таблица сравнения транзисторов, пригодных для проектирования (оконечного, предоконечного, предварительного) каскада усиления**

Исходные данные:

Требуемая от каскада полезная мощность  $P_1 =$  Вт

Высшая рабочая частота каскада  $f_{max} =$  МГц

Вид усиливаемых колебаний (включая требования к линейности)

Предполагающийся способ сложения мощности модулей

Предполагающаяся схема модуля или каскада: широкополосная, резонансная; двухтактная, однотактная

Критерии выбора:

- а) биполярный или полевой (ПТ МДП или с затвором Шоттки)
- б) пригодность для использования в новых разработках,
- в) граничная частота транзистора,
- г) удобное стандартное напряжение питания  $E_k, (E_c)$ ,
- д) по возможности высокое ожидаемое значение  $K_p$  и  $\eta_k$  на заданных частотах,
- е) предназначение для “линейного” усиления (если требуется), обеспечение заданной линейности усиления ( $K_{комб}$ , АСРР или другие критерии)
- ж) по возможности малое значение  $r_{нас}$ , по возможности небольшая выходная емкость  $C_{вых}$ ,
- з) стоимость комплекта транзисторов на каскад.

№ вариантов	Тип транзистора	Вид транзистора (ПТ, БТ)	Гранич. частота, МГц	Номинал. мощность $P_{ном}, Вт$	Число транзист. в каскаде, шт.	Примерн. знач. $E_k, В$	Ожидаем. значен. $K_p$	Стоим. компл., руб.	Дополн. сведения
1									
2									
3									

Заключение: выбран транзистор типа ....., отличающийся от других рассмотренных следующими преимуществами: 1), 2), 3). Число транзисторов в одном модуле ....., во всем каскаде .....

Выбор конкретного прибора должен быть тщательно аргументирован. Также должна присутствовать обоснованная критика отброшенных альтернативных вариантов.

В процессе предварительной разработки каскадов усиления мощности обязательно производится выбор величин питающих напряжений (из ряда стандартных значений по ГОСТ) таким образом, чтобы передатчик, питающийся от сети переменного тока, имел бы минимальное количество выпрямителей, а маломощный транзисторный - питался бы от единственного стандартного аккумулятора или гальванического элемента, соответствующего условиям использования передатчика. В последние годы мощные транзисторные передатчики, построенные по «модульному» принципу, часто имеют отдельные высокоэффективные выпрямители с быстродействующей защитой для каждого мощного транзисторного усилительного модуля. Несмотря на заметное усложнение системы питания, удорожание получается небольшое, а повышение надежности существенное: укорачиваются провода, соединяющие выпрямители с модулем усиления, а также уменьшается требуемое их сечение.

Следующим этапом является выбор и обоснование режимов работы разрабатываемого каскада усиления. Здесь следует грамотно и аргументировано обосновать целесообразные значения угла отсечки, а также степени напряженности режима. В случае применения ключевых режимов работы каскада следует обосновать наиболее целесообразный класс усиления и разновидность построения ключевого усилителя мощности.

После выбора и обоснования типа применяемого в каскаде усилительного прибора, определения напряжения питания каскада и количества усилительных приборов в нем, а также режимов работы каскада, следует при помощи методик и формул, приведенных в учебной литературе по проектированию передатчиков [2,3] уточнить коэффициент усиления каскада по мощности, после чего определить требуемую мощность на его входе. Затем, аналогично рассмотренному выше случаю предварительной разработки оконечного каскада, следует рассчитать величину полезной мощности, требуемой от предоконечного каскада, с учетом потерь в пассивных элементах (цепях согласования, устройствах распределения и сложения мощностей и т. п.). После этого, по приведенным выше рекомендациям проводится предварительная разработка предоконечного каскада усиления мощности, а затем предварительных каскадов. Число каскадов усиления мощности, в конечном итоге, определяется величиной полезной выходной мощности передатчика и коэффициентами усиления выбранных электронных приборов. Разработку тракта усиления мощности заканчивают, когда требуемая мощность на входе очередного каскада может быть обеспечена интегральными схемами модуляторов и синтезаторов частот, относящимися к маломощной части передатчика или к его возбuditелю. Эта мощность составляет величину порядка единиц милливатт. При предварительной разработке каскадов усиления мощности и всего тракта усиления в целом, всегда целесообразно стремиться к минимизации числа

каскадов усиления.

