

Сергей Дингес

- Радиопередающие
устройства
систем мобильной
связи

Рекомендации к выполнению
проекта по курсу

v.11.14

1	Общие требования
2	Задание на КП
3	Рекомендации к выполнению
4	Литература

© Сергей Дингес
© rfdesign.ru «РадиоДизайн = RFDesign»

Оглавление

Сергей Дингес	1
1. Общие требования к выполнению и оформлению курсового проекта	3
Общие требования к оформлению пояснительной записки	3
2. Задание на курсовое проектирование	5
Нормативные документы для курсового проектирования	6
3. Рекомендации к выполнению курсового проекта	8
Литература	14

1. Общие требования к выполнению и оформлению курсового проекта

1.1 Курсовой проект должен быть выполнен и защищен до начала экзаменационной сессии. Студент, не защитивший курсовой проект, не допускается к экзамену по данной дисциплине.

1.2 Методическими указаниями (МУ) предусмотрены различные варианты для проектирования передатчика базовой или абонентской станции аналоговой или цифровой системы мобильной радиосвязи. Исходные данные определяются номером варианта по последней цифре номера студенческого билета (таблица 2.1) и подвариантом по второй букве фамилии студента (таблица 2.2). С целью получить наибольшую пользу при профессиональной подготовке в ходе выполнения курсового проекта, студенту предоставляется право выполнять проект по **индивидуальному заданию при обязательном предварительном согласовании** такого выбора с преподавателем. Утвержденное преподавателем индивидуальное задание прилагается к проекту, предоставляемому для рецензирования.

Общие требования к оформлению пояснительной записки

- Записка должна обязательно содержать **обоснование выбора** всех структурных или схемотехнических решений со ссылками на используемые при этом источники. Необходимо обосновать использование выбираемого частотного плана, усилительных приборов, схем их включения и режимов работы.
- Обязательно следует приводить **пояснения** к используемым формулам, объяснение физического смысла параметров и физических величин. В пояснительной записке должны быть приведены **все значения** подставляемых в формулы **величин**, необходимые для проверки преподавателем правильности выполнения КП.
- Пояснительная записка должна содержать пояснения, необходимые для ясного понимания выполняемой работы. Не следует приводить значительные фрагменты общеизвестных сведений и переписывать теоретический материал из книг. Каждый пункт КП должен содержать **выводы**, содержащие **анализ проделанной в нем работы**

и полученных результатов. Последний раздел работы должен **содержать выводы по работе.** Не следует подменять выводы простым перечислением проделанной работы.

- В пояснительную записку **необходимо включить техническое задание** и структурную схему, желательно заверенные подписями преподавателя. Необходимо привести **принципиальные электрические схемы** всех рассчитанных узлов и соответствующие перечни элементов (**спецификации**).
- В записке необходимо приводить **ссылки на используемую литературу**, в том числе справочники и интернет-источники, помещая номер источника в квадратные скобки. Все формулы, рисунки и таблицы в КП должны иметь сквозную нумерацию. На все рисунки в тексте КП должны быть приведены ссылки. Листы пояснительной записки должны быть **пронумерованы и сброшюрованы.**

Курсовой проект выполняется на листах формата А4, шрифт Times New Roman 12, через один интервал. Текст должен быть напечатан или разборчиво без сокращений написан на одной стороне каждого листа; вторая сторона оставляется для замечаний рецензента и исправлений после рецензирования. Чертежи должны выполняться на листах белой бумаги или миллиметровки в стандартных форматах с соблюдением условных обозначений и требований по оформлению чертежей [14-16].

- Курсовые проекты, не отвечающие данным требованиям, на проверку не принимаются.
- Курсовые проекты, содержащие идентичные текстовые и расчетные фрагменты, рассматриваются как выполненные не самостоятельно и будут **возвращаться со сменой задания** на курсовое проектирование.

2. Задание на курсовое проектирование

Радиооборудование подвижной (мобильной) службы, в состав которого входят передатчики, делятся на базовые и абонентские (подвижные).

||| **Базовая станция** - стационарная, т.е. не предназначенная для перемещения и установленная в определенном месте.

При этом питание радиооборудования и, соответственно, передатчика может производиться непосредственно от сети переменного тока с использованием внутренних выпрямителей.

||| **Абонентская станция** (оборудование) может быть мобильной (автомобили, воздушные и водные суда), носимой и портативной.

