

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторы посвящают этот труд светлой памяти коллег, стоявших у истоков преподавания дисциплины «Радиопередающие устройства» в МЭИС–МТУСИ и подготовивших целый ряд хорошо известных среди специалистов учебников по этой дисциплине, а также учебных пособий по проектированию радиопередающих устройств:

- *заведующих кафедрой радиопередающих устройств Вагана Вагановича Шахгильдяна и Бориса Петровича Терентьева;*
- *ведущих преподавателей этой кафедры и членов авторских коллективов предыдущих учебников:*

Михаила Сократовича Шумилина, Александра Алексеевича Ляховкина, Валерия Михайловича Розова, Валерия Петровича Нуянзина, Василия Алексеевича Власова, Валерия Петровича Севальнева, Андрея Андреевича Пирогова, Владимира Николаевича Аксенова, Игоря Алексеевича Попова, Льва Евгеньевича Клягина и других.

Радиопередающие устройства являются неотъемлемой частью любых систем беспроводной связи и телерадиовещания. В настоящее время это не только специальная аппаратура радиопередающих центров и узлов связи, но и неотъемлемая часть любого мобильного телефона или радиомодема. Бурный рост сетей мобильной связи и радиодоступа повлек за собой резкое увеличение числа радиопередатчиков, большая часть которых сегодня находится в руках обычных пользователей.

Предыдущее издание учебника «Радиопередающие устройства» [1.2], вышедшее в 1996 г. и переизданное в 2003 г., было подготовлено с учетом состояния развития радиопередающей техники на начало 1990-х годов. С тех пор существенно изменились как сами системы радиосвязи и телерадиовещания, так и радиопередающая техника. Прежде всего практически во всех областях радиосвязи и телерадиовещания были внедрены цифровые способы передачи информации и разработаны новые виды модуляции, а также новые способы ее формирования. Существенно видоизменились и расширились до глобального уровня сети мобильной связи, появились и активно развиваются сети широкополосного радиодоступа. Цифровое телерадиовещание полностью вытеснило аналоговое в спутниковом сегменте, а также в настоящее время завершается активное внедрение наземного (эфирного) цифрового телевидения.

В то же время претерпели значительные изменения и технологии реализации основных узлов радиопередатчиков. Разработаны современные быстро-

действующие синтезаторы частот как на основе схем фазовой автоподстройки частоты, так и на основе прямого цифрового синтеза, а также изобретены и внедряются новые схемы автогенераторов. Совершенствуются схемы формирования модулированных сигналов для современных цифровых систем передачи информации. Значительная часть функций формирования и синтеза радиокосильных колебаний возлагается уже не только на аналоговые схемы, но и на устройства цифровой обработки сигналов. Совершенствуются и усилители мощности передатчиков. Все чаще внедряются высокоэффективные ключевые усилители мощности, многообразие схем которых существенно возросло за последние годы. Немаловажную роль в развитии усилителей мощности в последнее десятилетие сыграло и появление современной элементной базы, обладающей высокими быстродействием и коэффициентами усиления. Наконец, существенно возросшие требования электромагнитной совместимости, связанные с массовым внедрением цифровых способов передачи информации в системы радиосвязи и телерадиовещания, ужесточили и требования к линейности радиопередающего тракта, что еще сильнее обострило проблему обеспечения его энергетической эффективности. В связи с этим потребовалось развитие и методов линеаризации радиопередатчиков, а также методов и схем высокоэффективного линейного усиления мощности. В конечном счете все упомянутые изменения как в технологии передачи данных и построения телекоммуникационных сетей, так и в технике отдельных узлов радиопередающего тракта явились причиной существенного изменения также самих архитектур радиопередатчиков. Подробному освещению вышеперечисленных вопросов уделяется повышенное внимание в этом учебнике по радиопередающим устройствам. По сравнению с предыдущими учебниками, его структура и методология подачи материала в значительной степени обновлены с учетом практически всех существенных изменений, произошедших в радиопередающей технике различного назначения за последние 20 лет.