С учетом выбранных электронных приборов и схемных решений отдельных каскадов составляется подробная структурная схема тракта усиления мощности передатчика. На этой структурной схеме целесообразно указать величины всех необходимых питающих напряжений, а также величины полезных мощностей каждой структурной единицы (включая, как каскады усиления, так и пассивные цепи). Применительно к каждому каскаду усиления указывается тип выбранного усилительного прибора (транзистора, лампы) и их количество. Целесообразно указывать также и выбранные режимы работы каждого каскада. Такая структурная схема, пример которой приведен на рис. 2, часто называется энергетической диаграммой или энергетическим планом тракта усиления мощности передатчика.

Следует иметь в виду, что составленная таким образом структурная схема тракта усиления мощности является предварительной, так как еще отсутствуют детальные расчеты каждого каскада. В процессе дальнейшего расчета иногда возникает необходимость корректировки начальной структурной схемы. При составлении структурной схемы и при выполнении некоторых расчетов приходится предварительно задаваться значениями ряда величин: возможными значениями коэффициента усиления различных каскадов усиления, коэффициентом полезного действия фильтрующих цепей и схем сложения мощностей модулей. В производственных условиях эти сведения известны из предыдущих разработок или из опытно-конструкторских проработок проектируемого передатчика. При учебном проектировании эти сведения следует брать из литературы. Источник, откуда взято то или иное значение, должен быть указан в пояснительной записке.

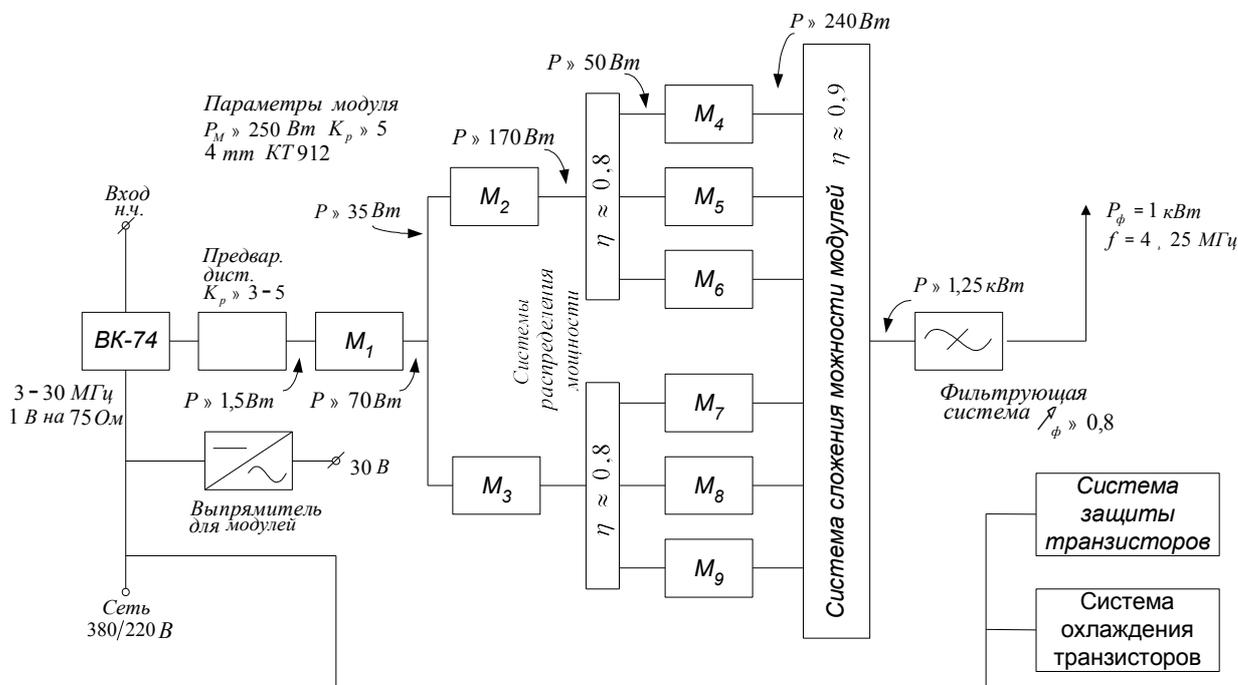


Рис. 2. Пример структурной схемы модульного тракта усиления мощности связанного радиопередатчика средней мощности.

