

**Г. П. Катунин, Г. В. Мамчев,  
В. Н. Попантопуло, В. В. Шувалов**

# **ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ**

**РАДИОСВЯЗЬ, РАДИОВЕЩАНИЕ, ТЕЛЕВИДЕНИЕ**

**Том 2**

Под редакцией профессора В.П.Шувалова

*Допущено Учебно-методическим объединением  
по специальности «Связь» в качестве учебного пособия  
для студентов вузов связи и колледжей*

2-е издание, исправленное и дополненное

**Москва  
Горячая линия - Телеком  
2005**

УДК 621.39

ББК 32.88

Т 31

*Рецензент канд. техн. наук А. И. Калеников*

**Т31 Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах.** Том 2 – Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г. П., Мамчев Г. В., Попантонопуло В. Н., В. П. Шувалов; под ред. профессора В. П. Шувалова. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Горячая линия–Телеком, 2005. – 672 с.: ил.

ISBN 5-93517-089-2.

Во втором томе трехтомного учебного пособия рассматриваются системы радиосвязи, радиовещания и телевидения.

Основное внимание уделяется перспективным направлениям развития беспроводной связи: спутниковая связь, связь с подвижными объектами.

Для студентов вузов связи и колледжей. Книга может быть использована для повышения квалификации работниками предприятий связи.

**ББК 32.88**

*Адрес издательства в Интернет [www.techbook.ru](http://www.techbook.ru)*

*e-mail: [radios\\_hi@mtu-net.ru](mailto:radios_hi@mtu-net.ru)*

Учебное издание

**Катунин Геннадий Павлович  
Мамчев Геннадий Владимирович  
Попантонопуло Владимир Николаевич  
Шувалов Вячеслав Петрович**

**Телекоммуникационные системы и сети  
Радиосвязь, радиовещание, телевидение**

*Учебное пособие*

ЛР № 071825 от 16 марта 1999 г.

Подписано в печать 23.06.03. Формат 60х90/16.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 42,2. Тираж 3000 экз. Изд. № 89.

Издание отпечатано в ООО ПФ «Полиграфист»,  
160001, г. Вологда, ул. Челюскинцев, 3.

ISBN 5-93517-089-2 (Т.2)  
ISBN 5-93517-109-0

© Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н.  
Попантонопуло, В.П. Шувалов, 2004, 2005  
© Оформление издательства  
«Горячая линия–Телеком», 2005

## Предисловие ко второму изданию

Последние годы характеризуются бурным развитием средств радиосвязи, возрождением интереса к радиотехнологиям. Стремление к глобализации и персонализации, желание потребителей иметь связь в любом месте, в любое время и с любым человеком на планете вызвали появление сотовой радиосвязи с подвижными объектами, а совершенствование и удешевление схемотехники сделали экономически выгодным применение радиодоступа или, как сейчас говорят, решение проблемы «последней мили» на основе радиотехнологий.

Существенный скачок отмечается и в развитии таких традиционных радиотехнологий, как телевидение, радиовещание, радиорелейная связь. Так, например, разработаны принципы телевидения высокой четкости (ТВЧ), информационного телевидения и др.

Прогресс в области радиотехнологий достаточно широко освещается в литературе – в специальных журналах появляются статьи, издаются монографии. В то же время назрела необходимость в издании, которое было бы полезно широкому кругу читателей – от учащегося колледжа или студента вуза до руководителя предприятия связи.

Перед Вами второй том (второе издание) трехтомного учебного пособия «Телекоммуникационные системы и сети». Если в первом томе рассмотрены теоретические и практические вопросы так называемой проводной связи, то второй том посвящен проблемам беспроводной связи.

Следует заметить, что в настоящее время достаточно трудно выделить области знаний, которые были бы необходимы для практической деятельности только специалистам проводной или же, наоборот, беспроводной связи. Особенно это относится к теоретическим вопросам. В этой связи тем, кто приступил к изучению второго тома, полезно познакомиться с содержанием

первой части первого тома, где рассматриваются теоретические основы электросвязи.

А надо ли знать будущим специалистам в области радиосвязи, что такое современные протоколы передачи данных или что такое интеллектуальные сети и цифровые сети интегрального обслуживания (вопросы, изложенные в первом томе)? На эти вопросы не может быть другого ответа, кроме «Да»! Недаром в государственном образовательном стандарте для студентов, обучающихся по направлению «Телекоммуникации», введен курс «Основы построения телекоммуникационных систем и сетей».

Авторы пособия приложили немало усилий, отбирая материалы. Они постарались сделать книгу не только доходчивой для учащихся, но и максимально полезной для специалистов электросвязи, включив в пособие специальные разделы, детализирующие основные положения книги. Разумеется, по указанию преподавателя студенты могут опустить этот материал.

Прошло всего три года после выхода в свет первого издания второго тома. Книга быстро разошлась и возникла необходимость в ее переиздании. Первоначально предполагалось сделать издание стереотипным. Однако в телекоммуникациях три года очень большой срок – появились новые радиотехнологии, изменилась концепция построения сотовых сетей России; на рынке телекоммуникационного оборудования появились новые компании, предлагающие более современное оборудование по приемлемым ценам. Все это надо было отразить в новом издании.

В книге появились такие разделы, как «Многоканальные звуковые системы», «Технология DVD дисков», переработан материал части III «Мобильная связь и системы беспроводного доступа». В новом издании появилось описание оборудования мобильной связи, поставляемое в Россию компанией Huawei Technologies, подготовленное директором Сибирского отделения компании **А.Т. Хакимовым** В разделе 19.2 представлено описание системы «МиниКом-DECT», разработанное российской компанией «Информатика и связь», существенно переработана гл. 20, в которой появилось описание методик моделирования систем мобильной связи и беспроводно-

го доступа. Этот материал написан **В.В. Столяровым** и **А.Ф. Ярославцевым**.

В подготовке к изданию этой книги, приняли также участие профессор **В.Н. Носов** (гл. 15–19, раздел 20.1), канд. техн. наук **А.Л. Нехаев** (гл. 14), канд. техн. наук **В.В. Велично** (разд. 15.1).

В настоящее время идет подготовка материала к третьему тому, который будет целиком посвящен мультисервисным сетям. В нем предполагается рассмотреть технологии мультисервисных сетей, привести примеры оборудования для этих сетей и дать обзор методик их проектирования.

*Профессор В.П. Шувалов*

# Введение

Телекоммуникации как часть инфраструктуры общества служат одним из источников обеспечения функционирования и подъема экономики государства.

На рубеже XXI века телекоммуникации оказались одной из наиболее быстро развивающихся частей общества. При этом темпы развития мировой телекоммуникационной отрасли в 2 раза превышают темпы роста всей мировой экономики. В настоящее время объем доходов отрасли превышает триллион долларов, причем 70 % этой суммы придется на услуги, а 30 % – на продажу оборудования связи.

Заметим, что в среде телекоммуникационных услуг пока еще большая часть доходов приходится на кабельную телефонную сеть, число абонентов которой превысило в мире 900 млн.

Второй том учебного пособия посвящен в основном вопросам построения телекоммуникационных сетей и систем, использующих для приема и передачи информации средства радиосвязи. Материал построен так, что предлагаемая читателю книга практически не требует обращения к первому тому, если, конечно, читатель овладел основами общей теории связи, которые изложены в первой части первого тома.

Книга состоит из трех разделов:

1. Радиосвязь и радиовещание (гл. 1–6).
2. Телевидение. Радиорелейная и спутниковая связь (гл. 7–12).
3. Мобильная связь и системы беспроводного доступа (гл. 13–20).

Вопросы распространения радиоволн, необходимые для понимания книги, достаточно подробно изложены в первой главе. Остановимся кратко на некоторых моментах, характеризующих состояние и перспективы развития упомянутых выше телекоммуникационных сетей.

К одной из самых разветвленных сетей относится сеть телевизионного вещания (ТВ). Сеть телевизионного вещания Российской Федерации является одной из крупнейших в мире и охватывает до 98,8 % населения (двумя программами – 96,4 %, тремя – 65,2 %, четырьмя и более – 31 %). Всего в эксплуатации у населения в 2002 г. находилось около 90 млн. ТВ приемников. Эти показатели обеспечиваются комплексной сетью ТВ, включающей радиотелевизионные передающие станции (РТПС), ТВ каналы радиорелейных и спутниковых каналов, системы кабельного и сотового телевидения, приемные ТВ станции спутниковых сигналов.

Наступивший XXI век, по мнению большинства аналитиков многих стран, станет веком перехода от индустриального общества к инфор-

мационному, в основе которого будет лежать информационная инфраструктура, во многом определяемая создаваемыми системами многопрограммного ТВ вещания (МПТВ).

Практическая реализация МПТВ возможна только в случае перехода к цифровым способам обработки, передачи и консервации ТВ сигналов. При этом становится очевидной конвергенция телевидения, компьютерной и телекоммуникационной техники. Например, уже сейчас изучаются возможности использования ТВ сетей для высокоскоростной передачи данных.

Использование цифровых технологий в ТВ вещании – это новый этап в развитии технических средств массовой информации. Естественно, что внедрение новых технологий, коренным образом изменяющих основной состав и многомиллионный парк телевизоров такой огромной сети, как сеть ТВ вещания, может происходить только путем постепенной модернизации. Причем телекоммуникационные сети практически уже готовы к широкому внедрению цифрового телевидения.

Опыт, накопленный в ТВ вещании, показал, что телевидение, переходя в цифровую эру, способно предоставить ряд новых возможностей при сохранении экономической эффективности. В целом, применение цифровых методов обработки, передачи и консервации ТВ сигналов по сравнению с аналоговыми дает ряд следующих преимуществ:

1. Передача ТВ сигнала в двоичной форме по линии связи с помехами позволяет значительно увеличить помехоустойчивость передачи.

2. Передача ТВ сигнала в двоичной форме по многозвенной линии связи позволяет производить многократную регенерацию и скремблирование цифрового сигнала в промежуточных пунктах, осуществлять цифровую коррекцию искажений и подавление флуктуационных и периодических помех в промежуточных пунктах и таким образом предотвращает накопление помех вдоль всей линии. Поэтому качество изображения в цифровой ТВ системе практически полностью определяется качеством сигнала, созданного на ТВ центре, и почти не зависит от протяженности линий связи. Другими словами, цифровая ТВ система обеспечивает прозрачную передачу видеосигналов. В данном случае под прозрачностью понимается неизменность сигналов источника, когда сохраняются первоначальное качество видеоматериала и его способность к дальнейшей обработке.

3. Цифровые системы открывают широкие возможности обработки ТВ сигнала в цифровой форме для устранения в нем статистической и физиологической избыточности перед передачей по каналу связи, т.е. обеспечивают высокую степень сжатия видеoinформации, что позволяет уже сейчас передавать в стандартном радиоканале с по-

лосой пропускания 8 МГц сигналы трех – четырех ТВ программ в наземном ТВ вещании и до 10 программ через один ствол спутникового канала связи или одну программу телевидения высокой четкости (ТВЧ), а также большие потоки данных при сохранении высокого качества передачи. Соответственно уменьшаются удельные затраты на телеканал по аренде спутникового сегмента.

4. Допускается более широкая унификация аппаратуры: ТВ и других стволов линий связи с целью создания однотипных коммутирующих, корректирующих и других устройств.

5. Обеспечиваются гибкость передачи, позволяющая плавно изменять скорость передачи цифровой информации в канале связи при соответствующем изменении качества декодированного изображения, адаптируемость к требованиям конкретного потребителя.

6. Сравнительно легко реализуются операции по уплотнению ТВ канала дополнительной информацией. Упрощается аппаратура для передачи одновременно с видеосигналом сигналов звукового сопровождения, звукового вещания, контрольных частот, сигналов точного времени, сигналов телеигр, телегазет и ряда других видов информации. Таким образом обеспечивается возможность введения новых служб вещания, развлечений, образования, бытового обслуживания.