В этом случае питание станция осуществляется от аккумуляторной батареи. В аналоговых системах подвижной связи в диапазонах ОВЧ, УВЧ используется угловая модуляция (ЧМ или ФМ). В предлагаемых студентам вариантах заданий цифровых систем, используется частотная модуляция с минимальным сдвигом GMSK и варианты квадратурной относительно-фазовой модуляции QPSK.

Заданные для расчетов параметры в учебных проектах могут не всегда соответствовать разрешенным государственными частотными органами полосам частот и выходным мощностям для радиопередатчиков данного типа. Другие технические требования к радиопередатчику студент разрабатывает самостоятельно, руководствуясь соответствующими стандартами, Приказами Министерства связи, Нормами ГКРЧ РФ, указаниями, приведенными в разделе 3, учебнике и учебных пособиях.

Нормативные документы для курсового проектирования

Стандарт TETRA (Terrestrial Trunked Radio). Нормативные документы можно скачать на сайте ETSI: <http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp>

- Стандарт на радиointерфейс: ETSI EN 300 392-2. European Standard (Telecommunications series). Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface.
- Описание сети: ETSI EN 300 392-1. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design.
- Конфигурация сети, интерфейсы: ETSI ETR 300-1 ed.1 Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers' guide; Part 1: Overview, technical description and radio aspects.

Стандарт GSM (Global System for Mobile Communication). Описание радиointерфейса:

- ETSI TS 100 910. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Transmission and Reception (3GPP TS 05.05 version 8.20.0 Release 1999)
- ETSI ETS 300 577 - Digital cellular telecommunications system (Phase 2) (GSM); Radio transmission and reception.
- 3GPP TS 45.005. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network; Radio transmission and reception.
- Архитектура сети: ETSI TS 100 522. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Network architecture (GSM 03.02. Release 1998)

Аналоговые сети подвижной радиосвязи:

- Приказ Министерства информационных технологий и связи РФ № 46 от 12.04.2007 г. "Об утверждении Правил применения абонентских радиостанций с аналоговой модуляцией сетей подвижной радиосвязи"

Приложение N 1 Требования к параметрам частотных диапазонов и дуплексных разносов частот для соединений абонентских радиостанций с базовыми станциями

Приложение N 2 Требования к параметрам отклонения частоты передатчиков от номинального значения

Приложение N 3 Требования к параметрам мощности несущей передатчиков (на эквиваленте антенны)

Приложение N 4 Требования к параметрам максимальной и средней эффективной излучаемой мощности передатчиков

Приложение N 5 Требования к параметрам девиации частоты передатчиков

Приложение N 6 Требования к параметрам уровня побочных излучений передатчиков

Приложение N 7 Требования к параметрам отклонения частоты передатчиков в переходном режиме

Приложение N 8 Требования к параметрам уровня излучений приемников

Приложение N 9 Требования к параметрам отклонения частоты передатчиков абонентской радиостанции, предназначенной для передачи данных

Приложение N 10 Требования к параметрам длительности переходных процессов при включении передатчиков

Приложение N 11 Требования к параметрам длительности переходных процессов при выключении передатчиков

Приложение N 12 Требования к параметрам устойчивости абонентских радиостанций к климатическим воздействиям

Приложение N 13 Требования к параметрам устойчивости абонентских радиостанций к механическим воздействиям

- Приказ Минкомсвязи России № 3 от 11.01.2010 г. "Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиосвязи. Часть III. Правила применения оборудования подсистем базовых станций, использующих аналоговую угловую модуляцию, сетей подвижной радиосвязи"

3. Рекомендации к выполнению курсового проекта

Пояснительная записка к КП должна обязательно содержать следующие разделы:

1. Введение - основные сведения об используемом РЧ стандарте или технологии. (Примерный объем: 3-4 стр.) [1, 2, 6-12, 18].

Любая ССПО описывается рядом нормативных документов, разрабатываемых и утверждаемых международными, национальными организациями, специализированными институтами или отдельными компаниями. Как правило, ряд нормативных документов можно найти на интернет-сайтах этих организаций. Наиболее известными организациями являются Европейский институт стандартов в связи **ETSI** (www.etsi.org) - стандарты GSM, UMTS, 3GPP LTE, TETRA, Ассоциация промышленности связи США **TIA** (www.tiaonline.org). Стандарты на системы связи третьего и четвертого поколений разрабатываются и продвигаются **UMTS Форумом** (www.umts-forum.org) и организацией **3GPP** (www.3gpp.org).