## Электрический расчет режимов нескольких узлов разрабатываемого изделия.

Количество узлов проектируемого изделия, которые подлежат детальной разработке в рамках курсового проекта, определяются особенностями разрабатываемого изделия (например, сложностью предшествующей разработки частотного плана и структурной схемы), а также количеством недель учебного семестра. Как правило, при 14-недельных семестрах разработке подлежат 2-3 узла, а при 17-недельных 3-4 узла. Какие конкретно узлы подлежат детальной разработке и их количество, определяет ведущий занятия преподаватель при утверждении разработанной студентом структурной схемы разрабатываемого передатчика. Производить какие-либо расчеты узлов до утверждения структурной схемы не допускается! При разработке оконечного каскада усиления мощности (который практически всегда включается в перечень узлов, подлежащих разработке) также подразумевается разработка выходной фильтрующей системы передатчика и необходимых цепей согласования.

Расчеты режимов работы требуемых узлов разрабатываемого передатчика осуществляются на основе методик, изложенных в учебной литературе по проектированию радиопередатчиков [1,2,3]. Также следует руководствоваться всеми дополнительными указаниями преподавателя и конспектом лекций. Производится расчет токов, напряжений, рассеиваемых мощностей для всех электродов электронных приборов, коэффициента полезного действия, необходимого сопротивления нагрузки и других величин, характеризующих рабочий режим каскада. В каскадах с амплитудной модуляцией (а также, по мере необходимости, и в каскадах усиления сложных сигналов с непостоянной огибающей) могут подлежать расчету режимы максимальной мощности, средней точки, минимальной мощности, режимы непрерывной 100-процентной и средней модуляции.

Все исходные данные к расчетам берутся из предварительной разработки структурной схемы передатчика, где для каждого узла определялись значения полезной мощности, напряжения питания, угол отсечки и степень напряженности режима и т. п. Справочные параметры выбранных усилительных приборов берутся из справочников и Datasheet, а при возможности, определяются по их статическим характеристикам. В пояснительной записке требуется подробное описание всех исходных данных к каждому расчету.

При расчетах режимов работы усилительных каскадов часто необходимо определить некоторые эквивалентные расчетные параметры усилительных приборов под заданный режим. Это можно сделать графо-аналитическим методом (см. учебники [1,2]) по реальным статическим характеристикам прибора. Только если таковые характеристики отсутствуют в справочниках и Datasheet на применяемый усилительный прибор, можно использовать в расчетах усредненные справочные параметры.

В процессе выполнения расчетов вычисляются значения коэффициентов усиления усилителей, КПД фильтрующих систем и др. Эти

числа должны быть сопоставлены с принятыми за исходные при разработке структурной схемы тракта усиления мощности. При существенных расхождениях вносятся коррективы.

Полученные результаты расчетов должны быть сопоставлены с предельно-допустимыми значениями параметров усилительных приборов.

Перед расчетом промежуточных каскадов усиления мощности (если это требуется в индивидуальном задании) следует уточнить выбор ламп или транзисторов с учетом результатов расчета других каскадов.

Электрический расчет выходных фильтрующих систем проводится в заданном диапазоне частот с определением КПД на нескольких частотах (по указанию преподавателя). Достигнутый КПД сравнивается с принятым при разработке структурной схемы. При необходимости вносятся коррективы. Также производится расчет уровня побочных излучений передатчика и сопоставление достигнутого уровня с требованиями технического задания.

### **Разработка системы охлаждения мощных электронных приборов.**

Тепловой расчет системы охлаждения мощных транзисторов также производится по методике, изложенной в учебной литературе [2]. Подбор типовых или расчет специальных радиаторов следует довести до конкретного указания формы и габаритных размеров радиатора, например, «игольчатый радиатор площадью 100x200 мм<sup>2</sup> при высоте профиля 50 мм». Необходимо также указать меры защиты транзисторов от недопустимых токов и напряжений, рассогласования нагрузки, от наводок со стороны соседних передатчиков, грозовых разрядов и электризации антенны. Разумеется, в случае применения мощных электронных ламп и пролетных клистронов, где радиатор встроен в конструкцию усилительного прибора, а в его паспорте четко прописан способ и параметры принудительного охлаждения, тепловой расчет системы системы охлаждения не проводится.

### **Расчет и выбор элементов схем разрабатываемых узлов проектируемого изделия. Составление и обоснование их принципиальных схем.**

При разработке принципиальных схем спроектированных узлов передатчика, а затем и при составлении более полной принципиальной схемы разработанной части передатчика, следует, прежде всего, руководствоваться знаниями, полученными в ходе изучения дисциплины, а также пользоваться рекомендациями из учебников, лекций и учебной литературы по проектированию передатчиков. Дополнительно полезно изучить рекомендуемые схемы включения выбранных усилительных приборов по справочникам и спецификациям (Datasheet). Также следует обратить внимание на схемотехнику соответствующих узлов аналогичных промышленных изделий, особенно выбранных передатчиков-прототипов (в случаях, когда эта информация доступна). Все принимаемые решения по выбору способов схемотехнической реализации каждого разрабатываемого узла должны быть тщательно обоснованы в тексте пояснительной записки.