7. Возможность регенерации цифрового сигнала позволяет без потери качества широко консервировать ТВ программы, осуществлять их тиражирование. Хранение информации в двоичном коде может быть неограниченно долгим и допускает многократные обращения к записям. В случае необходимости хранящаяся информация легко регенерируется, что особенно важно для создания фондовых и архивных материалов. Интеграция локальной памяти домашнего компьютерного комплекса (магнитные диски, записываемые оптические диски) в систему цифрового телевидения означает возможность автоматической записи программ, предназначенных для конкретного зрителя.

8. Полное проникновение цифровой техники в ТВ тракт от камеры до монтажных аппаратных удешевляет производство ТВ программ. Цифровая техника предлагает более эффективную и менее дорогую автоматизацию ТВ вещания.

9. Цифровое телевидение позволяет ТВ вещательным компаниям вступить в прямой контакт со зрителями, предлагая услуги, например, по исключительной демонстрации различных событий и мероприятий. При этом реклама, основанная на изучении пристрастий и вкусов зрителей, может стать целевой.

10. Наконец, цифровые технологии позволяют придать телевидению интерактивный характер. Интерактивная реклама, услуги по продаже товаров, ТВ игры будут, видимо, первыми проявлениями интерактивности, за которыми должны последовать образовательные и другие программы.

Для внедрения цифрового телевидения, в принципе, необходимо создание единого мирового стандарта. В настоящее время технологическими лидерами в этой области являются США, Европейский Союз и Япония. Соответственно существует и несколько проектов цифрового ТВ вещания, разработанных в США, Европе и Японии.

На американском континенте главенствующая роль в разработке стандартов на цифровое ТВ вещание принадлежит Комитету по усовершенствованным системам телевидения – ATSC (Advanced Television Systems Committee). В 1993 г. европейской группой вещательных, промышленных и законодательных организаций был учрежден Project DVB (проект цифрового видеовещания Digital Video Broadcasting). Стандарты, разрабатываемые в рамках Project DVB, применяются в системах цифрового аудио и видеовещания и передачи данных по спутниковым, кабельным и наземным сетям и определяют соответствующие системные рекомендации для кабельного (DVB-C), наземного (DVB-T) и спутникового (DVB-S) ТВ вещания. В Японии компанией NHK разработана концепция цифрового ТВ вещания с интеграцией служб ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), которая является общей для наземных, спутниковых и кабельных сетей.

Стратегия перехода от аналогового к цифровому ТВ вещанию в Российской Федерации определяется специально разработанной в 1999 г. «Концепцией внедрения цифрового телевидения и звукового вещания в России», рассчитанной до 2015 г. В соответствии с принятой «Концепцией ...» на первом этапе цифровое вещание реализуется в отдельных опытных зонах (гг. Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород), где имеется возможность проверить эффективность работы системы цифрового ТВ вещания совместно со средствами аналогового телевидения, связи, компьютерными информационными службами.

С недавнего времени звуковые сигналы различных программ спутникового телевидения и радиовещания также передаются цифровым методом. При этом основными способами передачи звуковых сигналов пока являются D2-MAC, NICAM и цифровое спутниковое радиовещание DSR. В перспективе предполагается переход на использование системы DAB (Digital Audio Broadcasting), которая находится в завершающей стадии разработки. Эта система придет на смену многопрограммного вещания с частотной модуляцией (МВ-ЧМ).

В соответствии с решением Международной администрации радиовещания, начиная с 1992 г. для радиослужб, включая службы радиовещания через спутники, высвобождается частотный диапазон 1452–1492 МГц. Этот процесс должен быть завершен к 2007 г. В странах СНГ планируется 95 % территории обеспечивать 16 высококачественными стереопрограммами с помощью спутников.

Важным звеном в цепи источник информации – потребитель являются средства доставки (см. главы 2 и 3). Известно, что сегодня тра-

диционным эфирным средствам доставки ТВ и радиовещательных программ приходится конкурировать с такими средствами массмедиа, как проводное вещание (аналоговое и цифровое), системы беспроводного кабельного телевидения (микроволновая многоканальная распределительная система – MMDS).

Тем не менее эфирная система в диапазонах очень высоких и сверхвысоких частот остается и будет оставаться наиболее доступной, разветвленной и привлекательной для вновь организуемых малых частных радиостанций, по крайней мере в нашей стране, поскольку создание такой системы не требует больших (по сравнению с иными) затрат, и, самое главное, население уже имеет десятки миллионов эфирных теле- и радиоприемников, а возможности повышения качества приема еще не исчерпаны.

Иная ситуация складывается в развитых странах Запада. Например, крупный специалист фирмы Philips Semiconductors г-н Фритьоф Лампе сообщает, что, сейчас в Германии в эфире действуют 9000 передатчиков, согласно некоторым данным в 2010 г. только 1,6 % домовладельцев будут зависеть от традиционных наземных (terrestrial), в нашем понимании эфирных, систем доставки программ, а подавляющее большинство населения будет пользоваться услугами кабельного телевидения (включая системы доставки по оптоволоконным и беспроводным системам) и приемниками непосредственного спутникового вещания. В то же время, по его мнению, в России эфирное телевидение будет использоваться еще долгие годы.

Следовательно, можно утверждать, что в настоящее время российские производители эфирных передатчиков могут не бояться конкуренции со стороны этих новых, безусловно эффективных, но в ряде случаев дорогих, средств доставки вещательных программ.

Одной из наиболее быстро развивающихся отраслей связи сегодня является мобильная связь (гл. 13, 14). Стремление обеспечить связь с любым абонентом, где бы он не находился, является естественным и понятным. В настоящее время это становится возможным благодаря внедрению мобильных сетей, использующих наземные и спутниковые системы радиосвязи.

Современный период развития сотовой связи характеризуется повсеместным распространением систем сотовой связи второго поколения, постепенным свертыванием аналоговых систем (первого поколения) и созданием первых фрагментов сетей третьего поколения. Широкое распространение получают новые технологии и прежде всего Интернет.

Дальнейшее развитие подвижной связи в России должно происходить путем использования в основном европейских технологий в направлении постепенной замены аналоговых сетей цифровыми, создания многодиапазонных сетей GSM, укрупнения существующих и

создания новых сетей, эволюции существующих цифровых сетей к предоставлению высокоскоростных услуг, развертывания сетей третьего поколения на основе европейской версии UMTS международного стандарта IMT-2000.

Сети радиодоступа (гл. 15–20) предназначены для беспроводного подключения абонентов к телефонной сети общего пользования (ТФОП). Они находят все большее применение, являясь в ряде случаев единственно разумным вариантом подсоединения абонента к ТФОП.

Известно, что организация доступа составляет 60 % затрат на инфраструктуру сети связи. Технология доступа определяет величину доходов и прибыли оператора. При ее выборе необходимо учитывать:

- требуемую для организации доступа ширину спектра частот;
- соотношение цены и качества;
- скорость установки и наладки.

Радиосредства, используемые для подключения абонента к телефонной сети общего пользования, можно условно разделить на два класса: оборудование радиодоступа (Wireless Local Loop – WLL) к АТС и аппаратура бесшнуровой связи (Cordless Telephone – СТ). Такое деление позволяет более дифференцированно рассматривать перспективы внедрения этих радиосредств на сетях электросвязи и определять условия их использования.

К оборудованию радиодоступа можно отнести одноканальные или многоканальные радиоудлинители телефонных линий, у которых радиоканал организован на участке АТС – абонентское устройство. На российских сетях электросвязи традиционно используются радиоудлинители типа УТК, КАРТ, «Лес», работающие в диапазоне 330 МГц. Использование радиоудлинителей данного диапазона допускается всеми без исключения лицензиями на право предоставления услуг местной телефонной связи.

Одноканальные и многоканальные удлинители с ограниченным числом каналов (до 10) достаточно просты и выпускаются отечественной промышленностью. Использование радиоудлинителей, работающих в других диапазонах частот, допускается при соответствующем разрешении Главгоссвязьнадзора России и оформляется специальным пунктом особых условий лицензий на право предоставления услуг местной телефонной связи.

К системам радиодоступа к АТС относятся и распределительные радиосистемы (Point-to-Multipoint), которые в последние годы начали внедряться в России. В основном для этих систем, которые используют технологию радиорелейных линий (РРЛ), разрешены диапазоны частот 1,5 ГГц и 2,3–2,5 ГГц. Радиоканал в таких системах, как правило, организован на участке АТС – абонентский блок коллективного пользования, который обеспечивает переход от радиоканала к абонентским устройствам. Из зарубежных систем в России сертифицированы система DRMASS фирмы NEC (Япония) (диапазон частот 2,5 ГГц), система RURTEL фирмы Alcatel SEL (Германия) (диапазон

частот 2,5 ГГц), система SR-500 фирмы Intracom (диапазон частот 2,5 ГГц). В связи со снятием с производства системы RURTEL фирма Alcatel перешла на выпуск аналогичного оборудования A9800 (диапазон частот 1,5 ГГц; 2,3...2,5 ГГц).

К другому классу оборудования, использующего радиотехнологии для подключения абонента к телефонной сети, относится аппаратура бесшнуровой связи. В этом случае радиоканал не является частью АЛ, так как она заканчивается на базовом блоке индивидуального пользования (в случае бесшнуровых телефонных аппаратов) или на базовом блоке коллективного пользования (в случае систем бесшнуровой связи). Радиоканал используется между базовым блоком, выполняющим функции абонентских устройств, и радиоэлектронной трубкой, работающей по принципу дистанционных устройств. Системы бесшнуровой связи пригодны для телефонизации дома или офиса, а также небольших населенных пунктов. В последнем случае функциональные возможности подобных систем приближаются к системам персональной связи, которые базируются на сотовой топологии с малым радиусом сот (микроячейки и пикоячейки).

Общий порядок сдачи в эксплуатацию объектов связи с присоединением к телефонной сети общего пользования определен «Временными правилами приемки в эксплуатацию законченных строительством объектов связи общего пользования в Российской Федерации», утвержденными приказом Министерства связи России от 19.12.95 г. № 146, а также дополнениями к нему, утвержденными приказом Министерства связи России от 25.02.97 г. № 31 и приказом Госкомсвязи России от 29.07.97 г. № 1.

К специальным регулирующим документам для систем радиодоступа прежде всего следует отнести решение ГКРЧ от 15.12.95 г., касающееся использования полос радиочастот в диапазоне 900 МГц радиосредствами гражданского назначения, в том числе в системах стандарта CDMA и на основе технологии CT2, а также решение ГКРЧ от 26.08.96 г. об использовании полосы частот 1800...1900 МГц для оборудования беспроводной телефонной связи технологии DECT

В случае использования систем радиодоступа на основе технологий CT-2 или DECT при соблюдении определенных ограничений (мощность передатчиков базовых станций не более 10 мВт, коэффициент усиления антенн не более 3 дБ) достаточно обычной лицензии на услуги местной телефонной связи. Если же при реализации проекта оператор вынужден выйти за рамки приведенных ограничений, то ему необходимо провести согласование частот в Главгоссвязьнадзоре.

# Часть I. Радиосвязь и радиовещание

---

---

## Глава 1. Принципы радиосвязи

### 1.1. Некоторые сведения об электромагнитных волнах

В конце XIX столетия были открыты и исследованы свойства невидимых электромагнитных волн, способных распространяться на большие расстояния. Эти волны были названы радиоволнами. Обобщая обширный опытный материал, собранный естествоиспытателями, английский физик Джеймс Максвелл создал теорию электромагнитного поля, установившую общую природу световых и радиоволн, а также открыл законы их распространения. В дальнейшем были изучены другие виды излучения: ультрафиолетовое, инфракрасное, рентгеновское и т.п. Исследования показали, что несмотря на различие ряда свойств этих видов излучения природа их одна и та же: все они представляют собой электромагнитные волны, а особенности их физических проявлений определяются различием в длине волны.

В 1886–1888 гг. Генрих Герц экспериментально подтвердил основные выводы теории Максвелла, показав, что законы распространения, отражения и преломления радиоволн аналогичны законам распространения света.