Еще одним крайне важным аспектом является переход системы высшего образования в Российской Федерации на новые образовательные стандарты. В результате их внедрения не только поменялись учебные планы и наборы изучаемых дисциплин, но также подверглась глобальному пересмотру и вся номенклатура направлений и специальностей подготовки студентов. В рамках крупных направлений учебные заведения могут самостоятельно выделять широкий спектр различных профилей подготовки студентов бакалавриата, а также существенное многообразие различных магистерских программ. Быстро разработать отдельные учебники для каждого такого профиля подготовки бакалавров или магистерской программы не представляется возможным. Ввиду этого обстоятельства целесообразна подготовка единого универсального учебника, охватывающего целый ряд областей применения радиопередающих устройств (или более широко: устройств генерирования, формирования и передачи радиосигналов) применительно, в первую очередь, к телекоммуникационной отрасли, а также к смежным отраслям, для которых актуальны различные радиотехнические приложения.

Предлагаемый новый учебник по радиопередающим устройствам предназначен для студентов, обучающихся по направлениям:

11.03.01. «Радиотехника» — бакалавриат. Различные профили подготовки этого направления требуют получения студентами знаний в области радиопередающих устройств. К таким относятся профили, направленные на изучение принципов построения различных систем и устройств формирования и передачи радиосигналов, радиооборудования для радиолокации и радионавигации, различного радиотехнического оборудования для аудиовизуальных и других приложений.

11.03.02. «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» — бакалавриат. Профили подготовки студентов этого направления, реализуемые разными вузами, очень разнообразны. Изучение вопросов радиопередающей техники осуществляется в рамках профилей, направленных на освоение принципов построения различных систем беспроводной связи и телерадиовещания, включая мобильную связь, широкополосный радиодоступ, спутниковую связь и другие смежные области.

11.04.01. «Радиотехника» — магистратура. Углубленное изучение радиопередающей техники и ее отдельных вопросов осуществляется по целому ряду магистерских программ этого направления, связанным с методами и технологиями генерирования и формирования радиочастотных колебаний и сигналов для радиотехнических систем различного назначения, включая телевидение.

10.05.02. «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» — специалитет. Изучение радиопередающей техники предусматривается в рамках специализации «Защита информации в радиосвязи и телерадиовещании», а также некоторых других.

Отдельные разделы учебника также могут быть полезны для аспирантов, обучающихся по специальностям радиотехнической и телекоммуникационной направленности.

Материал учебника разработан таким образом, что, кроме ряда основополагающих вопросов радиопередающей техники, при разработке программ конкретных дисциплин есть возможность выбора достаточно широкого ряда тем и разделов, необходимых для изучения в рамках тех или иных профилей подготовки студентов и магистерских программ. Отдельные разделы в главах учебника предназначены для более углубленного изучения радиопередающей техники, прежде всего, в рамках специалитета и подготовки в магистратуре. Это касается не только целого ряда разделов первых шести глав учебника (в которых излагаются общие вопросы радиопередающей техники), но и отдельных глав, посвященных радиопередатчикам, предназначенным для конкретных радиотехнических и телекоммуникационных приложений. В связи с этим в учебнике также приводятся списки литературы для каждой главы по отдельности, но при этом для исключения дублирования, при необходимости, делаются отсылки и на литературу из других глав.

Во всех главах и их разделах для облегчения работы с учебником (прежде всего для студентов бакалавриата) на полях двойной чертой выделены основные понятия и определения, а также главные положения (знаком NB) и выводы

(волнистой линией) по изучаемому разделу. Кроме того, курсивом в тексте выделены основные понятия. При изучении основополагающих вопросов в каждом разделе даются ссылки на другие главы, где рассмотрены примеры практического применения изучаемого узла. И, наоборот, в главах, посвященных вопросам построения радиопередатчиков различного назначения, даются ссылки к разделам, где обсуждаемые узлы или методы изучаются более подробно.