После разработки принципиальной схемы каждого подробно проектируемого узла, необходимо, согласно методикам, приведенным в учебной литературе, конспекте лекций и рекомендациям преподавателя, произвести расчет номиналов элементов цепей питания, а также входных и выходных согласующих и (или) колебательных цепей. Кроме, собственно, расчета требуемых величин сопротивления  $R$  резисторов, индуктивностей  $L$  катушек и дросселей, емкостей  $C$  конденсаторов, требуется также рассчитать параметры, обеспечивающие тепловую и электрическую прочность этих элементов. Для резисторов к таковым относится рассеиваемая тепловая мощность, для конденсаторов — рабочее напряжение и реактивная мощность, для катушек индуктивности и дросселей — номинальный ток в обмотке.

После расчета требуемых величин всех  $R$ ,  $L$ ,  $C$  элементов, требуется провести обоснование выбора типа стандартных деталей, откорректировать значения всех номиналов по Нормальям с учетом целесообразного допуска, а также рассчитанных ранее величин рассеиваемой мощности, приложенных напряжений, токов и т. д. При выборе целесообразной Нормали стандартных значений  $R$ ,  $L$  и  $C$ , следует, в первую очередь, ориентироваться на требуемую степень точности номинала реального элемента, по сравнению с расчетной. Так, например, при выборе блокировочных и разделительных элементов степень допуска точности может составлять  $10 \div 20\%$ . Такие элементы чаще всего выпускаются в соответствии с Нормалью Е-24, за исключением элементов, предназначенных для высоких рабочих напряжений а также выдерживающих значительную активную и реактивную мощности (такие элементы могут выпускаться в соответствии с Нормальями Е-12, Е-6 и Е-3). В случаях, когда требуется повышенная точность элементов и их максимальное соответствие рассчитанным значениям (например, при выборе элементов фильтров), следует выбирать элементы со степенью допуска 5%, а в отдельных случаях 1%. Такие элементы могут выпускаться, как в соответствии с Нормалью Е-24, так и (особенно сверхминиатюрные элементы) с Нормальями Е-48 и Е-96.

Поскольку отечественная и зарубежная промышленность выпускает много различных типов радиодеталей, особенно конденсаторов, необходимо выбрать и обосновать один конкретный тип детали из ряда пригодных для каждого конкретного применения.

### Требования к оформлению курсового проекта

В этом разделе приводятся общие требования к оформлению расчетно-пояснительной записки курсового проекта и прилагаемого к ней графического материала (чертежей). Содержание расчетно-пояснительной записки должно включать в себя все обязательные пункты, которые перечислены в разделе «Содержание курсового проекта» этих организационно-методических указаний. Требования к содержанию графической части проекта приводятся в конце этого раздела.

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана разборчиво и

грамотно на листах писчей бумаги формата А4. Она должна быть прочно сброшюрована, снабжена обложкой, титульным листом, оглавлением, списком литературы. Страницы обязательно нумеруются. На последней странице расчетно-пояснительной записки должна быть подпись студента-автора проекта и дата сдачи курсового проекта на проверку. Рекомендуется объем расчетно-пояснительной записки не более 30-40 страниц машинописного текста.

Титульный лист должен содержать полное название вуза и министерства, которому он принадлежит, название кафедры, на которой выполняется проект, название темы проекта, фамилию и инициалы студента-исполнителя проекта, номер (индекс) учебной группы, фамилию и инициалы преподавателя - руководителя проекта, год выполнения. Титульным листом может служить обложка из чертежной или подобной плотной бумаги.

Список использованной при проектировании литературы должен содержать фамилию и инициалы автора (или авторов), полное название книги, наименование издательства, год издания и число страниц в книге. Для журнальных статей указывается фамилия и инициалы автора, название статьи, название журнала, год выхода журнала, его номер и номера страниц, на которых напечатана статья. Для Интернет-источников указывается название и авторы документа, название web-ресурса, гиперссылка на документ и дата обращения к нему.