При создании электромагнитной теории света Максвелл сразу столкнулся с большой трудностью. Все известные до этого волнообразные движения материи объяснялись механическим движением и упругим взаимодействием частиц тех сред, в которых они происходят. Например, распространение волн на поверхности воды объясняется действием сил внутреннего трения и поверхностного натяжения воды, распространение звука – упругими деформациями в среде или колебаниями молекул газа. В вакууме распространение этих колебаний невозможно.

Как же объяснить то, что световые волны беспрепятственно распространяются в мировом пространстве, которое можно считать почти идеальным вакуумом? Максвелл предположил, что все мировое пространство заполнено каким-то неощутимым видом материи, названным им эфиром, а распространение электромагнитных волн, в том числе и света, объясняется колебаниями частиц эфира.

Это движение или смещение частиц эфира было названо током смещения. И действительно, если в какой-нибудь вакуумный сосуд

поместить две пластины и соединить их с источником переменной ЭДС, то на помещенную поблизости магнитную стрелку будет действовать переменное магнитное поле так, как это происходило бы, если бы в пространстве между электродами протекал поток электронов, который принято называть конвекционным током.

Несмотря на то, что с количественной стороны опыт дает полное совпадение с теорией, объяснение качественной стороны явлений такой механической моделью оказалось необоснованным. Все дальнейшие попытки физиков посредством самых тонких и остроумных экспериментов обнаружить эфир и выявить его свойства не только ничего не дали, но и показали, что если предположить существование эфира, то нельзя объяснить многие физические явления. Поэтому в настоящее время это понятие считают лишенным какого-либо реального физического смысла, хотя оно еще часто используется в обиходе.

Вместе с тем экспериментальная физика накапливала все новые и новые данные о свойствах электромагнитных волн. Замечательные опыты П.Н. Лебедева, проведенные в 1901 г., позволили обнаружить и измерить давление света. В дальнейшем было доказано, что частица, излучающая электромагнитные волны, теряет часть своей массы. Наконец, изучение элементарных ядерных частиц и их реакций показало, что при некоторых условиях могут происходить превращения частиц в электромагнитное излучение и, наоборот, можно наблюдать переход электромагнитного излучения в электрически заряженные частицы. Было открыто, что, с одной стороны, электроны ведут себя как элементарные частицы материи, а с другой – они обладают и некоторыми свойствами волн, например способностью к дифракции, т.е. способностью огибать препятствия. В свою очередь, электромагнитное излучение обладает корпускулярными, дискретными свойствами, т.е. свойствами потока мельчайших частиц.

Все эти факты привели к выводу что электромагнитные волны представляют собой особую форму движущейся материи.

Теория электромагнитного поля Максвелла, за исключением гипотезы об эфире, правильно отражает объективную физическую реальность, являясь обобщением основных законов электричества, установленных опытным путем.

В ней содержится очень важный вывод, что переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле. Если же учесть, что закон электромагнитной индукции устанавливает обратную зависимость, то следует заключить, что переменные электрические и магнитные поля всегда существуют совместно и связаны между собой определенной количественной зависимостью. Переменное электрическое поле создает переменное магнитное поле, а переменное магнитное поле создает переменное электрическое поле. Поэтому лю-

бое возмущение, т.е. изменение электрического или магнитного поля, приводит к возникновению единого переменного электромагнитного поля.

Важнейшим свойством переменного электромагнитного поля является то, что оно не локализуется в месте возникновения. От точки, где оно возникло, возмущение начинает распространяться во все стороны в окружающее пространство, порождая электромагнитные волны, подобно тому, как всплеск воды от камня, брошенного в пруд, создает разбегающиеся по его поверхности волны.

Электромагнитные волны являются носителями энергии. За счет лучистой энергии, приносимой ими с поверхности Солнца, существует жизнь на Земле. Следовательно, создание электромагнитного излучения должно явиться результатом процессов преобразования энергии. Такое преобразование произойдет, например, если заставить электрон двигаться с ускорением. Энергия, затрачиваемая устройством, вынуждающим электрон двигаться с ускорением, превращается в энергию электромагнитного излучения. Из курса физики известно, что электроны в атомах движутся около положительно заряженного ядра по орбитам, на которых они обладают постоянной энергией. При некоторых условиях электроны могут переходить с одной орбиты на другую, вследствие чего их энергия изменяется; избыток ее превращается в электромагнитное излучение. Этот способ возбуждения электромагнитных волн находит применение в бурно развивающейся в настоящее время отрасли науки и техники – квантовой электронике.

В радиотехнике основное практическое применение нашел метод использования ускоренного движения свободных электронов, находящихся в огромном количестве в телах проводников.

Очевидно, что создать ускоренное движение электронов в одном направлении длительно практически невозможно, поэтому приходится ускорение в одном направлении сменять замедлением, т.е. ускорением в противоположном направлении. Подобный цикл может быть повторен неоднократно. Это можно осуществить путем присоединения каких-либо проводников к зажимам источника, переменной ЭДС, под действием которой свободные электроны проводника начинают совершать колебательное движение, создавая электромагнитное излучение в окружающем пространстве. Такой проводник, преобразующий энергию источника переменной ЭДС в энергию электромагнитных волн, называется передающей антенной.

Теория Максвелла позволила установить, что скорость распространения электромагнитных волн в какой-либо среде  $V = c/\sqrt{\epsilon\mu}$ , где  $c$  – скорость распространения света в вакууме;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, а  $\mu$  – магнитная проницаемость среды. Для воздуха  $\mu \approx \epsilon \approx 1$ , а скорость распространения электромагнитных волн близка к скорости света в вакууме:  $v = c \approx 300\,000$  км/с.

Таблица 1.1. Наиболее важные этапы развития радиотехники

Автор (организатор). Время	Событие			Примечание
	краткая формулировка	суть	значимость	
Г. Герц (Германия), 1886–1888	Экспериментальное доказательство возможности излучения и существования свободно распространяющегося электромагнитного поля	Были построены простейшие вибраторные системы излучения и приема электромагнитных волн. Конструкция передающего и приемного электрических излучателей представляла собой первую реализацию открытого колебательного контура	Экспериментальное подтверждение теории электромагнитного поля Максвелла. Разработка первых радиотехнических устройств	Г. Герц считал свои опыты чисто научным исследованием, не имеющим практической ценности
Э. Бранди (Франция) 1890	Введение в экспериментальную установку специального индикатора появления электромагнитного поля	В резонансную систему Герца вместо искровой промежуток между элементами приемной антенны был введен когерер – трубка с металлическим порошком, сопротивление которого току от подключенной батареи резко уменьшалось при наведении в антенне ЭДС от внешнего электромагнитного поля	Совершенствование техники физического эксперимента с электромагнитными волнами. Повышение чувствительности индикатора электромагнитного поля	В 1894 г. английский физик О. Лодж применил в аналогичной установке периодическое встряхивание когерера, что позволило сделать индикацию поля периодическим процессом
А.С. Попов (Россия), 1895	Создание первого радиоприемного устройства для практических целей	В цепи когерера включена обмотка чувствительного реле, замыкающего мощную цепь сигнального звонка, что существенно повышало чувствительность приемника. Периодический процесс возрастания тока в цепи когерера, срабатывания реле, включения звонка, встряхивающего когерер, продолжался до тех пор, пока на приемное устройство воздействовало электромагнитное поле	Доказательство возможности применения электромагнитных волн для передачи сообщений и других практических целей	Позднее в том же 1895 г. грозоотметчик А.С. Попова, усовершенствованный введением вертикальной антенны, стал применяться для грозового предупреждения на Нижегородской электростанции. Его дальность действия составляла 30 км
А.С. Попов (Россия), 1896, март	Экспериментальное подтверждение возможности беспроводной связи	Применив телеграфный аппарат в сочетании со своим приемным прибором, А.С. Попов обеспечил возможность записи принимаемых сигналов на телеграфную ленту. Первая в мире радиограмма была составлена из слов «Генрих Герц»	Доказательство возможности технического обеспечения беспроводной телеграфной связи	В 1889 г. помощник А.С. Попова П.Н. Рыбкин обнаружил возможность радиоприема на слух, что резко увеличило дальность связи

Продолжение табл. 1.1

Автор (организатор). Время	Событие			Примечание
	краткая формулировка	суть	значимость	
Г. Маркони (Италия), 1896, июль-август	Подача заявки на патент на устройство беспроводного телеграфирования	Передающее устройство в заявке было аналогично излучателю Г. Герца, а приемное – тождественно приемнику А.С. Попова	Маркони получил патент в 1897 г. Это стало свидетельством признания практической значимости зарождающейся радиотехники	
А.С. Попов (Россия), 1900, февраль	Организация первой практической линии радиосвязи	Была обеспечена радиосвязь между городом Котка и островом Гогланд, где шли работы по снятию с камней броненосца «Генерал-адмирал Апраксин». Протяженность радиолинии составляла 44 км	Начало практической радиосвязи и радиотехники	Во время работы этой линии связи А.С. Поповым на борт ледокола «Ермак» была передана радиограмма с заданием (выполненным успешно и вовремя) спасти унесенных на льдине рыбаков
Ли де Форест (США), 1906	Изобретение усилительного электровакуумного прибора – лампы триода	Введение в электровакуумный диод между анодом и катодом третьего электрода – управляющей сетки, что позволяло усиливать слабые радиосигналы	Начало эпохи «активной» радиотехники. Открытие широких возможностей усиления слабых сигналов	
Мейснер (Германия), 1913	Изобретение лампы генератора электрических колебаний	Построение замкнутой колебательной системы, в которой восполнение потерь энергии электрических колебаний и их режим обеспечивались с помощью лампы триода	Создание ламповых передатчиков, возрастание их мощности. Начало внедрения гетеродинного метода радиоприема	
М.А. Бонч-Бруевич и др. (СССР), 1934	Разработка первой в мире радиолокационной станции (РЛС)	Коллективом инженеров во главе с М.А. Бонч-Бруевичем была создана первая РЛС, работающая в непрерывном режиме	Начало практических работ по разработке принципов и техники радиолокации	В период 1937–1938 гг. в США, Англии и СССР были созданы импульсные РЛС
Дж. Бардин, У. Браттейн (США), 1948	Изобретение транзистора	Соединение кристаллов германия, обладающих электронной p- и «дырочной» p-полупроводимостями, в структуру p-p-r или p-r-p позволило создать схемы управления электрическими токами в относительно мощных цепях с помощью слабых сигналов	Расширение границ применения, повышение надежности и экономичности радиоэлектронной аппаратуры, значительное уменьшение ее габаритов	

Колебания электронов в антенне создают источником периодически изменяющейся ЭДС с периодом  $T$ . Если в некоторый момент поле у антенны имело максимальное значение, то такое же значение оно будет иметь спустя время  $T$ . За это время существовавшее в начальный момент у антенны электромагнитное поле переместится на расстояние  $\lambda = VT$

Минимальное расстояние между двумя точками пространства, поле в которых имеет одинаковое значение, называется длиной волны. Длина волны  $\lambda$  зависит от скорости ее распространения и периода колебаний электронов в антенне. Так как частота тока  $f = 1/T$ , то длина волны  $\lambda = V/f$ .

В табл. 1.1 сделана попытка систематизировать сведения о главных событиях в области радиотехники, начиная с опытов Генриха Герца.

## 1.2. Общие принципы организации радиосвязи

Может возникнуть вопрос, нельзя ли для того чтобы передать с помощью радиоволн человеческую речь или музыку, звуковые колебания превратить в электрические, а последние с помощью антенны преобразовать в электромагнитные волны, чтобы затем в приемном пункте электромагнитные волны снова превратить в звуковые?

Звуковые колебания, воспринимаемые человеческим слухом, лежат обычно в полосе частот от 20 до 20 000 Гц, т.е. такие колебания создадут волны длиной от 15 000 до 15 км. Антенны же могут эффективно излучать электромагнитные колебания только тогда, когда их размеры соизмеримы с длиной волны.