2. Разработка и обоснование технического задания. (Примерный объем: 1-2 стр.)

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, предписание по выполнению необходимых стадий создания документации и ее состав, а также специальные требования.

При выполнении курсового проекта выдаваемое задание следует дополнить с учетом пункта 2 данных методических указаний до полноценного технического задания на проектируемое изделие, выбрав самостоятельно другие характеристики передатчика. Этими характеристиками могут быть, например, относительная нестабильность частоты, уровень подавления побочных составляющих спектра РЧ сигнала, максимальная девиация частоты при ЧМ, диапазон модулирующих частот, допустимый уровень излучения в соседнем канале, допустимую амплитуду вектора ошибки EVM, коэффициент нелинейных искажений и др. При этом необходимо сопоставить заданные параметры с требованиями соответствующих стандартов СПРС, уточнить тип и стандарт СПРС, к которой может быть отнесен заданный для проектирования передатчик, и кратко охарактеризовать ее. Доработка перечня требований производится с учетом назначения передатчика, ГОСТ, международных стандартов и рекомендаций, нормативной документации Минсвязи России.

Полное и корректно составленное задание на разработку электронного устройства - залог успешного выполнения проекта. ТЗ составляется студентом в **виде таблицы**, которая должна содержать техническую характеристику или параметр, его величину, информационный источник (нормативные документы, Приказы Министерства информационных технологий и связи) для всех пунктов, включенных в ТЗ. Техническое задание должно содержать не менее 10 пунктов [1-2].

3. Выбор и обоснование структурной схемы и схемотехнических решений для проектируемого устройства (30-40 % от общего объема КП) [1-6].

Проектирование РЧ блоков приемопередатчиков ССПО целесообразно производить в несколько этапов.

- В начале проектирования целесообразно сформировать **энергетический план** (ЭП) устройства.

Энергетический план - укрупненная структура устройства с приведением основных уровней сигнала на его входах и выходах, пределов, шага и точности изменения их величин. В том случае, если для функционирования приемопередатчика необходимо измерение уровней сигналов в устройстве, целесообразно указать точность, с которой должны быть произведены эти измерения.

При дискретизации (аналого-цифровом преобразовании) измеряемых значений приводится количество уровней дискретизации и шаг дискретизации. Как правило, энергетический план может быть полностью составлен на основании требований, приведенных в соответствующих нормативных документах на ССПО.

- Следующий этап - **выбор архитектуры** РЧ блока.

Архитектура РЧ устройства определяет основные принципы преобразования сигнала в нем. Примером определенной архитектуры могут служить, например, РЧ тракт (приема или передачи) с прямым преобразованием сигнала, передатчик с петлей трансляции сигнала и т.д. В передатчиках СПРС используются методы формирования радиосигнала (архитектуры) как непосредственно на рабочей частоте, так и на промежуточной с последующим переносом на рабочую частоту. Выбор конкретного обоснованного решения остается за проектировщиком. Разновидности архитектуры трактов передачи средств мобильной радиосвязи рассмотрены в соответствующем разделе пособий [1,2]. В этом разделе осуществляется выбор и обоснование способов обеспечения требуемого вида модуляции, диапазона рабочих частот, стабильности рабочей частоты.

- Далее необходимо перейти к формированию **частотного плана** – предельно упрощенной структуры устройства, на которой обязательно показаны устройства генерирования и преобразования сигналов - смесители, генераторы, модуляторы, делители и умножители частоты. На плане приводятся номиналы генерируемых и преобразуемых частот и, при необходимости, размещаются устройства фильтрации. Если передатчик относится к определенной системе сотовой связи, то из указанного в таблице 2.1 общего диапазона частот следует взять тот поддиапазон (полосу частот), которая относится к передатчику БС (или АС) - в зависимости от подварианта. Рекомендации по выбору и расчету частотного плана могут быть найдены в [1-4].
- После составления частотного плана устройства переходят к разработке эскизного варианта **полной структурной схемы** приемопередатчика.