Изложение содержания проекта должно быть логичным, последовательным и достаточно полным. Каждое впервые употребляемое в проекте понятие и условное обозначение должны сопровождаться четким кратким определением.

Рекомендуется текст записки разбивать на логически законченные разделы — параграфы. Структура записки определяется перечнем обязательных пунктов проекта, приведенных выше в разделе «Содержание курсового проекта». Название параграфа должно быть выделено. Рекомендуется каждый параграф начинать с нового листа.

В начале каждого расчета обязательно должна быть указана литература, откуда заимствована методика расчета. Если расчетные выражения выведены самим студентом, то приводится подробный вывод. Полезно каждый расчет иллюстрировать простейшей схемой, поясняющей, что рассчитывается. Должны быть обязательно указаны источники, откуда взяты те или иные конкретные числовые данные, сведения и т.п., использованные в курсовом проекте.

В оглавлении перечисляются все разделы расчетно-пояснительной записки и указываются номера страниц, на которых начинаются разделы.

В проекте не должно быть сокращений слов, кроме общепринятых. Обозначения на вспомогательных чертежах и схемах в тексте пояснительной записки, обозначения при вычислениях и на полной принципиальной схеме должны быть одинаковыми.

Все принимаемые в проекте решения относительно выбора архитектуры радиотракта, способов получения требуемых видов модуляции,

способов стабилизации частоты, синтеза частот, применения тех или иных усилительных приборов, схем и режимов работы каскадов усиления и т. д. и т. п., должны быть тщательно обоснованы и являться результатами критического сравнения различных вариантов достижения одной и той же конкретной цели.

При сопоставлении разных типов электронных приборов и в других случаях сравнения нескольких возможных решений полезно пользоваться таблицами сравнения, как это было рекомендовано выше.

В текстовую часть расчетно-пояснительной записки следует включить схемы отдельных рассчитываемых каскадов, статические характеристики электронных приборов и другие материалы, используемые при расчетах.

Записи вычислений рекомендуется производить в следующей последовательности: номер пункта расчета, его содержание, формула, подстановка цифр в основных единицах (ампер, вольт, ом, фарад, генри), результат.

Пример: Пункт 12. Эквивалентное сопротивление анодной нагрузки схемы с общей сеткой

$$R_{\text{э}} = \frac{U_{\text{а}} + U_{\text{с}}}{I_{\text{а1}}} = \frac{2500 + 125}{110 \cdot 10^{-3}} = 23,8 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Поскольку все расчеты выполняются по формулам, основанным на приближенной теории, расчеты следует вести с точностью до 2-3 значащих цифр, т.е. в приведенном выше примере правильнее будет записать  $R_{\text{э}}$  » 24000 Ом. Подмена подробного описания проводимых расчетов распечаткой результатов работы математических программных пакетов не допускается! Результаты расчетов не должны восприниматься формально. Каждое число должно иметь физический смысл и быть технически реальным. Например, расчет каскада усиления мощности на транзисторе дал результат  $K_{\text{р}} < 2$ ; рассчитана емкость анодного контура  $C_{\text{к}} = 0,1 \text{ пФ}$  при выходной емкости лампы  $C_{\text{вых}}$  » 20 пФ. К подобным результатам следует относиться критически.

В пояснительной записке к проекту не должно быть общих слов и прямых заимствований из учебников, учебных пособий и иной литературы!

Заключение и выводы по проекту – обсуждение полученных результатов проектирования. Выводы по проделанной работе являются заключительным этапом работы над КП. Выводы по работе – это обсуждение того, ценой каких структурных, схмотехнических и конструктивных решений достигнуто выполнение требований каждого пункта сформированного ранее ТЗ. Здесь же обязательно должны быть приведены количественные оценки того, насколько это требование ТЗ выполнено.

Выводы не должны подменяться простым перечислением того, что сделано в проекте или того, как производилась работа над КП.

Графическая часть проекта обычно состоит из следующих материалов:

1. Чертежа структурной схемы маломощных каскадов передатчика (либо

возбудителя передатчика, если он выполняется в виде отдельного блока). На этом чертеже необходимо также выполнить все обозначения в соответствии с разработанным и утвержденным преподавателем частотным планом (см. выше в соответствующем разделе).

2. Чертежа структурной схемы тракта усиления мощности передатчика. На этом чертеже необходимо также выполнить все обозначения в соответствии с разработанной и утвержденной преподавателем энергетической диаграммой (см. выше в соответствующем разделе).

3. Чертежа полной принципиальной электрической схемы радиочастотной части передатчика, включая детально проработанные (согласно заданию преподавателя) каскады.