Однако сами по себе колебания высокой частоты информацию не несут. Посылать их по линии связи бесполезно. Так же бесполезно, как посылать телеграмму с адресом, но без текста: она дойдет сравнительно быстро, но ее получатель сведений не получит.

Таким образом, в нашем распоряжении есть сообщение, содержащее информацию, но не способное дойти до получателя. Есть и высокочастотное колебание, которое найдет своего получателя, но не принесет ему информацию. Как соединить вместе необходимые качества сообщения и безынформативного колебания?

Единственный способ – попытаться наложить на высокочастотное колебание отпечаток сообщения, т.е. использовать высокочастотное колебание лишь в роли переносчика сообщения, содержащего информацию. С этой целью нужно изменять один или несколько признаков (параметров) несущего колебания в соответствии с изменениями сообщения. Тогда мы получим высокочастотное колебание с меняющимися во времени параметрами по закону передаваемого сообщения. Рассмотренный процесс называется *модуляцией*.

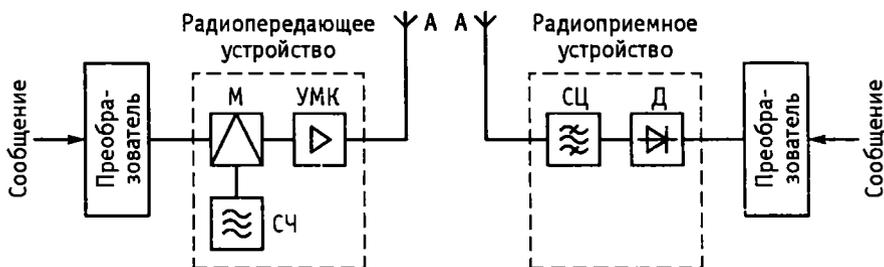


Рис. 1.1. Структурная схема радиолинии

На рис. 1.1 приведена упрощенная структурная схема радиолинии. Передаваемое сообщение поступает на преобразователь (микрофон, телевизионную камеру или телеграфный аппарат), который преобразует его в электрический сигнал. Последний поступает на радиопередающее устройство, состоящее из модулятора (М), синтезатора несущей частоты (СЧ) и усилителя модулированных колебаний (УМК). С помощью модулятора один из параметров высокочастотного колебания изменяется по закону передаваемого сообщения. С помощью антенны (А) энергия радиочастотных колебаний передатчика излучается в тракт распространения радиоволн.

На приемном конце радиоволны наводят ЭДС в антенне. Радиоприемное устройство с помощью селективных (избирательных) цепей (СЦ) отфильтровывает сигналы от помех и других радиостанций. В детекторе (Д) происходит процесс, обратный модуляции, – выделение из модулированных колебаний исходного электрического сигнала, который управлял радиопередатчиком. С помощью преобразователя (громкоговорителя, телеграфного аппарата, приемной телевизионной трубки) электрический сигнал связи преобразуется в сообщение, доставляемое абоненту.

Рассмотренная радиолиния обеспечивает одностороннюю передачу сообщения, что приемлемо только в службах оповещения. Одностороннюю радиосвязь представляет собой, в сущности, и радиовещание, хотя в этом случае прием ведется не в одном, а во множестве пунктов. Прием во многих пунктах ведется также при циркулярной передаче: распоряжения передаются многим исполнителям; сообщения передаются из пресс-центра редакциям газет и т.д.

Для организации двусторонней радиосвязи в каждом пункте надо иметь и передатчик, и приемник. Если при этом передача и прием на каждой радиостанции осуществляются поочередно, то такая радиосвязь называется симплексной (рис. 1.2, а). Двусторонняя радиосвязь, при которой связь между радиостанциями реализуется одновременно, называется дуплексной (см. рис. 1.2, б).

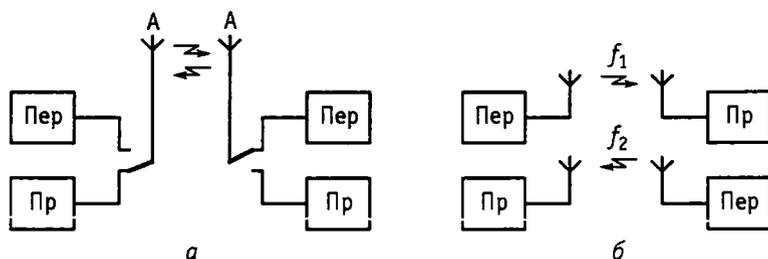


Рис. 1.2. Структурная схема организации радиосвязи:  
а – симплексной; б – дуплексной

При дуплексной радиосвязи передача в одном и другом направлениях ведется, как правило, на разных несущих частотах. Это делается для того, чтобы приемник принимал сигналы только от передатчика с противоположного пункта и не принимал сигналов собственного передатчика.

Для радиосвязи на большие расстояния применяют радиопередатчики мощностью в десятки и сотни киловатт. Поэтому, хотя при дуплексной связи приемник настраивается не на ту частоту, на которую настроен свой передатчик, трудно обеспечить его нормальную работу вблизи мощного передатчика. Исходя из этого, приемник и передатчик приходится размещать на расстоянии в десятки километров друг от друга.

Симплексная связь используется, как правило, при наличии относительно небольших информационных потоков. Для объектов с большой нагрузкой характерна дуплексная связь.

Если необходимо иметь радиосвязь с большим числом объектов, то организуется так называемая радиосеть (рис. 1.3). Одна радиостанция, называемая главной (ГР), может передавать сообщения как для одного, так и для нескольких подчиненных объектов. Ее радиистоператор следит за порядком в радиосети и устанавливает очередность работы на передачу подчиненных станций (ПР). Последние при соответствующем разрешении могут обмениваться информацией не только с ГР, но и между собой. Этот вариант организации радиосети может быть построен на основе как сложного симплекса (см. рис. 1.3, а), так и сложного дуплекса (см. рис. 1.3, б). В первом случае возможно использование совмещенных приемопередатчиков и общей рабочей радиоволны (частоты). Во втором случае ГР ведет передачу на одной частоте, а принимает на нескольких (по числу подчиненных радиостанций). Несмотря на различие в частотах приема и передачи, здесь, как и при простом дуплексе, необходимо располагать приемник и передатчик на удалении друг от друга. Иначе из-за помех, создаваемых

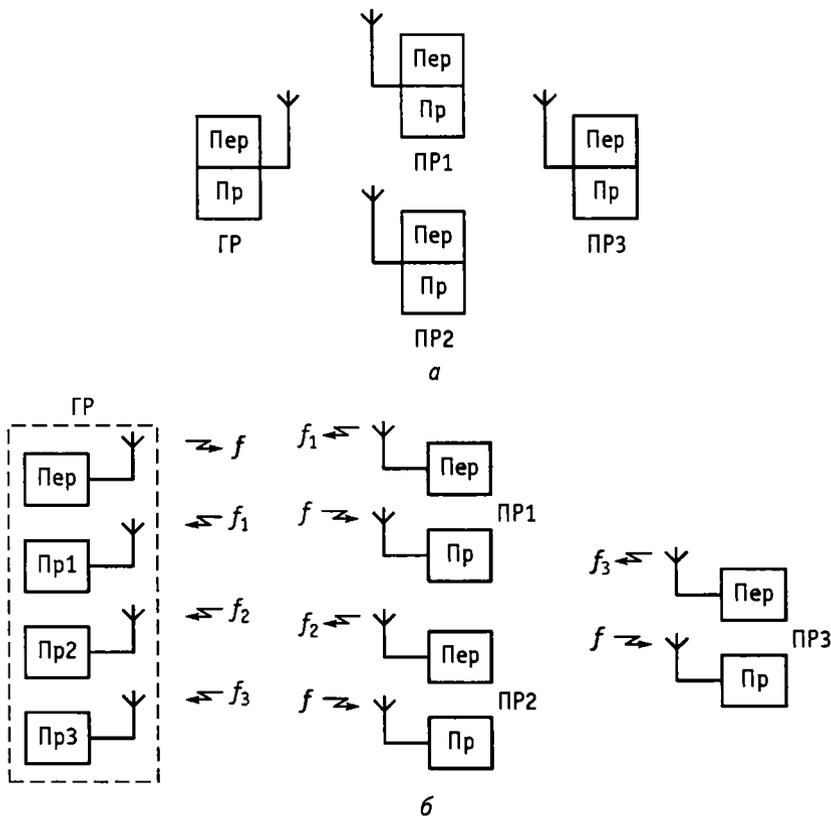


Рис. 1.3. Структурные схемы радиосетей:  
 а – сложный симплекс; б – сложный дуплекс

передающим устройством, одновременный прием сообщений может стать невозможным.

Центры крупных промышленных районов соединяются линиями радиосвязи со многими пунктами. В этих условиях передатчики и передающие антенны располагают на радиостанции, которую называют передающим радиоцентром. Приемники и приемные антенны располагают на приемном радиоцентре.

Процессы в электроэнергетических сооружениях, на электрифицированных железных дорогах, в электрических установках и бытовых электроприборах, множество которых имеется в городах, связаны с излучением электромагнитных волн. Поскольку эти излучения могут быть помехами радиоприему, приемный радиоцентр обычно помещается в стороне от населенных пунктов и железных дорог. Для со-

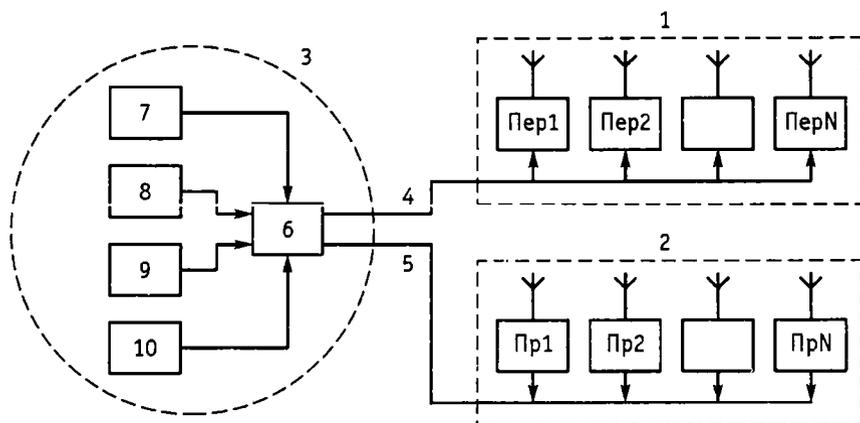


Рис. 1.4. Схема комплекса средств радиосвязи

единения источников сообщения с радиопередатчиками и радиоприемниками и контроля качества радиосвязи в городах оборудуют радиобюро.

Схема комплекса средств радиосвязи, обслуживающих административный или хозяйственный центр, изображена на рис. 1.4. Здесь: 1 – передающий радиоцентр с радиопередатчиками Пер1, Пер2, ..., ПерN; 2 – приемный радиоцентр с радиоприемными устройствами Пр1, Пр2, ..., ПрN; 3 – город, который связан с радиоцентрами соединительными линиями связи 4 и 5. По линиям 4 на радиоцентр 1 поступают передаваемые сигналы, а по линиям 5 в город передаются сигналы, принятые радиоцентром 2; по этим же линиям передаются сигналы дистанционного контроля работы радиоцентров и сигналы дистанционного управления оборудованием. Радиобюро 6 соединено линиями связи с телеграфной и фототелеграфной аппаратурными центрального телеграфа 7 и 8, междугородной телефонной станцией 9, а также радиовещательной аппаратурой 10. Радиовещательная аппаратная служит для обмена радиовещательными программами с другими городами или странами. Аппаратные связаны с источниками передаваемых сообщений, такими как сети абонентского телеграфа, телефонные и др.