Первые шесть глав учебника являются основополагающими. Они посвящены общим вопросам построения радиопередатчиков, независимо от назначения. В то же время часть разделов этих глав и их подразделов в той или иной степени выходит за рамки рабочих программ дисциплин бакалавриата, предусматривающих, как правило, изучение лишь основ специальных дисциплин. Эти разделы прежде всего выносятся на изучение в рамках специалитета (где предусмотрено существенно больше аудиторного времени), а главное, — в рамках изучения специальных дисциплин, предусмотренных соответствующими магистерскими программами. В первую очередь это касается разделов 2.15, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 3.4, 3.6 (кроме подраздела об усилителях мощности с широкополосными трансформаторами), 3.8, 3.10, 3.12, 4.3, 4.5, 4.7, 4.8, 4.10, 5.12, 5.13, 5.16, 6.3, 6.9. Некоторые из этих разделов могут быть дополнительно включены и в программы дисциплин бакалавриата, если этого требует специфика конкретного профиля подготовки студентов.

Последние главы учебника посвящены подробному изучению принципов построения радиопередатчиков для различных приложений (радиовещание, телевидение, мобильная связь, спутниковая связь и вещание). В рамках обзорных дисциплин, предусмотренных соответствующими профилями бакалавриата для изучения радиопередающих устройств, может не предусматриваться глубокое изучение целого ряда изложенных в этих главах вопросов. Они могут выноситься либо на элективные дисциплины бакалавриата (по решению вуза), либо на изучение в магистратуре. В рамках бакалавриата и специалитета эти разделы также могут частично изучаться на этапе работы студентов над курсовыми проектами. К разделам данных глав, не являющихся обязательными для изучения студентами бакалавриата, относятся следующие: 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 8.10, 8.11, 8.12, 8.13, 8.14, 9.6, 9.7.

Безусловно, отбор материала для изучения в рамках каждой конкретной учебной дисциплины также определяется и разработчиками ее рабочей программы, учитывая особенности организации учебного процесса в конкретном вузе.

Разумеется, для изучения радиопередающей техники требуются знания по целому ряду предыдущих дисциплин, касающихся основополагающих разделов физики [1.10], электротехники [1.11, 1.12, 1.14, 1.16, 1.18], электродинамики [1.19], теории передачи сигналов и общей теории связи [1.16, 1.17], схемотехники аналоговых и цифровых устройств [1.13, 1.15], антенн и распространения радиоволн [1.20], устройств электропитания [1.21], а также, безусловно, отдельных глав высшей математики [1.9].

Учебник подготовлен на основе многолетнего опыта преподавания дисциплин «Радиопередающие устройства» и «Устройства генерирования и формиро-

вания радиосигналов», а также на основе опыта издания предыдущих учебников коллективом преподавателей кафедры радиооборудования и схмотехники Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ), в состав которой в 2012 году вошла кафедра радиопередающих устройств. В состав авторского коллектива вошли кандидат технических наук доцент С.И. Дингес, кандидат технических наук доцент Р.Ю. Иванюшкин, кандидат технических наук профессор В.В. Козырев. В учебнике использованы материалы рукописей члена-корреспондента Российской академии наук, доктора технических наук, профессора В.В. Шахгильдяна, а также доцента М.С. Шумилина, успевших начать работу над ним. В авторском коллективе также участвует главный эксперт Московского научно-исследовательского телевизионного института (МНИТИ) доктор технических наук, профессор К.И. Кукк.

Работа над разделами учебника между членами авторского коллектива распределилась следующим образом:

В первой главе: разделы 1.1, 1.2 написаны совместно Р.Ю. Иванюшкиным и М.С. Шумилиным; раздел 1.3 написан Р.Ю. Иванюшкиным; раздел 1.4 написан С.И. Дингесом; раздел 1.5 написан совместно В.В. Шахгильдяном и Р.Ю. Иванюшкиным.

Все разделы второй главы и все разделы третьей главы написаны В.В. Козыревым.

В четвертой главе: разделы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 написаны Р.Ю. Иванюшкиным; разделы 4.5, 4.10, 4.11 написаны В.В. Козыревым.

В пятой главе: разделы 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.12 написаны В.В. Козыревым; раздел 5.11 написан Р.Ю. Иванюшкиным; разделы 5.13, 5.16 написаны С.И. Дингесом; разделы 5.14, 5.15 написаны совместно В.В. Шахгильдяном и С.И. Дингесом.

В шестой главе: разделы 6.1, 6.3 написаны М.С. Шумилиным; разделы 6.2, 6.4 написаны совместно В.В. Шахгильдяном и М.С. Шумилиным; разделы 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 написаны С.И. Дингесом.