4. Перечней элементов (спецификации) всех элементов (радиодеталей) рассчитанных ступеней.

Структурные схемы маломощной части передатчика и тракта усиления мощности вычерчиваются на чертежной бумаге в карандаше, либо выполняется в одной из доступных чертежных программ на ЭВМ. Рекомендуемый формат А3 или А4, в зависимости от количества изображаемых на схеме узлов. Каждый узел проектируемого изделия изображается на структурной схеме в виде прямоугольника (согласно ЕСКД). Указывается назначение каждого узла, применяемая элементная база (электронные приборы), мощность каскада, рабочие частоты, ожидаемый коэффициент усиления. Для всех узлов, содержащих усилительные приборы (микросхемы, транзисторы, лампы и т. п.), обязательно указываются (соответствующими стрелками и подписями) величины питающих напряжений. Для всех вторичных источников питания (выпрямителей), приводимых на структурных схемах, также обозначаются отдаваемые ими напряжения.

Принципиальная схема вычерчивается на чертежной бумаге в карандаше, либо выполняется в одной из доступных чертежных программ на ЭВМ. Рекомендуемый формат А2 или А3, в зависимости от количества изображаемых на схеме элементов. Если в проектируемом передатчике используется несколько одинаковых функциональных узлов, допускается изображать полностью принципиальную схему только одного такого узла. Остальные при этом обозначаются условно — прямоугольником. Таким же образом, по согласованию с преподавателем, могут обозначаться и те узлы, которые не прорабатывались в конкретном проекте детально.

Все условные обозначения на схемах выполняются обязательно в строгом соответствии с требованиями ЕСКД!

К принципиальной схеме прилагается перечень элементов (спецификация) всех деталей рассчитанных каскадов передатчика.

В спецификации указывается:

для транзисторов и ламп - тип, количество;

для измерительных приборов - система, тип, класс точности, номинал;

для конденсаторов - тип, емкость, номинальное напряжение, реактивная мощность, допуск на отклонение емкости от номинала;

для катушек индуктивности - тип, индуктивность, номинальный ток, допуск на отклонение индуктивности от номинала;  
для резисторов – тип, сопротивление, номинальная рассеиваемая мощность, допуск на отклонение сопротивления от номинала.  
Правила записи сведений о радиодеталях в спецификации указаны в ЕСКД и Нормалях на сами радиодетали.

### Порядок защиты курсового проекта

Курсовой проект должен быть полностью закончен и сдан преподавателю на проверку не позднее той учебной недели семестра, которая указана в графике учебного процесса, как срок окончания проектирования (также см. выше раздел «Порядок и сроки выполнения курсового проекта»). Время, оставшееся до дня защиты проекта перед кафедральной комиссией, используется на устранение выявленных при проверке недоработок и ошибок, а также на подготовку к защите. Законченным считается курсовой проект, содержащий проработанные по существу все пункты, предусмотренные в разделе «Содержание курсового проекта» (см. выше), оформленный в соответствии с вышеизложенными требованиями и подписанный студентом-исполнителем проекта.

Проект возвращается студенту после проверки с письменными замечаниями преподавателя и указанием о допуске к защите, если проект выполнен в соответствии с заданием, действующими нормами и стандартами, если принятые в проекте решения работоспособны и целесообразны, а расчеты верны, и если выявленные при проверке незначительные неточности и недоработки легко могут быть исправлены при подготовке к защите.

Если в проекте применены устаревшие технически или нецелесообразные экономически решения, если при проверке выявлены существенные ошибки, делающие предложенные в проекте решения неработоспособными или приводящие к неверным конечным результатам, а также выявлена несамостоятельность в работе над проектом, студент к защите не допускается, и ему предлагается доработать или полностью переработать проект.

Характер и количество выявленных при проверке недостатков, качество оформления проекта учитываются при окончательной оценке во время защиты. Защита представляет собой заключительный этап работы студента над проектом, является формой отчета студента о проделанной работе. Часто защита курсового проекта является завершающим этапом изучения дисциплины в целом.

Защита производится в специальной комиссии, выделяемой кафедрой, в составе не менее двух человек, одним из которых является преподаватель-руководитель проектирования защищаемого студента. К защите предъявляется законченный и оформленный проект с замечаниями преподавателя и с исправлениями, если в этом возникла необходимость. На проекте должна быть виза руководителя о допуске к защите. Запись на

защиту производится заблаговременно, обычно за 3-5 дней до защиты.