### 1.3. Особенности распространения и использования радиоволн различных видов

**Виды радиоволн.** В соответствии с Регламентом радиосвязи радиоспектр подразделяется на девять диапазонов. Разделение радиоволн на диапазоны в первую очередь связано с особенностями их

Т а б л и ц а 1.2. Классификация видов радиоволн

Номер полосы частотного спектра	Метрическое наименование	Диапазон длин	Диапазон частот
4	Мириаметровые	100...10 км	3...30 кГц
5	Километровые	10...1 км	30...300 кГц
6	Гектометровые	1...0,1 км	300...3000 кГц
7	Декаметровые	100...10 м	3...30 МГц
8	Метровые	10...1 м	30...300 МГц
9	Дециметровые	1...0,1 м	300...3000 МГц
10	Сантиметровые	1...10 см	3...30 ГГц
11	Миллиметровые	1...10 мм	30...300 ГГц
12	Децимиллиметровые	0,1...1 мм	300...3000 ГГц

распространения и использования. Принятая в настоящее время классификация видов радиоволн приведена в табл. 1.2.

Наряду с перечисленными названиями и обозначениями пользуются другими условными названиями для полос частот, выделяемых для тех или иных частных применений: сверхдлинные волны (СДВ), длинные (ДВ), средние (СВ), короткие (КВ), ультракороткие (УКВ). Соответствующие сокращенные обозначения можно видеть на шкалах настройки радиовещательных приемников. Сверхдлинные волны в целом соответствуют мириаметровым, длинные – километровым, средние – гектометровым, короткие – метровым, а ультракороткие волны объединяют диапазон с номерами 8–12. Иногда к УКВ относят и дециметровые волны. В данном учебнике используются и эти названия диапазонов.

**Общие свойства радиоволн.** Распространение радиоволн в земном пространстве зависит от свойств поверхности земли и свойств атмосферы. Условия распространения радиоволн вдоль поверхности земли в значительной мере зависят от рельефа местности, электрических параметров земной поверхности и длины волны. Подобно другим волнам радиоволнам свойственна *дифракция*, т.е. явление огибания препятствий. Наиболее сильно дифракция сказывается в случае, когда геометрические размеры препятствий соизмеримы с длиной волны. Радиоволны, распространяющиеся у поверхности земли и частично за счет дифракции огибающие выпуклость земного шара, называются *земными*, или *поверхностными* радиоволнами.

Атмосферу земли нельзя считать однородной средой. Давление, плотность, влажность, диэлектрическая проницаемость и другие параметры в разных объемах воздушного слоя имеют различные значения. По этим причинам скорости распространения в различных объемах неодинаковы и зависят от длины волны. Траектория радиоволн

в атмосфере искривляется. Явление искривления или преломления волн при распространении их в неоднородной среде получило название *рефракции*. Радиоволны, распространяющиеся на большой высоте в атмосфере и возвращающиеся на землю вследствие искривления траектории, рассеяния или отражения от атмосферных неоднородностей, называются *пространственными*, или *ионосферными*. В точку приема могут приходиться как пространственная, так и земная волны от одного и того же источника. Если фазы колебаний этих волн совпадают, то амплитуда суммарного поля возрастает, и наоборот – при сдвиге фазы волн на  $180^\circ$  суммарное поле ослабляется и может стать равным нулю. Указанное явление называется *интерференцией*.

### **Влияние земли и атмосферы на распространение радиоволн.**

Как известно, воздух не вызывает ослабления радиоволн практически во всех диапазонах частот и, казалось бы, поэтому земная волна должна распространяться без поглощения. Однако это верно лишь в том случае, если земная волна проходит высоко над поверхностью земли. Если же радиоволны проходят вблизи от поверхности земли, то часть энергии волны отклоняется в землю. Происходит это потому, что скорость распространения радиоволн в земле меньше, чем в воздухе, и при движении их вдоль ее поверхности нижний край волны отстает от верхнего, фронт волны наклоняется и помимо движения вдоль поверхности земли происходит ее распространение сверху вниз.

Если бы земная поверхность была идеально проводящей, радиоволны отражались бы от нее без потерь, т.е. земля в этом случае была бы экраном, препятствующим прохождению волн в глубь почвы. В реальных условиях земля не является ни идеальным проводником, ни идеальным изолятором. Радиоволны, попавшие в землю, возбуждают в ней переменные электрические токи, которые часть своей энергии расходуют на нагрев почвы. Величина потерь энергии в земле очень сильно зависит от частоты радиоволн и сопротивления почвы электрическому току. В почве с увеличением частоты радиоволн величина индуцируемой ЭДС возрастает и соответственно увеличиваются токи в земле, которые создают электромагнитное поле обратного направления. Поэтому дальность распространения поверхностных радиоволн очень быстро уменьшается с увеличением частоты.

При уменьшении проводимости грунта радиоволны глубже проникают в среду и, следовательно, возрастает их поглощение. Еще изобретатель радио А.С. Попов заметил, что над поверхностью моря дальность радиосвязи увеличивается по сравнению с дальностью связи над сушей. Кроме того, с ростом частоты ухудшаются условия огибания (дифракции) радиоволнами препятствий.

Вышеперечисленные факторы ограничивают возможности использования поверхностной волны диапазонами сравнительно длинных

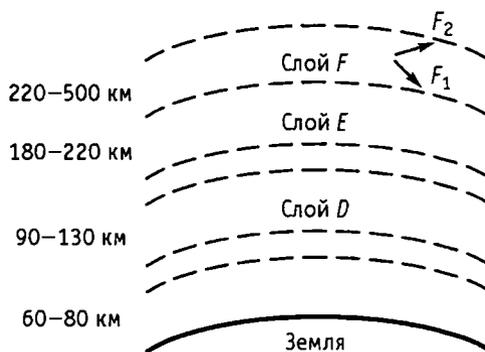


Рис. 1.5. Ионизированные слои ионосферы

волн (мираметровые, километровые, гектометровые и частично декаметровые).

*Атмосферой* называется газообразная оболочка Земли, простирающаяся на высоту более 1000 км. Атмосферу подразделяют на три основные сферы (слоя): тропосферу – приземный слой атмосферы, верхний слой которой лежит на высоте 10... 14 км; стратосферу – слой атмосферы до высот 60... 80 км; ионосферу – ионизированный воздушный слой малой плотности над стратосферой, переходящий затем в радиационные пояса Земли. На высотах в сотни километров различные газы, составляющие воздух, располагаются слоями, более тяжелые – ниже, более легкие – выше. Таким образом, атмосфера на этих высотах неоднородна по составу.

Под влиянием лучей Солнца, космических лучей и других факторов воздух ионизируется, т.е. часть атомов газов, входящих в состав воздуха, распадается на свободные электроны и положительные ионы. Ионизированный воздух оказывает сильное влияние на распространение радиоволн.

Для различных газов максимум ионизации получается на разной высоте. Ионизированный слой атмосферы – *ионосфера* – состоит из нескольких слоев (рис. 1.5). На высоте 60... 80 км находится слой *D*, существующий только днем. Следующий слой *E* располагается на высоте 90... 130 км. Еще выше находится слой *F*, имеющий ночью высоту 250... 350 км, а днем разделяющийся на два слоя:  $F_1$  – на высоте 180... 220 км и  $F_2$  – на высоте 220... 500 км.

Высота, толщина и проводимость ионизированных слоев различны в разное время суток и года вследствие изменения ионизирующего действия солнечных лучей. Чем больше ионизирующее действие солнечных лучей, тем больше проводимость и толщина ионизированных слоев и тем ниже они располагаются. Днем проводимость и тол-

щина их больше, а высота над землей меньше, чем ночью. Летом проводимость и толщина ионосферных слоев больше, а высота меньше, чем зимой. Через каждые 11 лет на Солнце повторяется максимум солнечных пятен, являющихся мощными источниками ионизирующих излучений. В это время проводимость и толщина ионизированных слоев достигают максимума, и они располагаются ниже. Таким образом, свойства земной атмосферы, влияющие на распространение радиоволн, изменяются по довольно сложным законам. Происходят также изменения случайного характера, которые предусмотреть вообще невозможно.

Ионосфера оказывает существенное влияние на распространение радиоволн. Оно заключается прежде всего в том, что радиоволны, попадая в ионосферу, изменяют свое направление. Происходит это вследствие неоднородного характера ионосферы. Если бы относительные диэлектрические проницаемости воздуха и ионосферы были одинаковы, то волна не меняла бы своего направления. Так как в ионосфере имеются свободные электроны, ее относительная диэлектрическая проницаемость меньше диэлектрической проницаемости неионизированного воздуха. Вследствие этого при переходе из воздуха в ионосферу происходит преломление волны, а поскольку концентрация электронов в верхних слоях ионосферы возрастает, то волна, многократно преломляясь, возвращается на землю.

Кроме изменения направления распространения радиоволн в ионосфере происходит поглощение их энергии. Объясняется это тем, что радиоволны, попадая в ионосферу, вызывают колебания находящихся там свободных электронов. Совершая колебательное движение, электроны сталкиваются с тяжелыми частицами – ионами и молекулами. При этом они теряют энергию, приобретенную от радиоволны, и передают ее указанным частицам; ионосфера нагревается. Таким образом, часть энергии радиоволны в ионосфере теряется. Чем выше частота радиоволн, тем меньше скорость колебательного движения электронов. Кинетическая энергия, получаемая ими от радиоволны и отдаваемая затем тяжелым частицам, оказывается меньше. Поэтому с повышением частоты потери энергии радиоволны в ионосфере уменьшаются.

Подводя итоги вышесказанному, можно отметить следующее:

из-за неоднородностей ионосферы радиоволны преломляются в ней и отражаются на землю;

- с ростом частоты отражательная способность уменьшается;
- с ростом частоты уменьшается поглощение волн в ионосфере;
- состояние ионосферы и связанные с ним условия распространения имеют периодические и непериодические изменения.

**Распространение мириаметровых и километровых волн (сверхдлинных и длинных).** Отличительной особенностью волн 4-го и 5-го

диапазонов (см. табл. 1.2) является их способность хорошо огибать землю. Поэтому напряженность поля земной волны значительна на расстояниях 1500...2000 км от источника электромагнитных волн. Однако практическая возможность держать на этих волнах связь на расстоянии до 20 000 км не может быть объяснена только дифракцией. Не только слой *E*, но в дневные часы даже слой *D* имеет такую плотность ионизации, при которой радиоволны этих диапазонов способны отражаться при любом угле возвышения, в том числе и при вертикальном.

Отраженная этими слоями пространственная волна частично поглощается землей, а частично отражается от нее, вновь достигая ионизированных слоев. Такое отражение может быть многократным. Учитывая, что при отражении от ионосферы волны сильно поглощаются, для обеспечения связи требуются передатчики большой мощности. Кроме того, недостатками этого диапазона волн являются необходимость строить антенны высотой в несколько сотен метров, большой уровень атмосферных помех и невозможность размещения в этих диапазонах большого числа каналов связи.

Условия распространения в диапазонах мириаметровых и километровых волн характеризуются стабильностью. Регулярные и нерегулярные изменения напряженности выражены очень слабо. Поэтому в этих диапазонах волн созданы очень мощные радиостанции для глобальной (всемирной) радиосвязи. Такие системы имеют важное стратегическое значение и обеспечивают бесперебойную радиосвязь с объектами, находящимися на любом удалении от радиопередатчика (в том числе с подводными лодками в погруженном состоянии). В этом же диапазоне создана служба передачи точных частот, необходимая для систем связи во всех диапазонах частот, а также для систем радионавигации, службы времени и других научно-исследовательских и хозяйственных целей. В диапазоне километровых волн ведется также радиовещание с амплитудной модуляцией.

**Распространение гектометровых (средних) волн.** Гектометровые волны могут быть как поверхностными, так и пространственными. Для этого диапазона волн характерны ограниченная дальность распространения в дневные часы и увеличение дальности в ночное время. В дневные часы пространственные волны практически отсутствуют. В слое *D* эти волны испытывают незначительные поглощение и преломление. Но попав в слой *E* с большей степенью ионизации, они испытывают такое сильное поглощение, что на землю почти не возвращаются. Поэтому днем связь на средних волнах осуществляется только поверхностной волной. Практически дальность действия поверхностных волн ограничивается расстоянием 1000...1500 км.