По сути дела, на этом этапе проектирования в рамках ранее полученного частотного плана происходит конкретизация энергетического плана устройства, т.е. определяется общее число каскадов усиления, типы и количество усилительных элементов (транзисторов, сборок, интегральных схем) во всех узлах тракта усиления мощности, выбираются питающие напряжения. На эскизе структурной схемы приводятся все каскады с указанием предполагаемых коэффициентов усиления (передачи), уровней сигналов, способов включения транзисторов (ОИ, ОК, ОБ) и выделением при необходимости отдельных элементов схемы (транзисторов, диодов, ИС). Для тракта усиления передатчика должны быть определены количество каскадов, коэффициенты усиления каждого каскада, величины мощности радиосигнала в каждой точке тракта. Для делителей частоты синтезаторов частот необходимо найти значения коэффициентов деления, требующиеся при настройке на конкретные рабочие каналы, определить необходимую крутизну перестройки ГУН. На данном этапе проектирования целесообразно произвести максимально возможную детализацию устройства с учетом предполагаемых вариантов схемотехнической реализации

и конкретных наборов ИС и, таким образом, перейти к его функциональной схеме. Итогом данного этапа проектирования должна являться **полная структурная схема** проектируемого устройства с указанием значений всех промежуточных и формируемых частот, шагов их изменения; приведением всех коэффициентов деления и умножения узлов, т.е. приведением **полного частотного и энергетического плана**.

4. Схемотехнический расчет 3-4 (по заданию преподавателя) функциональных узлов проектируемого устройства (30-40 % от общего объема КП).

На данном этапе происходит выбор схемотехнической реализации отдельных узлов проектируемого блока, их электрический расчет, компьютерное моделирование.

Полному расчету подлежат: **оконечный каскад, предоконечный каскад, выходная цепь предоконечного каскада, межкаскадная и выходная (фильтрующая) колебательные цепи связи.**

Необходимо разработать принципиальную электрическую схему одного из используемых схем применяемых РЧ генераторов: ГУН, частотный модулятор при ЧМ, опорный генератор.

Должен быть произведен структурный расчет используемого синтезатора частот: произведен выбор структуры СЧ, расчет диапазонов значений коэффициентов деления ДПКД для заданного варианта проекта, выбор подходящей интегральной схемы.

При расчете **усилителя мощности** необходимо обратить внимание на следующее. В передатчиках с аналоговой ЧМ при усилении сигналов с постоянной огибающей целесообразно использовать энергетически эффективные нелинейные режимы работы с достаточно высоким КПД. При формировании цифровых сигналов с $\pi/4$ DQPSK огибающая сигнала оказывается непостоянной и для усиления такого сигнала требуется высокой линейный усилитель мощности, что предопределяет выбор недонапряженных режимов работы транзисторов, недоиспользование их по мощности, а также, возможно, применение схемотехнических методов уменьшения нелинейных искажений.

Принципиальная схема передатчика должна включать в себя электрические схемы усилительного тракта передатчика, ГУН, а при ЧМ – генератора вместе с частотным модулятором, кварцевого опорного генератора в синтезаторе частот СЧ. Остальные элементы СЧ показываются как функциональные, но связанные с ГУН. На принципиальных схемах передатчиков с формирователями цифровых сигналов на ИС необходимо показать функциональные схемы формирования радиосигналов [2, гл.3; 13, раздел 9.1; 14, раздел 2.4.4 5], более подробно указав непосредственно узлы модуляции, например, квадратурные или полярные модуляторы.

Рекомендации по составлению электрических цепей, транзисторных каскадов передатчика имеются в [4, главы 3,11; 5, гл.2].

Прежде чем выбирать схемы цепей связи, необходимо изучить требования, которым они должны удовлетворять [1, с.199-200], обратив внимание и на то, что от типа выбираемых межкаскадных цепей связи зависит форма токов и напряжений в транзисторах.

В сотовых ССПО выходные РЧ мощности передатчиков БС и АС регулируются. Методы регулировки различны [4, с.648-649; 2, с.6]. Не прорабатывая детально, следует предусмотреть использование того или иного способа.

Методики расчета транзисторных усилителей мощности и цепей связи изложены в [4, гл. 2, гл. 3, гл. 11; 5, глава. 3].

Рекомендации по расчету автогенераторов и частотных модуляторов приведены в [4, с.361-368, 557-565; 5, главы 8,9].