В седьмой главе: разделы 7.1, 7.2, 7.3, 7.8, 7.9, 7.10 написаны совместно Р.Ю. Иванюшкиным и М.С. Шумилиным; разделы 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.11, 7.12 написаны Р.Ю. Иванюшкиным.

В восьмой главе: разделы 8.1, 8.2, 8.3, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.14 написаны В.В. Козыревым; разделы 8.4, 8.5, 8.7, 8.8, 8.13 написаны Р.Ю. Иванюшкиным; разделы 8.6, 8.15 написаны совместно Р.Ю. Иванюшкиным и В.В. Козыревым.

Все разделы девятой главы написаны С.И. Дингесом.

Все разделы десятой главы написаны К.И. Кукком.

При подготовке разделов 1.5, 6.3 и 7.9 также были частично использованы рукописи В.М. Розова.

Общая редакция учебника осуществлена Р.Ю. Иванюшкиным, им же написано предисловие.

Авторы считают своим приятным долгом выразить глубокую признательность всем, кто оказал помощь в подготовке учебника: доктору технических наук, профессору НИУ МЭИ Валентину Николаевичу Кулешову, доктору технических наук, профессору, декану факультета мобильной связи и мультимедиа,

заведующему кафедрой радиотехнических устройств СибГУТИ Сергею Степановичу Абрамову, кандидату технических наук, доценту кафедры радиотехнических устройств СибГУТИ Анатолию Михайловичу Михеенко, доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой электроники МТУСИ Григорию Марковичу Аристархову, рецензировавшим рукопись учебника; доктору технических наук, профессору, декану факультета «Радио и телевидение» и заведующему кафедрой радиооборудования и схемотехники МТУСИ Александру Валентиновичу Пестрякову, оказавшему существенную организационную поддержку авторскому коллективу; главному конструктору ФАР ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения им. В.В. Тихомирова», кандидату технических наук Александру Евгеньевичу Чалых, а также ведущему инженеру ПАО «Вымпелком» Алексею Владимировичу Васильеву, за ценные консультации и помощь в подготовке отдельных разделов учебника.

Также авторы с удовольствием выражают благодарность аспиранту кафедры радиооборудования и схемотехники МТУСИ Никите Дмитриевичу Шмакову, участвовавшему в апробации материала отдельных глав учебника и внесшему ряд полезных замечаний, а также студентам, оказавшим неоценимую помощь в оформлении рукописей и иллюстраций к ним: Есиевой Элине, Глазкову Андрею, Дзю Дмитрию, Родину Павлу, Василистовой Алине, Тяблину Алексею, Сухицкому Виталию, Минчукову Александру, Хаустовой Ольге, Уткиной Виктории, Обушеву Антону, Славянскому Александру, Аркину Владиславу, Мельник Юлии, Стрельцовой Виктории, Скворцову Святославу, Хаустовой Алине, Сухицкому Виталию и другим.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

1.1. Роль и место радиопередающего устройства в современных радиотехнических и телекоммуникационных системах

Первое представление о назначении радиопередатчика и его месте в технике радиосвязи, телерадиовещания и других радиосистемах вводится в предыдущих дисциплинах, таких как «Введение в профессию», «История радиотехники», «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей», «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства» [1.20]. Введем официальное определение понятий «радиопередатчик» и «радиопередающее устройство» в соответствии с действующими нормативными документами Российской Федерации.

Радиопередатчик — это устройство для формирования радиочастотного сигнала, подлежащего излучению в свободном пространстве над поверхностью Земли. Более развернуто это определение можно записать следующим образом: радиопередатчик — это устройство для генерирования (создания) электрических радиочастотных колебаний (обычно гармонических) определенной мощности и частоты, один или одновременно несколько параметров которого (амплитуда, частота, фаза) изменяются в соответствии с передаваемой информацией.

Для уточнения роли и места радиопередатчика в телекоммуникационных системах, обратимся к упрощенной и обобщенной структурной схеме (рис. 1.1) радиоканала (радиолинии), примерами которого могут служить любые системы радиосвязи, радиодоступа и телерадиовещания. В радиосистемах, также называемых *беспроводными* (за рубежом — *wireless*) системами, передача полезной информации на расстояние осуществляется при помощи энергии электромагнитных волн, распространяющихся в атмосфере Земли либо в свободном пространстве.