Вечером и ночью поглощение ионосферой уменьшается. Пространственная волна отражается от слоя *E* и мало поглощается им.



Рис. 1.6. Распространение гектометровых волн

Напряженность поля в пункте приема является результатом интерференции земной и пространственной волн. Участие ионосферы в распространении средних волн в ночное время сопровождается некоторыми особенностями. Первой из таких особенностей следует считать замирания (уменьшения) амплитуды сигнала в точке приема. Предположим, что в пункте А (рис. 1.6) находится передатчик, а в пункте Б ведется прием. Если днем в пункт Б доходят только земные волны, то ночью туда же могут попадать и волны, отраженные ионосферой.

Поле в пункте приема становится в этом случае результатом интерференции земных и ионосферных волн. При совпадении фаз волн результирующее поле усиливается, а при противофазности ослабляется (замирает). Но степень ионизации отражающего слоя и, следовательно, глубина проникновения в него радиоволн не остаются постоянными. Они изменяются по случайному закону вследствие непостоянства ионизирующего излучения Солнца и наличия воздушных течений. В результате этого изменяется длина пути пространственных волн, а значит, и фазовый сдвиг между земной и пространственной волнами.

Вторым неизбежным следствием влияния ионосферы на распространение СВ оказывается изменение сигнала в точке приема в течение суток. На очень близких расстояниях от передатчика, где основным является поле земных волн, принимаемый сигнал практически не меняется в течение суток. На средних расстояниях, куда земные волны доходят с большим ослаблением, днем прием может быть плохой, а ночью, когда главенствует поле ионосферных волн, он улучшается, но сопровождается замираниями. На больших же расстояниях, куда земные волны практически не доходят, прием возможен лишь в темное время за счет ионосферных волн.

Борьба с замираниями довольно трудно. Наиболее эффективным средством является прием на 2–3 антенны, находящиеся на расстоянии 200–300 м друг от друга. Антенны соединяются линиями с приемником, имеющим отдельные усилители высокой частоты и де-

текторы для каждой антенны, но общий усилитель низкой частоты. Этот метод основан на том, что замирание не происходит одновременно в разных местах. В то время как в одной антенне сигнал уменьшается, в другой – он увеличивается и, таким образом, сигнал на выходе приемника мало изменяется. Некоторое уменьшение колебаний слышимости дают также автоматические регуляторы усиления.

К недостаткам этого диапазона волн следует также отнести большой уровень атмосферных и промышленных помех.

В диапазоне гектометровых волн появилось и стало основным способом радиовещательной передачи синхронное радиовещание (см. главу 3), позволяющее значительно улучшить технико-экономические характеристики сети радиовещания при одновременном повышении качества радиоприема. Диапазон гектометровых волн во многих странах является основным для организации радиовещания.

**Распространение декаметровых (коротких) волн.** При распространении декаметровых волн энергия поверхностной волны сильно поглощается земной поверхностью, особенно над пересеченной местностью. Явление дифракции на коротких волнах не играет заметной роли, поскольку эти волны поглощаются обычно раньше, чем станет ощутимой кривизна земли. Величина напряженности поля поверхностной волны в пункте приема зависит от направленности передающей антенны. На более коротких волнах этого диапазона сказывается также высота подъема передающей и приемной антенн над землей. Дальность распространения поверхностной волны обычно не превышает десятков километров, особенно для верхней половины диапазона (50... 10 м).

Радиосвязь на коротких волнах (КВ) ионосферными лучами является экономичным способом дальней связи. В нормальных условиях состояния ионосферы для отражения лучей КВ основной оказывается

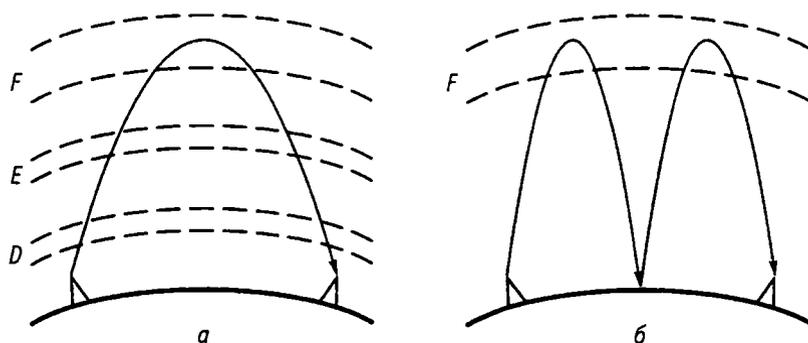


Рис. 1.7 Распространение декаметровых волн:  
а – при одном скачке; б – при двух скачках

область  $F$ , а нижележащие области  $E$  и  $D$  создают вредное поглощение энергии КВ. Такое прохождение КВ изображено на рис. 1.7, а, а на рис. 1.7, б показана возможность увеличения дальности коротковолновой связи путем двух «скачков», т.е. двукратного отражения от ионосферы. Дальность такой связи определяется углом, под которым волны падают на границу ионосферы (и отражаются от нее): чем больше угол падения, тем больше дальность скачка.

Экономичность связи достигается благодаря тому, что при правильном выборе длины волны поглощение энергии в ионосфере на КВ незначительно (гораздо меньше, чем на СВ), поэтому в пунктах возвращения отраженных волн к Земле напряженность их поля может оказаться достаточной для приема даже при сравнительно небольшой мощности передатчика.

Для того чтобы пояснить смысл выбора выгодной части КВ диапазона, рассмотрим рис. 1.8. Здесь изображены лучи распространения короткой волны, частота которой выше так называемой критической частоты слоя  $F$  ионосферы. Угол  $\theta$ , образованный лучом волн и касательной прямой к поверхности Земли в пункте излучения, называется углом возвышения.

При крутом падении  $\theta \approx 90^\circ$  волны проходят сквозь ионосферу в космос. При некотором угле  $\theta_{кр}$  (критический угол для данной степени ионизации слоя и данной частоты) происходит полное внутреннее отражение и луч направляется в ионосфере параллельно земной поверхности. При углах, меньших критического, лучи возвращаются к Земле, и тем дальше от пункта излучения, чем меньше угол  $\theta$ . При излучении касательно к Земле достигается наибольшая дальность скачка, составляющая приблизительно 4000 км. Необходимая дальность связи определяет тот угол  $\theta$ , под которым антенна должна излучать максимум энергии. Зная высоту отражающего слоя, легко определить этот угол простым геометрическим построением. Для того чтобы получить в намеченном пункте приема достаточную напряженность поля ионосферных КВ, нужно выполнить следующие два усло-

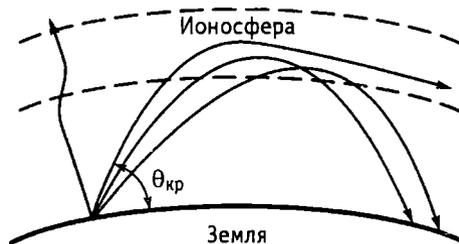


Рис. 1.8. К выбору рабочих частот диапазона декаметровых волн

вия прохождения этих волн: во-первых, выбрать такую частоту, которая была бы ниже максимального значения, еще отражаемого слоем при требуемом угле возвышения; во-вторых, необходимо, чтобы энергия волн этой частоты не поглощалась чрезмерно при двукратном прохождении (вверх и вниз) через области  $E$  и  $D$  (поглощение уменьшается с ростом частоты).

Таким образом, выбор частот для коротковолновой ионосферной связи резко ограничен сверху некоторой максимально применимой частотой по отражению и не столь резко снизу некоторой минимально применимой частотой по поглощению. Оба этих граничных значения частоты относятся к данным часам суток (к данной степени ионизации области  $F$ ) и к данной трассе (к углу возвышения  $\theta$ ). Описанная нами картина распространения КВ позволяет пояснить разницу между «дневными» и «ночными» волнами.

Днем для дальних связей применяются наиболее короткие волны этого диапазона (примерно от 10 до 25 м); такие волны при малом угле возвышения способны отражаться от слоя  $F$ . Конечно, более длинные волны и подавно стали бы отражаться, но при высокой дневной ионизации в областях  $E$  и  $D$  потери в них были бы слишком большими и потребовалось бы невыгодное увеличение мощности передатчиков.

Ночью для дальних связей используется нижняя часть КВ диапазона (приблизительно от 35 до 100 м), так как при уменьшении ионизации слоя  $F$  более короткие волны от него не отразились бы даже при пологом падении. Потери же в нижних слоях ионосферы ночью не столь опасны, ибо область  $D$  отсутствует, а ионизация области  $E$  сильно уменьшается.

Волны, занимающие участок между дневными и ночными (примерно от 25 до 35 м), успешно применяются для связи в часы восхода и захода Солнца. Конечно, точное разграничение этих трех участков КВ диапазона невозможно, так как их границы зависят от сезона (лето – зима) и от фазы 11-летнего периода солнечной активности.

К недостаткам диапазона декаметровых волн относится наличие замираний и образование зоны молчания. Рис. 1.9 поясняет образование зоны молчания. Поверхностный луч не удается принять в этой зоне, потому что он оказывается сильно ослабленным. Пространственный луч не может быть направлен в зону молчания, так как для этого его надо послать под большим углом к земле, но тогда луч пронизет атмосферу и уйдет в космическое пространство. Ширина зоны молчания зависит от времени суток и длины волны: чем короче длина волны, тем шире зона молчания.

Другое явление, играющее существенную роль при организации радиосвязи на декаметровых волнах, – замирание. В отличие от замираний на гектометровых волнах, которые происходят главным об-



Рис. 1.9. Образование зоны молчания

разом вследствие интерференции поверхностных и пространственных лучей, замирания на коротких волнах обусловлены в основном интерференцией двух или нескольких пространственных лучей, пришедших в пункт приема различными путями. Объясняется это тем, что передающая антенна излучает волны не в единственном направлении, а в пределах более или менее широкого угла. Соответственно можно считать, что на ионосферу падает не один луч, а как бы пучок лучей. Лучи с различными углами возвышения отражаются при различной глубине проникновения в ионизированный слой и достигают поверхности земли в различных точках. Вследствие многолучевого распространения и колебаний электронной концентрации отражающего слоя радиоволны, излученные передающей антенной, достигают точки приема, двигаясь по разным траекториям. В результате на приемную антенну воздействует несколько колебаний с разными амплитудами и фазами, меняющимися во времени. Из-за соизмеримости разности пути лучей с длиной волны замирания получаются более глубокими и быстрыми.

В пунктах приема обнаруживаются лучи, которые распространяются путем однократных или многократных отражений от ионосферы.

Многолучевое распространение является также причиной возникновения эха, когда из-за разности хода в точку приема приходят лучи с запозданием на  $0,2 \dots 1,0$  мс. Такой вид искажений получил название ближнего эха. Иногда радиосигналы за счет многократных отражений оббегают вокруг Земли, вызывая кругосветное эхо.

Несмотря на перечисленные недостатки и на интенсивное развитие связи в других диапазонах волн, в частности с использованием искусственных спутников Земли, значение связи в декаметровом диапазоне велико. Декаметровые волны позволяют при сравнительно небольшой мощности передатчиков осуществлять связь на большие расстояния. Поэтому связь на гектометровых волнах остается пока основным видом межконтинентальной связи, являясь важнейшим звеном глобальной связи. По этим же причинам данный диапазон

частот широко используется для радиовещания на труднодоступные районы страны и вещания на другие страны.

**Распространение волн короче 10 м.** Волны короче 10 м в соответствии с табл. 1.2 разбиты на пять диапазонов, которые часто называют диапазонами ультракоротких волн (УКВ). В течение многих лет использование УКВ ограничивалось требованием прямой видимости между антеннами передатчика и приемника, которое вытекает из прямолинейности распространения этих волн. Действительно, дифракция практически не свойственна УКВ, и они не могут огибать выпуклости земной поверхности. Степень же ионизации ионосферы недостаточна для отражения этих радиоволн.