Примеры структурных схем транзисторных передатчиков имеются в [1; 2; 4, глава 11; 8, разделы 8.5, 8.7].

Справочные данные и параметры эквивалентных схем транзисторов приведены в [4, табл. 1.1 (биполярные транзисторы); табл. 1.2 (полевые МДП – транзисторы, 1.3 (полевые СВЧ транзисторы с барьером Шоттки); 20-22]. При выборе типа транзистора нужно иметь в виду следующее. На относительно низких для транзистора частотах коэффициент усиления мощности каскада K_p может быть очень высоким. Для обеспечения устойчивости каскадов при расчете усиления на каскад целесообразно полагать в этом случае $K_p = 25...50$ (считая, что излишек K_p можно скомпенсировать соответствующим снижением КПД межкаскадной цепи).

С ростом частоты K_p убывает. Особенно резко это проявляется у биполярных транзисторов. На частотах $f > 3fT/h_{21}$, снижение K_p происходит **примерно** со скоростью 6 дБ на октаву, (т.е. при каждом увеличении частоты вдвое K_p уменьшается примерно в четыре раза). Вследствие этого K_p на частотах, близких к f_T , составляет всего лишь несколько единиц. Для того чтобы правильно оценить реальный K_p каскада, можно воспользоваться известными для мощных СВЧ транзисторов экспериментальными данными, приводимыми в справочниках. Так, **если известно**, что на некоторой частоте измерений $f_{изм}$ (причем $f_{изм} > 3fT/h_{21}$), коэффициент $K_p = K_{pизм}$, то на другой частоте (также большей $3fT/h_{21}$) коэффициент усиления $K_p \approx K_{pизм}(f_{изм}/f)^2$.

Для полевых транзисторов, в первом приближении можно руководствоваться справочными величинами их K_p .

Мощные СВЧ биполярные транзисторы обычно имеют ограничения по минимальной рабочей частоте. Использовать их на более низких частотах не разрешается по соображениям надежности.

При выборе типа транзистора нужно обращать внимание также на его конструкцию: с корпусом прибора может быть электрически соединен один из электродов, это определяет схему включения транзистора в усилительный каскад. Так, если с корпусом соединен вывод эмиттера (базы, истока), то транзистор можно включать только по схеме с общим эмиттером (с общей базой, истоком).

Передатчики СПРС работают в относительно узкой полосе частот и фирмы-изготовители полупроводниковых приборов стали выпускать большую номенклатуру транзисторов, предназначенных для работы в БС и АС именно в узких полосах частот, соответствующих стандартам сотовых СПРС. При этом транзисторы имеют более высокие коэффициенты усиления (что особенно важно в диапазонах УВЧ, СВЧ), внутренние согласующие цепи на входе и выходе, позволяющие обеспечить стандартные входное и выходное сопротивления (50 Ом), что упрощает построение выходных и межкаскадных цепей связи. Для возимых, носимых и портативных АС выпускаются низковольтные транзисторы с напряжением питания коллектора (стока) 3,5... 12 В.

При расчете все получаемые величины должны быть приведены к стандартным основным единицам (Ом, кОм, Мом, пФ, нФ, мкФ).

В результате выполнения данного этапа проектирования должны быть получены:

- **Полная принципиальная** (функциональная) схема устройства с указанием всех позиционных обозначений элементов при их сквозной нумерации (R1, R2, ..., R34). Номиналы всех компонентов обязательно должны быть приведены к стандартному ряду (нормалям) [4, с.312; 5, глава 10].

- **Перечень элементов** (спецификация) – данные об элементах и устройствах, приведенных на схеме разработанного устройства [15, с.187; 16, с.61; ГОСТ 2.702-75 ЕСКД]. При этом связь перечня с условными графическими обозначениями элементов на схеме должна осуществляться через позиционные обозначения.

5. Заключение и выводы по работе – обсуждение полученных результатов проектирования. Написание выводов по работе является 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 работе или того, как производилась работа над КП.

6. Библиографический список использованной литературы - упорядоченный список литературы, в котором библиографические записи систематизированы по одному какому-либо признаку (алфавитному, хронологическому, тематическому и т.п.). Список должен содержать перечисление всех информационных источников, использованных при проектировании, и помещается в конце работы перед приложениями.