Передаваемая информация (см. рис. 1.1) формируется в источнике сообщения ИС. Наиболее характерными видами передаваемой информации являются аналоговые аудио- и видеосигналы, а также цифровые данные (потoki логических нулей и единиц) независимо от заложенной в них первичной информации

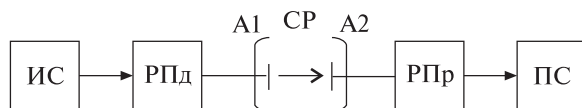


Рис. 1.1. Обобщенная структурная схема радиоканала (радиолинии)

(контента). Таким образом, источниками сообщения ИС обычно являются акустические преобразователи (микрофоны, звукосниматели и т. п.), видеокамеры, всевозможные аналоговые и цифровые устройства записи и хранения информации, а также цифровые порты и интерфейсы.

Обычно между источником информации и радиопередатчиком располагаются устройства предварительной обработки информации, обеспечивающие различные коррекции, предыскажения, фильтрацию, ограничение уровня, кодирование и другие необходимые действия, обеспечивающие возможность передачи информации по радиоканалу с требуемым качеством.

После предварительной обработки передаваемая информация поступает на вход радиопередатчика. Как следует из приведенного выше определения, задачей радиопередатчика РПД является генерирование радиочастотного сигнала заданной частоты и мощности (подводимого к передающей антенне) и управление одним (или несколькими) из его параметров по закону передаваемой информации. Таким образом на выходе радиопередатчика формируется радиочастотное колебание (т. е. переменный электрический ток радиочастоты), в изменениях одного или нескольких параметров (амплитуда, частота, фаза) которого заложена передаваемая информация.

С выхода передатчика сформированное радиочастотное колебание в виде переменного тока радиочастоты через фидерный тракт подводится к передающей антенне А1. Передающая антенна под воздействием этого переменного тока излучает в окружающее пространство энергию электромагнитных волн, в которую также заложена передаваемая информация.

Радиопередающим устройством (РПДУ) также часто называют совокупность радиопередатчика (РПД), передающей антенны А1 и соединяющего их фидера.

В процессе распространения в атмосфере, космическом пространстве и т. п. (среда распространения — СР) радиоволны подвергаются воздействию различных помех, а их энергия рассеивается в окружающем пространстве. В результате энергия радиоволны в точке приема радиоканала, где установлена приемная антенна А2, на много порядков меньше, нежели энергия переменного электрического тока, подводимая от радиопередатчика к передающей антенне А1. Приемная антенна А2 выполняет задачу, противоположную задаче передающей антенны А1. Антенна А2 преобразует энергию воздействующих на нее радиоволн в энергию переменного электрического тока радиочастоты, подводимую затем ко входу радиоприемника (РПр).

Таким образом, передающая А1 и приемная А2 антенны выполняют роль преобразователей энергии переменного электрического тока в энергию электромагнитных волн и обратно.

Задачами радиоприемника РПр является фильтрация и усиление полезного сигнала, а также выделение из радиосигнала заложенной в нем передаваемой информации. Радиоприемные устройства изучаются в отдельной дисциплине [1.8]. С выхода радиоприемника принятая информация поступает на устройства ее вторичной обработки, где выполняются различные операции, как правило,

обратные тем, которые были проведены в устройстве предварительной обработки информации (см. выше).

Наконец, переданная радиопередатчиком РПД и принятая радиоприемником РПр информация поступает на последнее звено рассматриваемого радиотракта — получатель сообщения (ПС). Этим звеном может быть, например, электроакустический преобразователь (громкоговоритель, головной телефон), видеоконтрольное устройство (монитор, телевизор), цифровой порт или интерфейс компьютера и т. п.