Защита состоит из краткого (5-10 мин) доклада студента о поставленной перед ним задаче, основных принципиальных, схемотехнических, расчетных и конструктивных решениях, применением которых было достигнуто выполнение ранее сформулированных технических требований к передатчику. Затем студент отвечает на вопросы комиссии, относящиеся, как правило, к проектируемому передатчику, принципам работы отдельных узлов и передатчика в целом, методам расчета, особенностям конструкции и эксплуатации.

После начала экзаменационной сессии защита курсовых проектов допускается как исключение и строго по персональному разрешению деканата на определенный день.

### Контрольные вопросы к защите курсового проекта

1. Назначение разработанного в КП передатчика, его место в системе связи или вещания, условия эксплуатации (квалификация персонала, частота перестройки с волны на волну и смена антенн), климатические условия.
2. Какой или какие передатчики послужили прототипом для проектируемого и почему. Какие технические решения, принятые в прототипе, следует использовать, а какие - нет и почему.
3. Каковы основные технические требования к проектируемому передатчику, определяющие выбор принципов, методов, режимных и схемных решений, использованных в КП.
4. Ценой каких структурных, схемотехнических и конструктивных решений достигнуто выполнение требований каждого пункта сформированного ТЗ.
5. Чем обусловлено использование в проекте сочетание транзисторов, радиоламп, электронных приборов СВЧ или чего-то одного.
6. Каким образом и почему выбрана та или иная архитектура радиочастотного траката передатчика. В чем преимущество выбранного варианта перед альтернативными?
7. Каким образом обеспечено выполнение Норм электромагнитной совместимости (ЭМС): допустимой нестабильности частоты, подавления нерабочих составляющих спектра (побочных и внеполосных (внеканальных)).
8. Каким образом осуществляется формирование всех необходимых видов модуляции в проектируемом передатчике.
9. Какими способами и почему осуществляется синтез всех рабочих и вспомогательных частот в проектируемом передатчике.
10. Каким образом обеспечен достаточно высокий коэффициент полезного действия передатчика в целом, отдельных каскадов. Как предполагается обеспечить охлаждение транзисторов, ламп, отдельных деталей (например, контурных катушек и конденсаторов, балластных резисторов).
11. Почему в тех или иных каскадах усиления мощности применено резонансное или широкополосное построение, однотактное или двухтактное.
12. Как выбраны численные значения питающих напряжений. В чем состоит

оптимизация выбора питающих напряжений для всей совокупности каскадов.

13. Почему в выходной фильтрующей системе использованы плавно перестраиваемые контура или, наоборот, применены неперестраиваемые фильтры.

14. Для чего в рассчитанных каскадах применены те или иные определенные численные значения углов отсечки токов выходных электродов, что и в какую сторону изменится, если применить несколько большие или меньшие значения углов отсечки. Из каких соображений выбрана напряженность режима рассчитанных каскадов.

15. Назначение и подход к выбору индуктивности, емкости, сопротивления, допустимых токов, напряжений, мощностей основных деталей рассчитанных каскадов.

16. Показать прохождение составляющих токов, точки приложения переменных (радио- и звуковой частоты) и постоянных напряжений.

### **Рекомендуемая литература по тематике курсового проектирования**

Приводимая в этом разделе литература сгруппирована по следующим критериям:

- а) Общая учебная и справочная литература, необходимая студентам, независимо от тематики курсового проекта;
- б) Литература, рекомендуемая по вопросам проектирования передатчиков для радиовещания и телевизионного вещания;
- в) Литература, рекомендуемая по вопросам проектирования передающего тракта средств мобильной связи и радиодоступа.

По другой тематике следует пользоваться литературой, рекомендованной ведущим занятия преподавателем.

По мере надобности, ведущим занятия преподавателем может рекомендоваться дополнительная литература, как всем студентам группы, так и в индивидуальном порядке.

При выходе в свет более новой учебной и другой полезной при проектировании литературы, эта информация будет доводиться до студентов во время занятий.