При оформлении библиографического списка к работе необходимо соблюдать общие требования и правила составления библиографической записи документов, установленные стандартами, например:

- Межгосударственный стандарт **ГОСТ 7.1-2003** Библиографическая запись. Библиографическое описание.
- **ГОСТ Р 7.0.5-2008.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.
- **ГОСТ 7.82-2001.** Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов: Общие требования и правила составления.

Порядковый номер библиографической записи в ссылке указывают в отсылке, которую приводят в квадратных скобках в строку с текстом документа, в отсылке указывают порядковый номер документа и страницы, разделенные запятой, например: [10, с.101]. Ссылки в тексте на номер рисунка, таблицы, страницы, главы пишут сокращенно и без значка "№", например: рис. 3, табл. 1, с. 34, гл. 2. Если указанные слова не сопровождаются порядковым номером, то их следует писать в тексте полностью, без сокращений, например: "из рисунка видно, что...", "таблица показывает, что..." и т. д. Пример корректного оформления списка можно найти в Литературе, рекомендованной к использованию при работе над КП [1-4].

7. **Приложения к работе:** нормативные документы, спецификации (Data Sheet) на использованные электронные компоненты, описания прототипов или аналогичных разрабатываемому устройств и т.п.

Таким образом, пояснительная записка к курсовому проекту **обязательно должна содержать** следующие разработанные документы:

1. **Техническое задание** с обязательным указанием информационных источников для всех пунктов, включенных в ТЗ;
2. **Полную структурную схему** спроектированного устройства;
3. **Полную принципиальную (функциональную) схему** спроектированного устройства;
4. **Перечень элементов (Спецификация);**
5. **Выводы по работе;**
6. **Библиографический список** использованной литературы.

Литература

1. Дингес С.И. Схемотехника РЧ блоков систем связи с подвижными объектами: Учебное пособие. -М.: МТУСИ. 2005. 23 с.
2. •Дингес С.И. Радиопередающие устройства ССПО. Учебное пособие. Учебное пособие. -М.: МТУСИ. 2003.
3. Радиопередающие устройства. Учебник для вузов. В.В. Шахгильдян, В.Б. Козырев и др. Под ред. В.В. Шахгильдяна. - М.: Радио и связь, 2003.
4. 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.
5. М.С. Шумилин, В.Б. Козырев, В.А. Власов. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков. Уч. Пособие для техникумов. М. Радио и связь. 1987.- 320 с.
6. Материалы интернет-сайтов <http://www.rfdesign.ru> и <http://www.radist.su>.
7. 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.
8. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Горячая линия -Телеком. 2007. 432 с. ISBN: 5935172526.
9. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. Пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 2002. -440 с.
10. Кааранен Х., Ахтиайнен А., Лаитинен Л., Найян С., Ниemi В. Сети UMTS. –М.: «Техносфера», 2007. 464 с. ISBN 978-5-94836-116-1.
11. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. Издание 2. –М.: Техносфера. 2006 г.288 с. ISBN: 5948360709.
12. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи. –М.: Эко-Трендз. 2007. ISBN: 978-5-88405-087-7.
13. Дэвис Дж., Карр Дж. Карманный справочник радиоинженера/ Пер. с англ. -М.: Издательский дом "Додэка XXI", 2002. -544 с.
14. Справочная книга радиолюбителя-конструктора. А.А. Бокуняев, Н.М. Борисов, Р.Г. Варламов и др. Под ред. Н.И. Чистякова. -М. Радио и связь.
15. 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. - 256 с.
16. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. –М.: Издательство стандартов, 1989. -325 с.
17. ГОСТ 12252-86. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений.
18. Интернет-сайт Министерства связи и массовых коммуникаций РФ: <http://www.minkomsvjaz.ru>.
19. Титов А.А. Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. Издательство: Солон. 2006. 325 с.
20. Петухов В.М, Маломощные транзисторы и их зарубежные аналоги: Справочник.-Т.1 - М.: КубК-а, 1997,- 688 с.
21. Петухов В.М. Полевые и высокочастотные биполярные транзисторы средней и большой мощности и их зарубежные аналога: Справочник.-Т.3 -М.: КубК-а, 1997.-672 с.

22. Петухов В.М. Биполярные транзисторы средней и большой мощности сверхвысокочастотные и их зарубежные аналоги: Справочник. -Т.4 -М.: КубК-а, 1997.- 544 с.