Поскольку основные параметры, характеризующие излучаемые в среду пространства радиоволны, определяются, в первую очередь, именно радиопередатчиком, к этим устройствам предъявляются достаточно жесткие специфические технические требования, которые будут рассмотрены ниже. Одной из главных особенностей радиопередатчика является то, что именно он в конечном счете определяет энергетику всего радиоканала. Именно полезной мощностью радиоколечаний, подводимых радиопередатчиком к передающей антенне, во многом определяется дальность радиосвязи. Разумеется, этот показатель зависит и от многих других факторов, включая чувствительность радиоприемника, свойства приемной и передающей антенн, помеховой обстановкой в среде распространения, свойствами самих радиосигналов и методами кодирования передаваемой информации. Тем не менее одним из главных критериев при разработке любой системы радиосвязи, радиодоступа и телерадиовещания является грамотный выбор мощности радиопередатчиков. Полезная мощность радиопередатчика определяет не только максимальную дальность связи (вещания), а также все другие энергетические характеристики системы. Именно радиопередатчик является самым мощным среди всех звеньев системы потребителем электроэнергии, которая им затрачивается для нужд генерирования энергии радиочастотных колебаний заданной мощности. NB

Исходя из того, что радиопередатчик является генератором радиочастотных колебаний, он безусловно также является основным источником помех для других радиосредств. Исходя из этого к радиопередатчику предъявляются особые требования (см. разд. 1.2) по электромагнитной совместимости (ЭМС), регламентирующие недопущения создания помех другим радиосредствам и системам сверх максимально допустимых.

В настоящее время радиопередатчики — это далеко не только мощные стационарные устройства, обеспечивающие генерирование радиоколечаний для нужд радиовещания и телевидения, а также дальней радиосвязи, радиолокации, зондирования поверхности земли и литосферы и т. д. Мощные радиопередатчики (например, те, которые устанавливаются на телебашнях и других стационарных радиопередающих центрах) сегодня составляют подавляющее меньшинство среди всех радиопередатчиков, находящихся в эксплуатации. Наиболее распространенными сегодня являются радиопередатчики небольшой мощности, которые входят в состав различных мобильных абонентских устройств (сотовых телефонов, модемов для беспроводного доступа к Интернету и т. п.). Так, например, современный мобильный телефон может содержать в своем составе до трех-четырех радиопередатчиков, обеспечивающих его совместимость с

несколькими системами мобильной связи, построенных на основе разных стандартов.

1.2. Технические требования к радиопередающим устройствам

Приступая к рассмотрению основ построения и принципов действия радиопередающего устройства (как, впрочем, и любого другого технического объекта) необходимо четко оговорить, какие технические требования к нему предъявляются. Именно технические требования к радиопередатчику (зачастую взаимопротиворечащие) в конечном счете и определяют его архитектуру (см. разд. 1.3), а также способы построения различных входящих в него узлов (см. последующие главы). Этот важный момент требует более подробного рассмотрения совокупности технических требований к радиопередатчикам, лежащих в основе технического задания при их проектировании.

NB Технические требования к радиопередатчикам регламентируются следующими Нормативными документами:

- регламентом радиосвязи [1.1] — основным международным документом, регламентирующим работу всех радиотехнических средств;
- нормами на электромагнитную совместимость [1.22, 1.23, 1.24, 1.25] — международными, межгосударственными либо государственными документами, регламентирующими требования по необходимому снижению взаимного вредного влияния различных радиосредств друг на друга;
- международными, межгосударственными, государственными и отраслевыми стандартами либо техническими условиями (ТУ) на приемопередающую аппаратуру;
- различными правилами, касающимися особенностей эксплуатации радиоэлектронных средств, а также вопросов электробезопасности на производстве и т. п.

Все технические требования к радиопередатчикам, определяемые вышеприведенными нормативными документами, можно условно разделить на четыре основные группы: системные требования (обеспечивающие совместимость радиопередающей и радиоприемной аппаратуры в рамках конкретной системы связи (вещания), требования норм электромагнитной совместимости, требования к показателям качества передачи сигнала и эксплуатационно-энергетические требования. Подробнее эти четыре группы технических требований к радиопередатчикам рассмотрены ниже.

Системные требования к радиопередатчику.

- *Полезная колебательная мощность на выходе радиопередатчика* (та мощность, которая должна быть подведена к антенно-фидерному тракту). Мощности современных радиопередатчиков лежат в пределах от долей ватта до единиц мегаватт.
- *Диапазон рабочих (несущих) частот*: от минимальной рабочей частоты до максимальной с указанием шага сетки частот, определяющего разбивку