Дальность распространения на расстояние прямой видимости составляет:  $l = 3,6(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$  (км), где  $h_1$  и  $h_2$  – высоты расположения передающей и приемной антенн (м).

Таким образом, если поднять антенны на высоту 25 м, то расстояние прямой видимости составит 36 км. Для осуществления связи на большие расстояния необходимо между пунктами связи устанавливать промежуточные станции (ретрансляторы), либо поднимать антенны на большие высоты. Первый принцип используется в радиорелейных системах передачи, где промежуточные станции располагаются на расстоянии 50...70 км. Для увеличения зоны обслуживания телевизионного вещания используются антенны, расположенные на башнях большой высоты. Так, высота Останкинской телевизионной башни составляет 525 м.

Связь в пределах прямой видимости характеризуется возможностью одновременного прихода в точку приема не только прямой волны, но и волны, отраженной от земной поверхности. Эффект интерференции может привести к резкому снижению напряженности поля в точке приема. Однако в отличие от диапазонов гектометровых и дециметровых волн, интерференционные явления здесь могут быть сведены до минимума оптимальным подбором высот антенн, расстояния между ними и длины волны.

Диапазон УКВ является, пожалуй, наиболее широко используемым участком радиодиапазона. Большая частотная емкость этого диапазона и ограниченный пределами прямой видимости радиус действия позволяют разместить большое число одновременно работающих станций и осуществлять передачу информации в широкой полосе частот. Диапазон УКВ позволяет одновременно передавать большое число телевизионных программ, организовать тысячи телефонных каналов и цифровых систем связи. Диапазон широко используется для радиолокации, радионавигации, связи с искусственными спутниками, звукового и телевизионного вещания и в радиоастрономии. Диапазон метровых и дециметровых волн используется в основном для телевидения, радиовещания и радиосвязи с подвижными объек-

тами. Диапазон сантиметровых волн отведен для различных видов многоканальной связи.

Диапазон метровых волн используется иногда для связи вне пределов прямой видимости, так как они способны огибать небольшие преграды на земной поверхности. Дальность такой связи обычно исчисляется километрами, реже – десятками километров. Наиболее сложными оказываются условия связи из метровых волнах в больших городах, где часто прибегают к ретрансляции через центральную станцию, антенна которой установлена на высотном доме.

На практике наблюдаются случаи дальнего распространения метровых и более коротких волн. Это объясняется тем, что возможно такое состояние атмосферы, при котором изменение коэффициента преломления по мере подъема вверх происходит в гораздо большей степени, чем в нормальных условиях. Искривление траектории радиолуча вследствие рефракции увеличивается, становится возможным распространение радиоволн параллельно земной поверхности или даже попадание их после преломления на поверхность земли (явление сверхфракции). Падающие на землю волны отражаются, распространяются вверх, опять преломляются и т.д. В пространстве между поверхностью земли и преломляющими верхними слоями, вдоль которого волны распространяются на расстояния в десятки раз больше расстояний прямой видимости. Это создает возможность приема телевизионных программ из других городов и даже стран.

Следует отметить, что появление волноводных каналов в атмосфере происходит редко. Для этого требуется стечение благоприятных условий: увеличение температуры воздуха по мере подъема вверх (а не ее уменьшение, как это происходит обычно) и сильное уменьшение влажности с высотой.

Известно, что в тропосфере постоянно присутствуют малые случайные колебания температуры и влажности. Коэффициент преломления воздуха зависит от этих величин, поэтому радиоволны рассеиваются неоднородностями ионосферы. Это рассеянное поле наблюдается далеко за горизонтом. Существенно, что, несмотря на малое значение напряженности поля и его флуктуации, в среднем напряженность поля за горизонтом отличается большим постоянством. Явление рассеяния волн тропосферными неоднородностями называют дальним тропосферным распространением радиоволн.

Однако создание линии тропосферной связи значительно более сложная задача, нежели линии декаметрового диапазона, поскольку напряженность поля отраженных от тропосферы волн уменьшается с расстоянием очень быстро. Поэтому требуются значительные мощности передатчиков (от 1 до 50 кВт), антенны высокой направленности и высокочувствительные приемники.

Для линий тропосферного рассеяния могут быть использованы диапазоны метровых, дециметровых и часть сантиметровых волн.

Несомненное достоинство тропосферных линий связи – возможность передачи по ним широкополосных сигналов, т.е. организация многоканальных систем связи. Кроме того, эта связь не требует смены длины волны в течение суток. Тропосферные линии связи успешно конкурируют в труднодоступной местности с кабельными линиями. Тропосферные станции могут образовывать радиорелейные системы передачи с интервалом между станциями до 300...500 км.

Дальнее распространение волн УКВ диапазона возможно также за счет их рассеяния на неоднородностях ионосферы. Здесь рассеяние происходит в слое *D* или в нижней части слоя *E* за счет неоднородности электронной концентрации. Наибольшая неоднородность поля наблюдается в диапазоне 30...60 МГц при длине трассы 800...2000 км. Для ионосферных линий связи характерны замирания, сезонные и суточные изменения уровня. Искажения сигнала ограничивают ширину спектра передаваемых сигналов полосой в несколько килогерц, поэтому телевизионные и групповые сигналы многоканальных систем по ним не могут передаваться.

Преимуществом связи на метровых волнах за счет ионосферного рассеяния является возможность работы круглосуточно на одной частоте. Ионосферное рассеяние целесообразно использовать для связи с труднодоступными районами. В периоды ионосферных возмущений, особенно характерных для арктических широт, когда связь в диапазоне дециметровых волн с отражением от слоя  $F_2$  прекращается, неоднородности в нижних областях ионосферы возрастают и ионосферная связь даже лучшается.

#### 1.4. Антенно-фидерные устройства

**Общие принципы построения антенн.** Антенна является необходимым элементом любого радиопередающего и радиоприемного устройства. Антенна радиопередатчика (передающая антенна) предназначена для преобразования тока высокой частоты в энергию излучаемых ею электромагнитных волн. Антенна радиоприемника (приемная антенна) предназначена для преобразования принятых ею электромагнитных волн в энергию тока высокой частоты. Характер процессов, происходящих в передающей и приемной антеннах, определяет обратимость их использования. Обратимость антенн находит выражение не только в принципиальной возможности использования одной и той же антенны в качестве передающей или приемной, но и в том, что основные параметры антенны сохраняются при использовании ее как для передачи, так и для приема. Это имеет большое практическое значение. Так, многие передвижные радиостанции, предна-

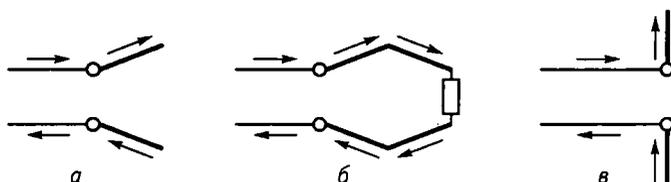


Рис. 1.10. Симметричные антенны

значенные для связи, имеют общую антенну для передачи и для приема.

Электрическая цепь и вспомогательные устройства, с помощью которых энергия радиочастотного канала подводится от радиопередатчика к антенне или от антенны к радиоприемнику, называется *фидером*. Конструкция фидера зависит от диапазона передаваемых по нему частот. При передаче электромагнитной энергии по линии стремятся уменьшить излучение самой линии.

Для этого провода линии располагают параллельно и по возможности ближе друг к другу. При этом поля двух одинаковых по значению, но противоположно направленных токов взаимно компенсируются и излучения энергии в окружающее пространство не происходит. При создании антенны ставится противоположная задача: получение возможно большего излучения. Для этого можно использовать те же длинные линии, устранив одну из причин, лишаящих фидер излучающих свойств. Можно, например, раздвинуть провода линии на некоторый угол, в результате чего их поля не будут компенсировать друг друга. На этом основана работа V-образных и ромбических антенн, излучающие провода которых расположены под острым углом один к другому (рис. 1.10, а, б), и симметричного вибратора, получающегося при разведении проводов на  $180^\circ$  (см. рис. 1.10, в).

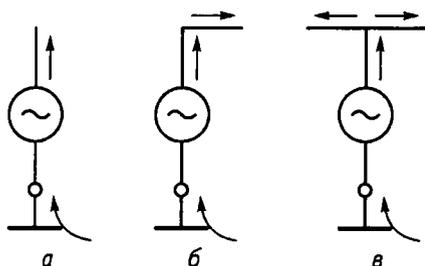


Рис. 1.11. Несимметричные антенны

Компенсирующее действие одного из проводов фидера можно устранить, исключив его из системы. Это приводит к получению несимметричного вибратора (рис. 1.11, а). Все антенны, использующие этот принцип работы, относятся к классу несимметричных антенн. К ним также принадлежат Г-образные и Т-образные антенны (см. рис. 1.11, б, в).

**NMT-450** (Nordic Mobile Telephone System) – один из аналоговых стандартов подвижной радиосвязи. Стандарт NMT-450 принят в России в качестве федерального стандарта

**NTSC** (National Television System Committee) – цветная система с квадратурной модуляцией поднесущей частоты; предложена национальным комитетом ТВ систем

**O** (Offset) – смещение

**OMC** (Operations and Maintenance Center) – центр эксплуатации и технического обслуживания

**OMS** (Operation and Maintenance Center) – центр эксплуатации и технического обслуживания сети подвижной связи

**OQPSK** (Offset Quadrature Phase Shift Keying) – квадратурная фазовая манипуляция со смещением

**PABX** (Private Automatic Branch eXchange) – частная АТС с выходом в общую сеть

**PAL** (Phase Alternation Line) – система с квадратурной модуляцией и строчно-переменной фазой

**PC** (Personal computer) – персональный компьютер, который используется одним пользователем, в отличие от большой ЭВМ, у которой может быть большое число пользователей

**PCM** (Pulse-Code Modulation) – импульсно-кодовая модуляция

**PCN** (Personal Communication Network) – сеть персональной связи

**PCS** (Personal Communication Services) – широкополосная служба персональной связи

**PHS** (Personal Handyphone System) – система персональных портативных телефонов

**PIC** – персональный идентификационный код

**PM** (Phase Modulation) – фазовая модуляция

**PMR** (Professional Mobile Radio) – профессиональные системы подвижной радиосвязи

**PSPDN** (Public Switched Packet Data Network) – сеть общего пользования с пакетной коммутацией

**PTSN** (Public Switched Telephone Network) – коммутируемая телефонная сеть общего пользования

**PUN** (Portable User Number) – номер пользователя портативной станции

**QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying) – квадратурная фазовая манипуляция

**RCR** – развитие системы радиосвязи

**RCS** – центральная радиостанция

**RFP** (Radio Fixed Part) – стационарная часть радиопорта

**RFPI** (Radio Fixed Part Identity) – идентификатор радиопорта

**RGB** (red, green, blue) – красный, зеленый и синий – три главных цвета, смешение которых позволяет создать всю световую гамму, включая белый цвет

**RPE** (Regular-Pulse Excitation) – метод возбуждения регулярной последовательностью импульсов

**SAP** – частоты канала передачи независимой информации, передаваемой методом ЧМ на дополнительной поднесущей с использованием системы шумоподавления