#### **ОБЩАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

1. Радиопередающие устройства. Учебник для вузов. В.В. Шахгильдян, В.Б. Козырев и др. Под ред. В.В. Шахгильдяна. - М.: Радио и связь, 2003.
2. Проектирование радиопередатчиков. Учебное пособие для вузов / В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др. Под ред. В.В. Шахгильдяна. - М.: Радио и связь, 2000.
3. М.С. Шумилин, В.Б. Козырев, В.А. Власов. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков. Уч. Пособие для техникумов. М. Радио и связь. 1987.- 320 с.
4. В.М. Петухов Полевые и высокочастотные биполярные транзисторы средней и большой мощности и их зарубежные аналоги – Справочник Т.3

- М: КубК-а 1996 г. (либо более позднее издание)
5. В.М. Петухов Биполярные транзисторы средней и большой мощности сверхвысококачественные и их зарубежные аналоги – Справочник Т.4 – М: КубК-а 1996 г. (либо более позднее издание)
  6. М.С. Шумилин, Р.Ю. Иванюшкин, В.М. Розов, И.В. Резвая Современные генераторные лампы – учебно-справочное пособие – М: МТУСИ 2002 г.
  7. Конденсаторы: справочник под ред. И.И. Четверткова и М.Н. Дьяконова. М: "Радио и связь" 1993 г.
  8. Резисторы: справочник под ред. И.И. Четверткова. М: "Радио и связь" 1991 г.
  9. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справ. пособие / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов, Т.П. Новикова. – М.: Радио и связь, -1984.
  10. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. –М.: Издательство стандартов, 1989.
  11. Дэвис Дж., Карр Дж. Карманный справочник радиоинженера/ Пер. с англ. –М.: Издательский дом "Додэка XXI", 2002.
  12. Нормы (17). Радиопередатчики всех категорий и назначений. Требования на допустимые отклонения частоты.
  13. Нормы (18) на побочные излучения радиопередающих устройств гражданского назначения.
  14. Нормы (19) на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского применения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО у ведущего занятия преподавателя можно получить список нормативных документов, применительно к выданному студенту заданию на проект. Также, наиболее актуальные нормативные документы публикуются на официальном сайте Минкомсвязи РФ: <http://minsvyaz.ru/ru/>.

ТАКЖЕ, по согласованию с ведущим занятия преподавателем, целесообразно использовать в проекте современную элементную базу ведущих зарубежных производителей. Для поиска справочных листов (Datasheet) следует обращаться на официальные сайты компаний производителей. Ведущими производителями мощных РЧ-транзисторов являются компании NXP Semiconductors <http://www.nxp.com/> и Freescale <http://www.freescale.com/>. Для поиска современных интегральных схем (для модуляции, синтеза частот и т. п.), следует обращаться на официальные сайты компаний Analog Devices <http://www.analog.com>, NXP Semiconductors <http://www.nxp.com/>, Texas Instruments <http://www.ti.com/> и др. Катушки индуктивности можно подобрать на сайте компании Coilcraft <http://www.coilcraft.com/>, а конденсаторы на сайтах компаний КЕМЕТ <http://www.kemet.com/> и Vishey <http://www.vishey.com/> (эта компания выпускает также и резисторы).

#### ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕМАТИКЕ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

15. Б. А. Локшин. “Цифровое вещание: от студии к телезрителю”: - М.: Компания “Сайрус Системс”, 2001
16. С.Г. Рихтер С. Г. Цифровое радиовещание. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008.
17. Ильина Н.Н. Радиовещательные передающие устройства М: "Радио и связь" 1980 г.
18. Иванов В.К. Оборудование радиотелевизионных передающих станций - учебное пособие М: "Радио и связь" 1989 г.
19. Шумилин М.С. Проектирование радиопередающих устройств М: "Радио и связь" 1980 г.
20. Алябьев С.И., Выходец А.В., Гермер Р. и др. Радиовещание и электроакустика Учебник для вузов; Под редакцией Ковалгина Ю.А.; М. Радио и связь, 1998.

#### ЛИТЕРАТУРА ПО ТЕМАТИКЕ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

21. Дингес С.И. Схемотехника РЧ блоков систем связи с подвижными объектами: Учебное пособие. -М., МТУСИ. 2005.
22. Дингес С.И. Радиопередающие устройства ССПО. Учебное пособие. Учебное пособие. -М., МТУСИ. 2003.
23. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. /Под ред. В.И. Журавлева. –М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
24. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Горячая линия -Телеком. 2007. 432 с. ISBN: 5935172526.
25. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. Пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 2002. -440 с.
26. Кааранен Х., Ахтиайнен А., Лаитинен Л., Найян С., Ниemi В. Сети UMTS. –М.: «Техносфера», 2007. 464 с. ISBN 978-5-94836-116-1.
27. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. Издание 2. – М.: Техносфера. 2006 г.288 с. ISBN: 5948360709.
28. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи. –М.: Эко-Трендз. 2007. ISBN: 978-5-88405-087-7.