- SCA** – музыкальные программы по подписке – передаются в диапазоне МВ–ЧМ, где используется поднесущая 67 кГц
- SDMA** – метод доступа с пространственным разделением сети
- SECAM** (Sequentiel couleur a memoire) – последовательная цветная система с памятью – поочередно передает два цветоразностных сигнала через строку на ЧМ поднесущей при непрерывной передаче сигнала яркости
- SIM** (Subscriber Identity Module) – стандартный модуль подлинности
- SPKR-12** – аппаратура, предназначенная для передачи стереофонических программ
- SU** (Selector Unit) – устройство для оценки качества сигналов и выбора кадров в системе с кодовым разделением каналов
- TACS** (Total Access Communication System) – европейский вариант стандарта AMPS
- Tangara RD** – система фиксированного абонентского радиодоступа
- TBPE** (Transformed Binary Pulse Excitation) – метод возбуждения последовательностью бинарных импульсов
- TDD** (Time Division Duplex) – дуплексное разделение по времени
- TDMA** (Time Division Multiple Access) – множественный доступ с временным разделением
- TETRA** (TErrestrial Trunked Radio) – наземная транкинговая связь
- TMN** (Telecommunications Management Networks) – сеть управления электро-связью
- TMSI** (Temporary Mobile Subscriber Identity) – временный идентификационный номер подвижного абонента
- UMTS** (Universal Mobile Telecommunications Service) – универсальная система подвижной связи – система радиодоступа, объединяющая существующие сотовые и бесшнуровые системы с информационными службами
- VAD** (Voice Activity Detector) – детектор речевой активности – для экономного расходования энергии источника питания и снижения уровня помех, неизбежно создаваемых для других станций при работающем передатчике, включает работу передатчика на излучение только на те интервалы времени, когда абонент говорит
- VLR** (Visit Link Register) – визитный регистр. Представляет собой справочную базу данных об абонентах, временно прибывших в зону, где они не прописаны постоянно. После выбытия абонента из этой зоны данные от абонента стираются из памяти VLR зоны временного пребывания абонента
- VSELP** (Vector Sum Excited Linear Prediction) – возбуждение векторной суммой с линейным предсказанием
- WLL** (Wireless Local Loop) – оборудование радиодоступа
- WORM**-диски (Write-Only-Read Many) – система однократной записи с высококачественным показателем различных данных с помощью полупроводникового лазера на оптических дисках

# Оглавление

Предисловие ко второму изданию .....	3
Введение .....	6
<b>Часть I. Радиосвязь и радиовещание .....</b>	<b>13</b>
<b>Глава 1. Принципы радиосвязи .....</b>	<b>13</b>
1.1. Некоторые сведения об электромагнитных волнах .....	13
1.2. Общие принципы организации радиосвязи .....	18
1.3. Особенности распространения и использования радиоволн различных видов .....	22
1.4. Антенно-фидерные устройства .....	35
Контрольные вопросы .....	58
Список литературы .....	58
<b>Глава 2. Передающие и приемные устройства систем радиосвязи и вещания .....</b>	<b>59</b>
2.1. Радиопередающие устройства .....	59
2.2. Радиоприемные устройства .....	80
Контрольные вопросы .....	91
Список литературы .....	91
<b>Глава 3. Системы и сети звукового вещания .....</b>	<b>92</b>
3.1. Общие сведения о системе звукового вещания .....	92
3.2. Тракт формирования программ .....	100
3.3. Тракты первичного распределения программ .....	103
3.4. Построение передающей сети радиовещания .....	111
Контрольные вопросы .....	119
Список литературы .....	120
<b>Глава 4. Обработка звуковых сигналов .....</b>	<b>121</b>
4.1. Задачи обработки звуковых сигналов .....	121
4.2. Регулирование уровня и динамического диапазона .....	123
4.3. Устройства шумоподавления .....	129
4.4. Устройства обработки для получения специальных звуковых эффектов .....	136
4.5. Особенности цифровой обработки звуковых сигналов .....	143
Контрольные вопросы .....	146
Список литературы .....	147
<b>Глава 5. Системы проводного вещания и оповещения .....</b>	<b>148</b>
5.1. Общие принципы организации проводного вещания .....	148
5.2. Структура сети проводного вещания .....	155
5.3. Станционное оборудование системы проводного вещания .....	158
5.4. Особенности сельского проводного вещания .....	160
5.5. Системы оповещения населения .....	169
5.6. Перспективы развития проводного вещания .....	173
Контрольные вопросы .....	175
Список литературы .....	175
<b>Глава 6. Перспективы развития радиовещания .....</b>	<b>176</b>
6.1. Стереофония .....	176

6.2. Стереофоническое радиовещание .....	180
6.3. Системы стереофонического звукового сопровождения телевизионных передач (СЗС ТВ) .....	186
6.4. Структура современной радиовещательной станции .....	192
6.5. Система цифрового радиовещания «Эврика-147» .....	200
6.6. Многоканальные звуковые системы .....	208
Контрольные вопросы .....	228
Список литературы .....	229
<b>Часть II. Телевидение. Радиорелейная и спутниковая связь .....</b>	<b>230</b>
<b>Глава 7. Физические основы телевидения .....</b>	<b>230</b>
7.1. Основные характеристики зрительного анализатора .....	230
7.2. Принципы телевизионной развертки .....	233
7.3. Общие сведения о телевизионном сигнале .....	237
7.4. Спектральный состав телевизионного сигнала .....	240
7.5. Электронно-оптические преобразователи .....	244
Контрольные вопросы .....	254
Список литературы .....	255
<b>Глава 8. Особенности построения телевизионных систем .....</b>	<b>256</b>
8.1. Принципы передачи телевизионных сигналов .....	256
8.2. Обобщенная структурная схема телевизионной системы .....	260
8.3. Вещательные системы цветного телевидения .....	262
8.4. Конструктивные особенности современных телевизионных приемников .....	274
Контрольные вопросы .....	280
Список литературы .....	281
<b>Глава 9. Системы телевизионного вещания .....</b>	<b>282</b>
9.1. Структура передающей сети телевизионного вещания .....	282
9.2. Планирование передающей телевизионной сети .....	283
9.3. Системы кабельного телевидения .....	290
9.4. Сотовые системы телевидения .....	303
9.5. Контроль и измерения в телевизионных системах передачи .....	307
Контрольные вопросы .....	315
Список литературы .....	316
<b>Глава 10. Аудио- и видеозапись .....</b>	<b>317</b>
10.1. Физические принципы магнитной записи электрических сигналов .....	317
10.2. Магнитная запись телевизионных сигналов .....	322
10.3. Цифровая магнитная запись электрических сигналов .....	328
10.4. Оптическая запись электрических сигналов на компакт-диски .....	332
10.5. Запись и воспроизведение на реверсивных оптических дисках .....	341
10.6. Технология DVD-дисков .....	348
Контрольные вопросы .....	360
Список литературы .....	361
<b>Глава 11. Радиорелейные линии связи .....</b>	<b>362</b>
11.1. Общие принципы построения радиорелейных линий связи прямой видимости .....	362
11.2. Классификация радиорелейных линий .....	365
11.3. Виды модуляции, применяемые в радиорелейных системах передачи .....	367
11.4. Аппаратура радиорелейных линий прямой видимости .....	371
11.5. Передача ТВ сигналов по радиорелейным линиям .....	377
11.6. Тропосферные радиорелейные линии .....	382
Контрольные вопросы .....	385
Список литературы .....	386

<b>Глава 12. Спутниковые системы радиосвязи, радиовещания и телевидения ...</b>	<b>387</b>
12.1. Принципы построения спутниковых систем связи .....	387
12.2. Орбиты спутников связи .....	389
12.3. Особенности передачи сигналов в спутниковых системах связи .....	394
12.4. Многостанционный доступ в спутниковых системах связи .....	397
12.5. Передача телевизионных сигналов по спутниковым системам связи .....	399
12.6. Телевизионные устройства непосредственного приема сигналов со связанных искусственных спутников Земли .....	404
Контрольные вопросы .....	409
Список литературы .....	410
<b>Часть III. Мобильная связь и системы беспроводного доступа .....</b>	<b>411</b>
<b>Глава 13. Сети подвижной радиосвязи .....</b>	<b>411</b>
13.1. Краткая характеристика сетей мобильной (подвижной) радиосвязи .....	411
13.2. Аналоговые сотовые сети подвижной радиосвязи .....	417
13.3. Цифровые сотовые сети подвижной радиосвязи .....	421
13.4. Сотовые сети подвижной радиосвязи России .....	436
Контрольные вопросы .....	445
Список литературы .....	445
<b>Глава 14. Транкинговые системы радиосвязи .....</b>	<b>447</b>
14.1. Архитектура транкинговых сетей .....	450
14.2. Классификация транкинговых сетей .....	455
14.3. Транкинговая система SmartTrunk .....	456
14.4. Транкинговые системы протокола MPT 1327 .....	458
14.5. Цифровые транкинговые системы .....	461
14.6. Особенности стандарта TETRA .....	461
14.7. Тенденции развития транкинговых систем радиосвязи .....	464
Контрольные вопросы .....	465
Список литературы .....	465
<b>Глава 15. Типы сетей беспроводного абонентского доступа .....</b>	<b>466</b>
15.1. Экономические аспекты беспроводного абонентского доступа .....	466
15.2. Структура систем беспроводного абонентского доступа .....	470
15.3. Типы систем для беспроводного абонентского радиодоступа .....	476
Контрольные вопросы .....	480
Список литературы .....	481
<b>Глава 16. Обработка сигналов в оборудовании беспроводного доступа .....</b>	<b>482</b>
16.1. Кодер речи .....	482
16.2. Метод кодирования речевых сигналов .....	485
16.3. Транскодер DECT .....	489
16.4. Оценка качества кодирования речи .....	491
16.5. Канальное кодирование .....	491
Контрольные вопросы .....	497
Список литературы .....	497
<b>Глава 17. Методы модуляции и многостанционного доступа .....</b>	<b>498</b>
17.1. Модуляция и демодуляция сигнала .....	498
17.2. Борьба с влиянием многолучевого распространения .....	509
17.3. Методы множественного доступа .....	514
Контрольные вопросы .....	516
Список литературы .....	517
<b>Глава 18. Стандарты беспроводного абонентского доступа .....</b>	<b>518</b>
18.1. Стандарты систем беспроводных телефонов общего пользования .....	518

18.2. Стандарт DECT .....	527
18.3. Особенности использования стандарта с кодовым разделением каналов в России .....	538
18.4. Стандарт PHS .....	541
Контрольные вопросы .....	545
Список литературы .....	545
<b>Глава 19. Системы беспроводного абонентского доступа .....</b>	<b>547</b>
19.1. Система Tangara .....	548
19.2. Система «МиниКом-DECT» .....	554
19.3. Система MultiGain Wireless (MGW) .....	558
19.4. Система DRA .....	567
19.5. Цифровая беспроводная система CDMAlink V2 фирмы Siemens .....	570
Контрольные вопросы .....	579
Список литературы .....	579
<b>Глава 20. Математические методы и программные средства моделирования и анализа для решения задач проектирования и разработки сетей .....</b>	<b>580</b>
20.1. Планирование систем радиосвязи .....	582
20.2. Оценивание вероятностно-временных характеристик систем радиосвязи .....	588
Контрольные вопросы .....	604
Список литературы .....	605
<b>Заключение .....</b>	<b>606</b>
<b>Приложение. Оборудование для сетей подвижной радиосвязи компании Huawei Technologies .....</b>	<b>608</b>
<b>П1. Система подвижной связи CDMA 2000 1X (CDMA 450) .....</b>	<b>608</b>
П1.1. Комплексное решение CDMA 2000 1X компании Huawei Technologies .....	608
П1.2. Подсистема базовых станций .....	610
П1.3. Подсистема коммутации .....	617
П1.4. Система управления iManager M2000 .....	623
П1.5. Услуги в сети CDMA 2000 1X .....	625
<b>П2. Система подвижной связи GSM M900/M1800 компании Huawei Technologies .....</b>	<b>626</b>
П2.1. Тенденции развития сетей стандарта GSM 900/1800 и общая схема построения сети .....	626
П2.2. Подсистема коммутации M900/M1800 .....	628
П2.3. Подсистема базовых станций M900/M1800 .....	634
<b>П3. Интеллектуальные услуги в сетях мобильной связи компании Huawei Technologies .....</b>	<b>640</b>
П3.1. Особенности мобильной интеллектуальной сети связи TELLIN .....	641
П3.2. Услуги мобильной интеллектуальной сети TELLIN .....	642
<b>Термины и определения .....</b>	<b>645</b>